



*Universidad Nacional del Nordeste*



*Facultad de Ciencias Agrarias*

**COMPARACIÓN DE UN ECOTIPO LOCAL DE POROTO  
CAUPÍ COLORADO [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] CON  
LÍNEAS PURAS DERIVADAS DE ESTE GERMOPLASMA**

**Walter Osvaldo Ibarra Zamudio  
Ing. Agrónomo**

**Director Pedro Luis Jover  
Ing. Agrónomo (MSc. PhD.)**

**Co-Director Juan Alberto Arguello  
Ing. Agrónomo (Mg. Dr.)**

**Año 2011**

**ÍNDICE**

	<b>Pág.</b>
AGRADECIMIENTOS.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
RESUMEN.....	VI
ABSTRAC.....	VII
 <b>CAPÍTULO 1.</b>	
PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DEL CULTIVO DE POROTO CAUPÍ [ <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.] EN LA ZONA.....	1
 <b>CAPÍTULO 2.</b>	
ESTUDIO DE LA FENOLOGÍA, EL CRECIMIENTO Y EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE POROTO CAUPÍ Y DE SUS LÍNEAS PURAS.....	7
 <b>CAPÍTULO 3.</b>	
ESTUDIO DE LA ECONOMÍA DEL CARBONO Y DEL AGUA EN LA POBLACIÓN TRADICIONAL DE CAUPÍ Y LÍNEAS PROVENIENTES DE ELLA.....	26
 <b>CAPÍTULO 4.</b>	
ESTUDIO DE LOS COMPONENTES NUMÉRICOS DEL RENDIMIENTO.....	45
 <b>CAPÍTULO 5.</b>	
SÍNTESIS Y CONCLUSIONES GENERALES.....	57
 <b>CAPÍTULO 6.</b>	
BIBLIOGRAFÍA.....	62

## AGRADECIMIENTOS

Al Director Ing. Agr. (MSc. PhD.) Pedro Jover y al Co-Director Ing. Agr. (Mg. Dr.) Juan Argüello por sus enseñanzas y su amistad.

A la FCA de la UNNE que me brindó la capacitación y a sus profesores. Especialmente al Dr. Pedro Sansberro que me permitió realizar mediciones con el Li-6400 y Li-3000 y a la Dra. Laura Giménez del área Estadística de la EEA Corrientes y Profesora de la Facultad de Ciencias Agrarias de la U.N.N.E por sus colaboraciones y amistad.

Al jurado que evaluó la tesis: Ing. Agr. (Dr.) Mario H. Urbani, Ing. Agr. (PhD.) Marcelo Paytas y al Ing. Agr. (MSc) Daniel Peiretti.

A mi familia por su apoyo en estos años; especialmente a mi madre Teresa Martha Zamudio, a mi hermano Julio César y Selva A. Riquelme.

Al INTA que me permitió capacitarme. A la EEA Colonia Benítez, a la EEA El Colorado y a los técnicos que me facilitaron la realización de tareas de campo.

A los compañeros de la maestría con los cuales compartí momentos inolvidables del cursado y especialmente a Macarena y José, Angelita, Maruca, Guillermo, Juan, Rosa y Nora.

A mis apoyo de campo, Juan Valussi y Dardo López de la EEA Colonia Benítez, y ayudantes, David Mas, Sebastián Morales, José M. Alsina y Rubén M. Percí, a la señoras de comunicación, Julia Jardón, Cecilia Gaúna y Cristian Nuñez.

**ABREVIATURAS**

AF: Área foliar.

AFE: Área foliar efectiva.

B: Biomasa seca o biomasa.

BT: Biomasa seca aérea total.

CAF: Cociente de área foliar.

CE: Conductancia estomática.

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono.

[CO<sub>2</sub>i]: Concentración de dióxido de carbono intercelular.

DDS: Días después de siembra.

DTAC: Diámetro del tallo a la altura del cotiledón.

EA: Economía del agua.

EC: Economía del carbono.

ETp: Evapotranspiración.

EUA: Eficiencia del uso del agua.

GD: Grados días.

gSPL: Gramos de semillas por planta.

HC: Hábito de crecimiento.

IAF: Índice de área foliar.

IC: Índice de cosecha.

LPs: Líneas puras – LP20, LP22, LP32.

lt ha<sup>-1</sup>: Litros por hectárea.

LV: Longitud de las vainas.

MS: Materia seca.

NSPL: Número de semillas por planta.

NSV: Número de semillas por vaina.

NVPL: Número de vainas por planta.

P100S: Peso de 100 semillas.

PA: Partición de asimilados.

PC ó PC45: Población tradicional: PC4 y PC5.

PI ha<sup>-1</sup>: Plantas por hectárea.

PP: Producción de pericarpios.

PS: Producción de semillas.

PT: Producción total de semillas y pericarpios.

R: Fenofase reproductiva.

RFA: Radiación fotosintéticamente activa.

RPT: Ramificaciones principales del tallo.

Sistema Internacional de unidad de medida

SR: Sistema radical.

T: Transpiración.

TAN: Tasa de asimilación neta.

TCC: Tasa de crecimiento del cultivo.

Tb: Temperatura base.

TF: Tasa fotosintética.

US: Uso del agua.

V: Fenofases vegetativas.

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis comparativo de tres líneas puras (LP) respecto de la población tradicional (PC) de poroto caupí colorado, de porte semi-erecto, en la EEA Colonia Benítez, Chaco (27° 25' LS; 58° 56' LW; 54 m.s.n.m.). El ensayo se ubicó en un suelo Argiudol típico, con clima templado húmedo sin estación seca. El diseño fue en bloques completos al azar, con cinco repeticiones. Las siembras se realizaron el 15-11-2007 y el 12-12-2008. Las parcelas fueron de 4 líneas distanciados a 1 m, y 33.000 pl ha<sup>-1</sup>. Los datos obtenidos se analizaron con The SAS System. En ambas campañas se realizaron relevamientos fenológicos, ecofisiológicos vinculados con la economía del carbono y del agua y de los componentes del rendimiento. Del análisis surge que la PC tiene comportamiento intermedio entre las LP32 y LP20 que son más erectas y la LP22 que es más rastrera. Fenológicamente, la LP32 cumplió su ciclo en menos de 90 DDS y la LP22 con más de 108 DDS en condiciones favorables, debido a los menores requerimientos térmicos de la LP32, que anticipó las fenofases vegetativas y reproductivas. Fisiológicamente, la LP32 presentó mayor producción de biomasa, mayor partición de asimilados y mayor eficiencia del uso de agua en las fenofases vegetativas. La LP32 tuvo mayor tasa de crecimiento del cultivo (TCC), mayor cociente de área foliar (CAF) y mayor área foliar efectiva (AFE) en las fenofases vegetativas, que disminuyeron rápidamente en las fenofases reproductivas, motivo por lo que presentó un índice de cosecha (IC) superior respecto del resto de las LPs y PC. El mayor IC de la LP32 se explicó porque en los componentes del rendimiento se hallaron diferencias significativas en el número de vainas por planta. La LP32 surgió como línea promisoría por su comportamiento ecofisiológico y productivo para inscribirse como variedad.

### Palabras clave:

Caupí colorado, fenología, crecimiento, economía del carbono, cosecha, rendimiento.

**ABSTRACT**

The aim of this was to investigate in comparative analysis of three pure lines (LP) respect of the traditional population (PC) of red cowpea, of semi-erect canopy, in the EEA Colonia Benítez, Chaco (27 ° 25 'S, 58 ° 56 'LW, 54 m). The experiments were located in a typical soil classified as Argiudoll, with moderate humid climate without dry season. The design was a randomized complete blocks design with five replications. The sowing dates were 15-11-2007 and 12-12-2008. The plots were 4 row between 1 rows and 33,000 pl ha<sup>-1</sup>. The obtained data was analyzed by The SAS System. In both seasons, reports phenology and ecophysiological variables linked with carbon economy and water, and components of de yield. Were measured and registered the analysis shows that PC, hasan intermediate behavior between LP32 and LP20 (the most erect) and LP22 (less erected canopy). Phenologically, the LP32 reached maturity of 90 while LP22 with more than 108 DDS in favorable conditions, due to the minor requirements thermal of the LP32, which anticipated the vegetative and reproductive phenophase. Physiologically the LP32 presented greater production of biomass, greater assimilated partition, grater of water use efficiency in vegetative phenophase. The LP32 had greater crop growth rate (CGR), greater ratio leaf area (RLA) and greater effective leaf area (SLA) in vegetative phenophases, which decreased rapidly in the reproductive stages. For this reason, the harvest index (HI) was higher than rest of the LPs and PC. The greater HI of the LP32 was explained by the yield components whit significant differences mainly in pods number per plant. The LP32 arose as a promissory line for its ecophysiological behavior and yield potential, to be registered as variety.

**Key words:**

Cowpea red, phenology, growth, carbon economy, harvest, yields.

## CAPÍTULO 1.

### PRESENTACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DEL CULTIVO DE POROTO CAUPÍ [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] EN LA ZONA.

#### INTRODUCCIÓN

##### **Problemática agronómica del cultivo rendimientos superficies.**

En las provincias de Chaco y Formosa se estima una población de 20.000 pequeños productores: estando el 66% de los mismos en la primera provincia y el resto en la de Formosa (SAGPyA, Informe P. I., Censo Nacional Agropecuario, 2002).

Los pequeños productores de la región que siembran caupí [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] sólo o con otros cultivos como maíz y mandioca. No tienen variedades definidas, sembrando poblaciones aclimatadas a la región y obteniendo rendimientos variables entre 700 a 1.700 kg.ha<sup>-1</sup> de semilla. Este cultivo se siembra entre los 30 y 40 grados de latitud sur y norte respectivamente (INDEC, 2002; Jover, Comunicación personal).

En el mundo se siembran 98.000.000 ha<sup>-1</sup> con un rendimiento de 31.200.000 toneladas según Pekşen y Artık (2004). En forma extensiva en grandes superficies en distintos países de África, Asia y de América (EEUU y Brasil) (Campos et al., 2000; Ehlers and Hall, 1997; Hall, 2004; Jover, 2006).

Como alimento humano, el poroto caupí es de suma importancia porque sus granos secos poseen un contenido de proteínas que varía entre 23 y 25%, son deficiente en aminoácidos azufrados (cistina y metionina) aunque tiene buen contenido de vitaminas y de minerales tales como fósforo, potasio y calcio (Duke, 1983). También se lo utiliza como una importante fuente de proteína para animales, como abono verde, mejorador de las condiciones físico-químicas de suelo, fijador de nitrógeno y presentando una fuerte adaptación a condiciones áridas [Ávila-Serrano et al., (2005, 2006); Hall, 2004].

A diferencia de Brasil, México y EEUU, que cuentan con referencias sobre ecofisiología y componentes de producción para sus cultivares [Ávila-Serrano et al., (2005, 2006); Jover, Comunicación personal; 2006; Cámeron, 2003; Campos et al., 2000; Cardoso e Ribeiro, 2006; Ehlers and Hall 1997; Freire Filho et al., 2002; Hall, 2004; Ishiyaku et al., 2005] los productores de poroto caupí de las provincias de Chaco y Formosa carecen de esa información. Disponer de esta información permitirá elaborar e implementar manejos tecnológicos (mejorados) óptimos del cultivo, buscando maximizar los rendimientos.

##### **Material biológico de estudio.**

El poroto caupí es una leguminosa herbácea anual originaria de África, adaptada a clima tropical a subtropical. Se encuentran dos tipos de hábito de crecimiento, determinado e indeterminado, mientras que presenta portes de



crecimiento erecto, semi-erecto, semi-postrado o trepador y postrado (Freire Filho et al., 2005).

El poroto caupí es una planta diploide con  $2n=2x=22$  cromosomas (Ehlers and Hall, 1997). Taxonómicamente, corresponde a la división Dicotiledónea del orden Fabales, de la familia Fabáceas, de la subfamilia Faboideae, tribu Phaseoleae, subtribu Phaseolina, género *Vigna*, sección Catiang y especie [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] (Freire Filho et al., 2005).

La planta de caupí tiene un tallo principal y ramificaciones laterales. La raíz pivotante tiene ramificaciones laterales abundantes y se caracteriza por realizar nodulaciones simbióticas con bacterias del género *Bradyrhizobium* sp. (Ávila-Serrano, et al 2005; Freire Filho et al., 2002). El primer par de hojas es unifoliolada y opuesta, las consecutivas son trifolioladas. Las hojas pueden tener forma globosa, sub-globosa, hastada o sub-hastada; tienen yemas vegetativas que dan origen a las ramificaciones o guías y reproductivas que dan origen a los pimpollos florales. Las flores de variados colores se desarrollan sobre racimos que están encima de largos pedúnculos. El fruto (la chaucha) es una legumbre, lineal o sub-cilíndrica, bivalva, variando de muy dehiscente a poco dehiscente (Jover, 2006).

En esta investigación se trabajó con la población tradicional (PC) del material conocido como poroto caupí colorado y tres líneas puras (LP) obtenidas por selección de esta población.

### **Manejo agronómico del cultivo**

En la Región Chaco-Formosa a nivel de pequeños productores existen bajos niveles de productividad para los principales cultivos de renta, algodón, maíz, banano, sandía, calabacita entre otros. (INTA, 2009). Estos rendimientos son consecuencia del deterioro físico químico de los suelos, por la utilización herramientas, maquinaria inadecuadas o en estado de obsolescencia. Además del consecutivo uso del monocultivo de renta, con escasa a nula utilización de rotación de tierras, de cultivos y con tecnologías no apropiadas (INTA, 2006).

En general los porotos caupí que más se siembran en la región son el colorado, crema, señorita y el San Francisco, existiendo también otros (Jover, Comunicación personal). Los productores cultivan estos porotos con diversas condiciones de clima, suelos, herramientas, insumos, etc. Pero generalmente en siembras de primavera y estivales hasta mediados de febrero con temperaturas entre los 20 y 35° C. Los suelos van de pH 5,5 a 7,2, profundos y bien drenados, porque no soporta mucho tiempo el encharcamiento (Jover 2006).

Las densidades de siembra y distanciamientos de surcos variados, aproximadamente 8 a 10 Kg. de semilla por hectárea para grano y 15 a 20 Kg. de semilla por hectárea para abono. En siembras muy densas para grano suelen realizarse raleos para evitar competencias del mismo cultivo.

El sistema convencional de labranza es el más utilizado. Incluye 2 ó 3 pasadas de rastra de disco o arado de reja y vertedera y 1 ó 2 pasadas de rastra de dientes, previo a la siembra por golpe, a chorrillo o con sembradora de granos de uno a más líños a la vez.

Dentro del manejo del cultivo se hallan el control de malezas mediante carpidas, en especial hasta los 30 a 45 días después de la siembra (DDS), y el de plagas, en particular los insectos que dañan el grano: curculio [*Chalcodermus aeneus*

(Boheman)]; gorgojo [*Callosobruchus maculatus* (Fabricius)]; y oruga [*Maruca vitrata* (Fabricius)]. La cosecha de estos materiales es manual y se realiza cuando las vainas están secas. Posteriormente las chauchas se desgranar, usualmente en forma artesanal, exponen las chauchas al calor del sol para facilitar el desgrane, o con máquinas trilladoras estáticas. La comercialización generalmente es en grano seco, abasteciendo la demanda de los mercados locales y regionales (Jover, 2006).

## **HIPÓTESIS**

Las diferencias de los comportamientos ecofisiológicos entre las líneas puras y el ecotipo local de caupí colorado [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.], puede explicarse en términos de variables de crecimiento, de la economía del carbono y de los componentes (numéricos y fisiológicos) del rendimiento.

### **Objetivos generales.**

Evaluar el crecimiento, la economía del carbono y los rendimientos en el cultivo, comparando el ecotipo local del poroto caupí colorado con sus líneas puras.

### **Objetivos específicos.**

- a) Evaluar el crecimiento en términos de altura de la planta, número de hojas, número de ramificaciones; caracterizar las etapas y requerimientos térmicos.
- b) Evaluar la economía del carbono mediante la intercepción de la radiación, producción de biomasa, partición de asimilados e índice de cosecha.
- c) Evaluar los componentes del rendimientos, numéricos y fisiológicos.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Colonia Benítez (27° 25' LS; 58° 56' LW; 54 m.s.n.m.) durante las campañas 2007-08 y 2008-09.

La población común (PC) del poroto colorado, presenta hábito de crecimiento indeterminado y porte semi-erecto; flores de color lila; chauchas inmaduras de color verde y/o rojiza; chauchas maduras de color pazijo y/o pazijo-rojizo, con cierto grado de dehiscencia. La semilla tiene una testa de color colorado, no rugosa y el hilo es de color oscuro a negro. Las 100 semillas pesan entre 12,0 y 16,0 gramos, con un ciclo de siembra a primera cosecha de unos 90 días. La población común (PC) de caupí colorado consiste en una mezcla de materiales, considerados ecotipos adaptados a la región (Jover, 2006; Jover, Comunicación personal). En el ensayo esta población común se repitió dos veces (PC4 y PC5).

Las líneas puras (LP) utilizadas provienen de la selección de plantas de la población nombrada. En cada planta seleccionada se hicieron cuatro (4)

autofecundaciones controladas, utilizando una modificación del método de descendencia de semilla única, y se describieron sus caracteres morfológicos en dos estadios fenológicos, finalizando con la selección del color y tamaño de las semillas, en las dos autofecundaciones siguientes.

Todas las LPs evaluadas presentan tallos y hojas de color verde; chauchas inmaduras de color verde y maduras de color pajizo; con semillas de color rojizo, sin rugosidad, con hilo oscuro. La línea pura "20" (LP20) presenta un color de flor violeta de tono más claro que las demás, las 100 semillas pesan 13,13 gramos, sus chauchas miden 14,5 cm de largo con un número promedio de semillas por chaucha de 14,2. La línea pura "22" (LP22) se distingue por su mayor área foliar, por presentar las chauchas ubicadas dentro de la canopia, por un ciclo más largo (alrededor de 15 a 20 días más que las otras dos), las 100 semillas pesan 13,0 gramos, sus chauchas miden 16,8 cm de largo con un número promedio de semillas por chaucha de 16,1. La línea pura "32" (LP32) tiene un ciclo un poco más corto que la LP20, presentando una etapa de floración y fructificación más concentrada, las 100 semillas pesan 16,53 gramos, sus chauchas miden 14,9 cm de largo con un número promedio de semillas por chaucha de 15,0. (Jover, comunicación personal)

El ensayo se ubicó en un suelo clasificado taxonómicamente como Argiudol típico, familia arcillosa fina, montmorillonítica, hipertérmica, correspondiente a la Serie Resistencia, capacidad de uso Clase IIe3. (Ledezma 1995).

Los datos climáticos utilizados para el desarrollo de la tesis fueron suministrados por el personal de meteorología de la EEA Colonia Benítez y el Instituto de Clima y Agua de Castelar del INTA.

La localidad de Colonia Benítez presenta un clima templado húmedo sin estación seca, en el período comprendido 1980 a 2000 presentó un índice de humedad anual de 5.89 y un índice de humedad estival de 6.76, régimen pluviométrico subcontinental y régimen térmico subtropical (Prause, 2000).

Se usó un diseño en bloques completos al azar, con cinco (5) repeticiones, se sembraron las líneas puras 20, 22 y 32, conjuntamente con dos materiales (PC4 y PC5) de la población de poroto caupí colorado, como testigos.

La preparación del terreno se hizo mediante varias pasadas de rastra de discos y vibrocultivador entre agosto y diciembre según fecha de siembra, para cada campaña. Previo a la siembra la semilla se trató con el curasemilla Vitavax Flo, a razón de 200 cc/100 kg de semilla, posteriormente fue inoculada con la cepa *Bradyrhizobium* sp., inoculante específico aportado por la Ing. Agr. María Iglesias Jefa de la Cátedra de Microbiología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias (FCA), Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Se usó una dosis doble a la recomendada a la siembra. Las mismas se realizaron el 15 de noviembre de 2007 y el 12 de diciembre de 2008 para la primera y segunda campaña, respectivamente.

La unidad experimental estuvo constituida por cuatro liños de ancho, distanciados a un metro, por 15 y 25 metros de largo en la primera y segunda campaña, respectivamente. La superficie útil de cosecha fue de 12 m<sup>2</sup>, utilizándose los dos liños centrales de la parcela para la obtención del rendimiento en kg.ha<sup>-1</sup> y sus componentes, en ambas campañas. A la cosecha, se realizó el recuento de plantas por liño y por parcela para analizar la uniformidad de plantas a la cosecha y la pérdida de plantas entre siembra y cosecha. El resto de la parcela sirvió para realizar muestreos de plantas para mediciones de fenología, radiación, área foliar y biomasa.

Para evaluar fenología se usaron dos plantas en los dos liños centrales cercano a la parcela de 12 m<sup>2</sup>, con su respectiva bordura, y para evaluar la economía

del carbono se utilizó el resto de la parcela. Aproximadamente 6 metros y 16 metros para economía del carbono en la primera y segunda campaña respectivamente. Motivo por el cual, se extrajo una y dos plantas por parcela la primera y segunda campaña, respectivamente; tanto para área foliar como para la determinación de biomasa seca a través de la partición de asimilados (Campos et al., 2000)

Las mediciones de parcela se realizaron con cinta métrica, y su demarcación estacas de metal de 45 cm de altura en el medio de la parcela y en ambos extremos. La parcela de cosecha marcó con varillas de hierro 6 mm de espesor y 90 cm de altura atados con cinta para su identificación.

La siembra fue en forma manual, colocando las semillas a golpe en cada liño de siembra según (Ávila-Serrano et al., 2005, 2006) El raleo se realizó entre los primero 20 días de nacido dejando plantas a treinta (30) centímetros por metro lineal.

Para el control de malezas se aplicó Metolacoloro (Dual Gold 96%) herbicida pre-emergente, en cobertura total, a razón de 0,9 lt ha<sup>-1</sup> de producto comercial, con pulverizadora montada en tractor, y usando un caudal de 200 lt. ha<sup>-1</sup> de agua. Para malezas pos-emergentes el control se hizo con carpidas manuales sobre la línea de siembra y entre el surco con azaditas y azadas, respectivamente, cuantas veces fueron necesarias.

El control de insectos se realizó con piretroides (Kalibre y Landacialotrina), a dosis recomendadas para soja, aplicándolo a intervalos de diez (10) a quince (15) según fue necesario, con mochila o motomochila con caudales entre 100-150 lt. ha<sup>-1</sup> dependiendo del follaje y de la posibilidad de ingreso en el cultivo.

Para realizar las determinaciones fenológicas se usaron la escala de Campos, et al. (2000) y se trabajo con calibre, regla, cinta métrica, recuento de hojas en el tallo y ramificación y observación general de la planta. Se especifica más en el Capítulo 2.

Para la determinación de biomasa seca (B) o materia seca (MS) se realizó el corte del tallo principal de la planta al ras del suelo con tijera de podar. Las plantas se cosecharon en los liños centrales de las parcelas, después se desenredaron y se separaron las partes misma en tallo (eje principal y ramificaciones), hojas, pimpollos, pedúnculos florales y vainas. Estos órganos se colocaron en bolsas de papel N° 5 codificadas y posteriormente se procedió al secado de las muestras hasta masa constante en una estufa marca DALVO Mod CHR-1 con ventilación forzada, a 65 °C, por más de 72 hs, para las dos campañas. La masa se determinó por diferencia de peso entre las bolsas cargadas y las bolsas secas. Y para hallar la diferencia se utilizó una balanza OHAUS GA200 de precisión con una resolución de 0,0001 gramo.

El índice cosecha es un valor estimativo y dado que las plantas de caupí se deterioran en la manipulación de la cosecha, se adaptó el cálculo propuesto por Nuñez y Argüello (1993). Determinación de MS por planta: En la campaña 2007-08, se tomó el promedio de la ultima partición de asimilado a los 78 DDS, donde los materiales se encontraban en R<sub>4</sub>. Y en la campaña 2008-09, se procedió de igual manera, a los 95 DDS; donde la mayoría de los materiales alcanzaron R<sub>5</sub> a los 98 DDS, con excepción de la LP22 que los hizo unos días más tarde.

Determinación del rendimiento: Se tomaron los datos promedios a primera cosecha para ambas campañas.

Para determinar el área foliar se realizó la extracción de plantas de igual manera que para biomasa seca, en ambas campañas. Una vez extraída la planta, primero se separaba la tercera hoja bien desarrollada más cercana al ápice, seguidamente se separaban todas las hojas verdes y foliolulos verdes

(fotosintéticamente activos) que la planta tenía. Posteriormente se contaban y herborizaban sobre papel de diario, debidamente rotulado, etiquetado y conservado hasta la oportunidad de medición. Para conservar el estado general de las hojas se cambiaba constantemente los diarios hasta obtener un correcto herborizado. El área foliar se determinó con un medidor portátil, el Li-Cor Modelo 300A (Li-cor, Inc., Lincoln Nebraska USA). Para poder usar dicho medidor se procedió de la siguiente forma: cada lámina de hoja, o foliolulo se colocó en filminas, luego se pasó a través del medidor, obteniéndose el área foliar y por suma acumulativa de los registros de las hojas, se consiguió el total del área foliar. (Idinoba et al., 2002). Las filminas fueron limpiadas y reemplazadas constantemente por otras cuando se manchaban o rayaban. Se comparaba constantemente la limpieza de las filminas y la medición de Licor a través de una filmina nueva conteniendo una hoja de papel de 10 por 10 cm<sup>2</sup>.

La radiación fotosintéticamente activa RFA se determinó con una barra Quantum Meter Photosynthetic Photon Flux ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) model LQS. Realizándose las mediciones entre las 11:00 y 13:00 horas del día, en días diáfanos (Pereira de Carvalho et al., 2000). Las determinaciones en la primera campaña y en la segunda se realizaron al ras del suelo 0,00 cm, 30,00 cm y RFA directa (por sobre el cultivo). Durante la primera campaña también se determinaron a 0,60 cm. Esta determinación se abandonó, para la segunda campaña por ser una determinación subjetiva. El cultivo empieza a volcarse, entonces la elección de donde colocar el detector, que hojas cubren o cuantas hojas cubren el detector, todo esto se transforma en una elección. Además el período en que esto sucede es a partir de los 30 a 55 DDS aproximadamente por que el cultivo antes de los 30 DDS no alcanza esta altura y después de los 55 DDS las plantas están perdiendo hojas, el cultivo prioriza la traslocación de fotoasimilados a las hojas y el cultivo se encuentra con guías enredadas hacia distintos lugares, no homogéneamente.

La eficiencia del uso de la radiación se calculó con los datos de RFA determinados en el cultivo y con los rendimientos por hectárea, de las parcelas de rendimiento.

La eficiencia del uso del agua se calculó con los datos provenientes de la Estación Meteorológica de la EEA Colonia Benítez y los rendimientos por hectárea obtenidos en el ensayo.

La tasa fotosintética, concentración de CO<sub>2</sub> intercelular, conductancia estomática y transpiración se midió con un medidor portátil marca Li-6400 de la FCA-UNNE, a los 31 y 52 días después de la siembra (DDS) en la primera campaña y 49 DDS en la segunda campaña. Las mediciones se realizaron en tres bloques y en todas las parcelas fueron seleccionadas 3 plantas. Estas, eran seleccionadas, buscando la uniformidad de competencia, la factibilidad de ingreso, y una rápida identificación de la tercera hoja perfectamente desarrollada antes de llegar al ápice del tallo principal.

El análisis de los datos se realizó con The SAS System con la metodología General Linear Models Procedure por pérdida de una parcela (PC4 población común) en el bloque 4 del ensayo.

## **CAPÍTULO 2.**

### **ESTUDIO DE LA FENOLOGÍA, EL CRECIMIENTO Y EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE POROTO CAUPÍ Y DE SUS LÍNEAS PURAS.**

#### **INTRODUCCIÓN**

Actualmente, se desconoce el patrón de comportamiento fenológico del poroto caupí colorado en la región Chaco-Formosa y, consecuentemente, de las LPs derivadas de esa PC. Además, se desconoce, en ese contexto, aspectos fisiológicos del crecimiento y el desarrollo de dicha especie.

La fenología es el estudio de los cambios visibles de los procesos de crecimiento y desarrollo, y muestra o marca los estadios de las plantas en el transcurso de su ontogenia. La fenología de caupí, tal como en el resto de las plantas superiores, está conformada por los hábitos de crecimiento y el desarrollo con distintos grados de precocidad, según el cultivar y el ecotipo. Durante estos períodos se suceden distintos cambios morfofisiológicos que son observados a través de las fenofases que las diferencian unas de otras. Los estadios sirven para caracterizar los ciclos de los cultivares o ecotipos, registrar sus características, reconocer y aprovechar más eficientemente los germoplasmas disponibles (Evans, 1983; Andrade y Sadras, 2000; Freire Filho et al., 2005; Pereira et al., 1997).

Las fenofases pueden ser explicadas a través de las variables de crecimiento y desarrollo; confiriéndole a las variedades, cultivares, ecotipos y líneas con que se trabajen características propias como la precocidad que las distinguen. La fenología (siembra a madurez) y la morfología (hábito de crecimiento) muestran adaptaciones de cultivares a diversos ambientes o plasticidad, que puede ser influenciada por la temperatura y el fotoperíodo (Hall, 2004; Singh et al., 1997).

Como guía para describir el ciclo del cultivo existen varios tipos de escalas de clasificación fenológica de poroto caupí disponibles en el mundo. Estas relacionan el porte con la precocidad del ciclo, el hábito de crecimiento y la adaptación de las variedades y cultivares (Campos, et al., 2000; Ehlers and Hall, 1997; Freire Filho et al., 2005; Hall, 2004; IPGRI, 1983; Pereira et al., 1997, Pereira de Carvalho et al., 2000).

El hábito de crecimiento del caupí puede ser determinado o indeterminado (Freire Filho et al., 2005; Hall 2004). Respecto de la arquitectura, el caupí se clasifica de: porte erecto, semi-erecto, semi-postrado, postrado o trepador; pero hay varias clasificaciones, según los diferentes autores (Campos et al., 2000; Ehlers and Hall, 1997; IBPGR, 1983, Freire Filho et al., 2005; Pereira de Carvalho et al., 2000). La variable altura en caupí explica en gran medida, el hábito de crecimiento de los cultivares en respuesta a su variabilidad genética (Ávila-Serrano et al., 2005, 2006; Hall, 2004). Los cultivares de tipo erecto son utilizados para sistemas mecanizados, de alta densidad, sincronización de floración, alta fertilidad, pulverizaciones y cosecha mecánica, ya que tienen menos variabilidad genética (Ehlers and Hall, 1997; Hall, 2004).

Según Almeida Lopes et al. (2001), observaron que la altura del tallo principal está relacionada con el número de nudos y el alargamiento de los entrenudos, y que la tasa de generación de pedúnculos y vainas se relacionaba con la producción de nudos prolíficos; estos últimos asociados principalmente con la temperatura (Hall, 2004). La altura y el número de nudos del tallo principal explican también el tipo de crecimiento y el porte (Ávila-Serrano et al., 2005). Además, los factores externos (climáticos, edáficos, densidad de siembra, plagas y enfermedades) pueden afectar el crecimiento modificando el dosel del cultivo (Ávila-Serrano et al., 2005, 2006; Freire Filho et al., 2005; Campos et al., 2000; Ehlers and Hall, 1997).

Para determinar la duración de diferentes estadios se pueden utilizar las sumas térmicas expresada en grados días (GD) (Keating et al., 2003). Existen distintas escalas para seres poiquiloterms como las plantas, donde la temperatura es un factor básico que influencia el curso de la vida; especialmente la tasa de cambios morfofisiológicos, expresada en GD, como una constante térmica para que se cumplan las fenofases (Keating et al., 2003; Trudgill et al., 2005). Hay genotipos que se diferencian por su floración respondiendo a diferentes temperaturas y fotoperíodos debido a su estrecha relación. En otros países, se han realizado selecciones de cultivares por GD, diferente fotosensibilidad y períodos juveniles, en distintos climas, para escapar a condiciones climáticas y fitopatológicas adversas (Craufurd et al., 1996; Ehlers and Hall, 1997; Hall, 2004).

El desarrollo en la fenología del caupí se entiende como la sucesión progresiva de los estados diferenciados morfofisiológicamente que involucra la sucesiva generación de estructuras de vegetativa a reproductiva (Martínez-Zapater y Salinas, 1993; Roldán y Martínez-Zapater, 2000.), proceso por el cual un organismo evoluciona hacia un estado adulto (Andrade y Sadras, 2000; Baigorri, 2002) y agrónomicamente productivo.

La precocidad puede ser definida como el tiempo o días desde la siembra al inicio de floración (Evans, 1983) y otros como de siembra a cosecha según Freire Filho et al. (2005). Diversos autores observaron en Brasil, EEUU, Turquía, Nigeria, Italia, y otros países donde se cultiva el caupí, cultivares de rápido desarrollo (60 a 70 días), con rendimientos de 2.000 kg ha<sup>-1</sup>. (Ehlers and Hall, 1997; Freire Filho et al., 2005; Negri et al., 2000). Freire Filho et al. (2005) clasificaron los cultivares de caupí según su duración en: superprecoz, precoz, medio, medio-precoz, medio-tardío y tardío. Otros autores, como Campos et al. (2000), lo han clasificado como: supertemprano, temprano, medio y tardío. El hábito de crecimiento también influencia la precocidad (Pereira de Carvalho et al., 2000); así, cultivares de caupí seleccionados de ciclo indeterminado obtuvieron altos rendimientos (menores de 5.000 kg ha<sup>-1</sup>) aplicando toda la tecnología disponible para optimizar la producción (Hall, 2004). En el noreste argentino (NEA), los materiales regionales varían el tiempo de la primera cosecha entre 70 a 90 días después de siembra (DDS) y la segunda cosecha que se realiza aproximadamente 45 a 60 días posteriores de la primera cosecha (Jover, 2006; Jover Comunicación personal).

La etapa de floración a madurez es una característica importante de adaptación de las distintos cultivares de caupí presentes en las descendencias a través de cruzamiento según Ishiyaku et al. (2005). La inducción floral separa las fases vegetativas de las reproductivas que en los ecotipos regionales son aproximadamente de 45 días (Jover, 2006).

La hipótesis de este capítulo fue las LPs poseen crecimiento más uniforme y precoz respecto de la PC, por lo que su respuesta fenológica y morfofisiológica es más uniforme favoreciendo la productividad.

El objetivo de este capítulo fue caracterizar las distintas fenofases de las LPs y de la PC de poroto caupí colorado, y evaluarlas en términos del crecimiento y el desarrollo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### Material Biológico:

El material biológico usado de poroto caupí, las parcelas de ensayo y la ubicación del lote, ya fueron descritos en el Capítulo 1.

### Evaluaciones fenológicas:

Las observaciones y mediciones fenológicas se hicieron siguiendo las parcelas y las plantas, desde emergencia hasta cosecha. En las primeras etapas de desarrollo del cultivo las observaciones fueron hechas en las parcelas. Entre la aparición de la primera hoja verdadera y el raleo, se seleccionaron dos plantas por parcela, una planta por líño en los dos líños centrales de la parcela, en las que se midieron las variables fenológicas. Se utilizó la escala de Campos et al. (2000) como guía para describir el ciclo del cultivo porque fue desarrollada usando cultivares de caupí para variedades superprecozes (menos de 60 días a cosecha) y precozes (menos de 80 días a cosecha), adaptándose a los materiales usados en esta investigación. En dicho trabajo se identificaron dos fases: una vegetativa con 10 estadios ( $V_0$  a  $V_9$ ) y otra reproductiva con cinco estadios ( $R_1$  a  $R_5$ ). La descripción de las fases se transcribe:

#### ➤ Fases vegetativas

$V_0$ : Siembra.

$V_1$ : Los cotiledones se encuentran emergidos sobre la superficie del suelo.

$V_2$ : Las hojas unifolioladas se encuentran completamente abiertas; sus dos márgenes están completamente separados.

$V_3$ : La primera hoja trifoliolada se encuentra con los folíolos separados y completamente abiertos.

$V_4$ : La segunda hoja trifoliolada se encuentra con los folíolos separados y completamente abiertos.

$V_5$ : La tercera hoja trifoliolada se encuentra con los folíolos separados y completamente abiertos.

$V_6$ : Los primordios del tallo secundario surgen en las axilas de las hojas unifolioladas o también de las trifoliadas.



V<sub>7</sub>: La primera hoja del tallo secundario se encuentra completamente abierta.

V<sub>8</sub>: La segunda hoja del tallo secundario se encuentra completamente abierta.

V<sub>9</sub>: La tercera hoja del tallo secundario se encuentra completamente abierta.

➤ Fases reproductivas

R<sub>1</sub>: Surgen los primordios del primer botón floral en el tallo principal.

R<sub>2</sub>: Antesis de la primera flor, generalmente oriunda del primer botón floral.

R<sub>3</sub>: Inicio de la maduración de la primera vaina, generalmente oriunda de la primera flor. Caracterizado por el cambio de color de las vainas debido al inicio de madurez.

R<sub>4</sub>: Madurez del 50% de las vainas de la planta o parcela.

R<sub>5</sub>: Madurez del 90% de las vainas de la planta o parcela.

Evaluación del crecimiento y desarrollo:

➤ Variables de crecimiento

Altura del tallo principal y largo de la primera ramificación (cm): se realizó con cinta métrica desde la base del tallo a nivel del suelo hasta la punta del ápice.

Número de hojas del tallo principal: se registraron los valores por recuento.

Número de nudos del tallo principal: se registró el número de nudos por recuento (Avila-Serrano et al., 2005, 2006).

Número de ramificaciones principales: por recuento.

Diámetro del tallo a la altura cotiledón: se usó un calibre (mm).

Grados días (GD): se utilizaron sumas térmicas con las temperaturas cardinales: temperaturas base de 10 °C, y máxima de 35 °C, según el modelo APSIM en Keating et al. (2003).

➤ Variables de desarrollo en términos de la precocidad

Suma térmica por fenofase: desde V<sub>0</sub>-R<sub>5</sub> expresada en GD acumulados.

Precocidad: considerado como días desde V<sub>0</sub>-R<sub>1</sub> y V<sub>0</sub>-R<sub>5</sub>.

Los registros fenológicos se tomaron cada dos días para la determinación de la fenofase. Se usaron dos plantas, una en cada líño, en los dos líños centrales cercanos a la parcela de rendimiento, con su respectiva bordura. El diseño experimental y evaluación estadística de los datos utilizados fue: un diseño en bloques completos al azar, con cinco repeticiones; se sembraron las LP20, LP22 y LP32, conjuntamente con dos mezclas de materiales de la población tradicional PC4 y PC5 de poroto caupí

colorado como testigos. Las PC se trabajaron juntas en el análisis de los datos como PC45. Los datos se analizaron con The SAS System. Se utilizó el PROC GLM de SAS. Se realizaron los siguientes análisis: Medidas repetidas en el tiempo con el PROC GLM de SAS, un MANOVA, asumiendo las sucesivas mediciones como una observación multivariada. Luego, se realizaron pruebas univariadas ANOVA con el test de significancia (prueba de Duncan con un  $\alpha = 0,05$ ). El análisis fue independiente por campaña para estadios vegetativos y reproductivos, altura del tallo principal, número de hojas en el tallo principal, largo de la primera ramificación, número de hojas en la primera ramificación y diámetro del tallo a la altura del cotiledón. Los análisis fueron independientes por campañas para las variables estudiadas (Steel y Torrie, 1985; InfoStat, 2004).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 2.1 y la Figura 2.1 muestran cómo se presentaron los estadios fenológicos (fenofases) entre las LPs y PC, desde los estadios vegetativos ( $V_0$ ) hasta los reproductivos ( $R_5$ ) en las dos campañas. Las LPs y la PC, que se estudiaron a una misma densidad, tienen el mismo hábito de crecimiento (indeterminado) y porte (semi-erecto); y expresaron sus diferencias en las fenofases y en la longitud de su ciclo u ontogenia, siguiendo la escala de Campos et al. (2000).

Los cultivares que fueron más tardíos al iniciar  $R_1$  en la escala de Campos et al. (2000) alcanzaron dicha etapa antes (en DDS) que los más precoces de este estudio. Así, los cultivares BR 1-Poty, BR 14-Mulato y CE-315 de porte semirrectos, rastrero y rastrero respectivamente de Campos et al. (2000) completaron antes su ciclo que las LPs y la PC de portes semierectos.

Comparando el desarrollo fenológico de dos campañas en la escala de Campos et al. (2000) y los de este estudio, se pudieron encontrar variaciones en DDS en las etapas fenológicas entre campañas. Estas diferencias en los estadios fenológicos del mismo cultivar, LPs y PC, pudieron deberse a variaciones de: época de siembra, condiciones climáticas y otros factores. Craufurd et al. (1996) encontraron una amplia variabilidad de los genotipos al inicio de la floración como respuesta a la temperatura y al fotoperíodo en una amplia selección. Negri et al. (2000), en cambio, encontraron diferencias de cultivares en una colección proveniente de 50 Km<sup>2</sup> a la redonda, área de recolección menor que la zona de adaptación de la PC, que se comportan más precoces a  $R_1$  que los que se analizan en este estudio.

El caupí es una planta atógama y que tiene porcentajes de cruzamientos en forma natural causados por insectos (Jover, 2006; Ishiyaku et al., 2005; Duke, 1983; Ehlers and Hall, 1997). Se puede concluir, entonces, que la PC de poroto colorado caupí posee una alta variabilidad por autoselección natural en la región NEA. Esta variabilidad se pudo observar en las diferencias en términos de fases fenológicas y morfofisiológicas en las líneas puras que se trabajaron.

Las LPs y la PC estudiadas alcanzaron el inicio del estado reproductivo  $R_1$  entre los 41 y 50 DDS durante las dos campañas. La más precoz fue la LP32 a los 41 y 44 DDS en la primera y segunda campaña respectivamente. Mientras, la LP22 fue la más tardía alcanzando  $R_1$  entre los 47 y 50 DDS en la primera y segunda campaña respectivamente. La LP20 y la PC45 tuvieron un comportamiento intermedio entre 45 y 47 DDS en las dos campañas.

Tabla 2.1: DDS insumidos para iniciar las fenofases vegetativas y reproductivas en las LPs y PC.

Campaña 2007-08															
LPs y PC	V <sub>0</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>9</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>
45	0	6	8	15	20	24	26	30	32	36	45	52	68	80	96
20	0	6	8	14	19	24	27	32	34	39	45	51	68	79	88
22	0	6	8	15	23	25	27	31	35	40	47	57	72	84	109
32	0	4	6	13	17	23	26	30	31	37	41	48	68	75	86

Campaña 2008-09															
LPs y PC	V <sub>0</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>9</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>
45	0	7	11	15	18	25	31	34	38	42	46	56	70	75	98
20	0	7	11	14	22	25	32	33	39	43	47	58	72	75	98
22	0	7	11	15	23	27	34	37	39	44	50	67	78	98	108
32	0	7	11	14	17	25	27	33	37	41	44	55	68	75	98

\*Las variaciones de las fenofases por columnas son valores generales para las LPs y PC.

La LP32 mostró su precocidad durante la primera campaña alcanzando R<sub>5</sub> a los 86 DDS (Tabla 2.1 y Figura 2.1). Para la fenofase R<sub>5</sub>, la LP22 fue de ciclo más largo, ya que alcanzó dicha fase, a los 109 DDS. Un comportamiento intermedio presentó la PC45 alcanzando R<sub>5</sub> a 96 DDS. Durante la segunda campaña, de condiciones climáticas más estresantes (déficit hídrico), la LP32, LP20 y PC45 se comportaron de forma similar, alcanzando R<sub>5</sub> a los 98 DDS, mientras que LP22, de ciclo más largo, lo hizo a los 108 DDS, prácticamente sin variación en días.

Negri et al. (2000) trabajaron con densidades de 41.600 pl ha<sup>-1</sup> y encontraron materiales que alcanzaron el inicio de floración (R<sub>2</sub>) entre 29 a 38 DDS, por lo que son más precoces que las LPs y PC utilizadas en esta tesis. Siguiendo el mismo comportamiento, el autor determinó R<sub>3</sub> entre los 48 a 62 DDS; y las LPs y PC45 de este estudio, de ciclos más largos, se encuentran en R<sub>1</sub> o R<sub>2</sub>. Negri et al. (2000) hallaron cultivares de floración a madurez de vainas desde 22 a 32 días para las precoces y tardíos respectivamente, valores, que estarían en correspondencia con el presente estudio, si se observa la maduración escalonada desde R<sub>3</sub> a R<sub>5</sub>.

Pereira de Carvalho et al. (2000), trabajaron con distintos cultivares, densidades, hábitos de crecimiento, riego y fertilización, los autores encontraron que, el inicio de la floración se produjo a los 41 DDS en promedio; siendo entre los 38 a 53 DDS los más precoces y tardíos respectivamente. Los autores, manifestaron que el inicio de floración estuvo influenciado por la densidad de siembra. Por otro lado, en este trabajo, las LPs y PC45 estudiadas estarían comprendidas entre ciclos mediotardío y tardío con floraciones entre 41 a 53 DDS o R<sub>1</sub>; sembrados con densidades menores, donde el inicio de floración no estuvo influenciado por la densidad.

Pekşen y Artık (2004) compararon distintos genotipos de caupí a 166.000 pl ha<sup>-1</sup>, y encontraron que los días a primera floración variaron en promedio entre 55,3 y 73,2 DDS. Estos cultivares resultaron ser de ciclo más largo (menos precoces) que los de este estudio y que los usados por Pereira de Carvalho et al. (2000).

Del análisis precedente surge que los materiales estudiados poseen un porte semi-erecto, adaptados a la zona, pero menos erectos que los utilizados por Negri et al. (2000) y menos rastrero que los utilizados por Pereira de Carvalho et al. (2000).

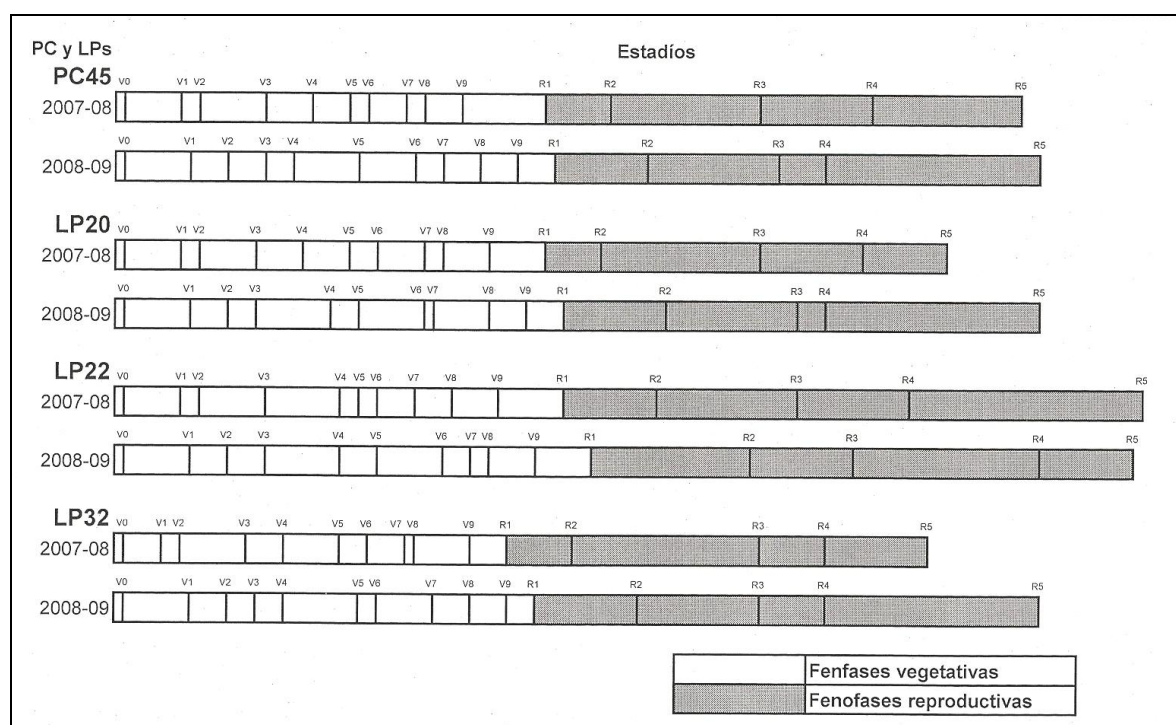


Fig. 2.1: Fenofases vegetativas y reproductivas de caupí de las LPs y PC45 de hábito de crecimiento indeterminado y porte semirrecto.

En la primera campaña, el perfil del suelo había acumulado agua y, en las etapas iniciales, del cultivo se desarrollaron perfectamente. En la segunda campaña, la acumulación de agua fue menor y la mayor parte del agua se perdió en las labranzas de preparación del terreno.

Durante la segunda campaña, se pudo observar que las LPs y la PC45 presentaron mayor duración del estado vegetativo y reproductivo al primer ciclo de floración, con excepción de la LP22 que acortó la etapa reproductiva. La LP32, que alargó la etapa vegetativa y en la reproductiva redujo la fenofase de floración (R<sub>2</sub>) y aumentó el llenado de granos (R<sub>4</sub>). La LP20 y la PC45 tuvieron un comportamiento intermedio. Mientras, la LP22 prolongó la etapa vegetativa y acortó la etapa reproductiva a expensas de la fenofase de floración (R<sub>2</sub>) y madurez (R<sub>4</sub>), alargando los períodos de aparición del primordio floral (R<sub>1</sub>) y el inicio de madurez (R<sub>3</sub>) (Tabla 2.1 y Figura 2.1). El alargamiento de los ciclos vegetativo y reproductivo durante la segunda campaña se explicaría por el gasto fisiológico realizado en la etapa vegetativa frente a condiciones de estrés y que sensibilizó a plantas debido a las condiciones adversas de sequía y altas temperaturas (Hall, 2004), modificando su respuesta en la etapa reproductiva y la forma de realizar el traslado de asimilados en un solo ciclo de floración. De esta manera, la planta terminó su ciclo con la senescencia y la muerte de

la misma. Este comportamiento del caupí indicaría una estrategia de adaptación y productividad de la planta, asegurando la descendencia ante situaciones adversas.

Las Figura 2.2 muestra las condiciones climáticas presentes en el ciclo de cultivo en las campañas 2007-08 y 2008-09 en la EEA Colonia Benítez del INTA, Chaco. Durante la primera campaña, en el mes de noviembre se precipitaron 135,9 mm, por lo que el perfil estuvo cargado. La siembra se realizó el 15-11-2007, en 10 DDS se precipitaron 9 mm y el cultivo se desarrolló bien en la etapa inicial. En el mes de diciembre el cultivo estuvo bien abastecido de agua. La ETp en los dos primeros meses sumaron -321,2 mm y las precipitaciones en los dos primeros meses sumaron 314,2 mm, presentando una diferencia de -7 mm (Figura 2.2 A y C).

En la segunda campaña, el 10 de noviembre se precipitaron 34,5 mm. La mayor parte del agua se perdió en las labranzas de preparación del terreno. Se sembró el 12-12-2008 para no perder la campaña; y el día 20 del mismo mes se aplicaron 3 mm para no perder la siembra; recién en los días el 23 y 24 del mes se precipitaron 71 mm; lo que totalizó en diciembre una precipitación de 109 mm. La ETp en los dos primeros meses sumó -369,8 mm y las precipitaciones 248,1 mm, presentando un diferencia de -121,7 mm (Figura 2.2 B y C).

Según Pandey et al. (1984), el caupí y el maní tienen alta densidad de raíces entre los 0,4 a 0,8 m de profundidad de suelo (Capítulo 3. Figura 3.9). Estos autores mencionan que en la soja y la *Vigna radiata* (L.) el desarrollo radicular aparece como el mejor mecanismo de adaptación frente a la tolerancia a la sequía, coincidiendo con lo descrito por Babalola (1980). La resistencia a una condición estresante está en relación con las características genéticas, la fenofase en que se produce el estrés y el estado general de la planta al producirse el evento. La segunda campaña fue más estresante porque el perfil del suelo no estuvo lo suficientemente abastecido de agua y las etapas iniciales el cultivo se desarrolló con un importante déficit hídrico.

La Tabla 2.2 muestra las alturas promedio de los tallos principales en centímetros que alcanzaron durante el desarrollo en las dos campañas estudiadas. Existe una correlación entre altura y número de nudos, y de estos dos con la arquitectura de la planta (porte y hábito de crecimiento) que influyen la fenología y los rendimientos (Hall, 2004). Durante la primera campaña, la LP32, hasta V<sub>6</sub> o 26 DDS, presentó una altura superior a los demás materiales alcanzando 41,35 cm. Esto se repitió en R<sub>2</sub> o 48 DDS con 45,81 cm. Sin embargo, a los 36 DDS, la LP32, la LP20 y la LP22 no presentaron diferencias significativas en altura, pero la PC45 es significativamente menor que la LP32. En general, durante la primera campaña, la LP32 alcanzó primero mayor altura hasta R<sub>2</sub> o 48 DDS. En la segunda campaña, este comportamiento también se pudo observar en la LP32 desde los 17 a 62 DDS o V<sub>4</sub> a R<sub>2-3</sub> respectivamente; pero LP32 no se diferenció en altura de la LP20 y la PC45, y fue superior a la LP22 a los 17 y 55 DDS o V<sub>3</sub> y R<sub>1</sub> respectivamente.

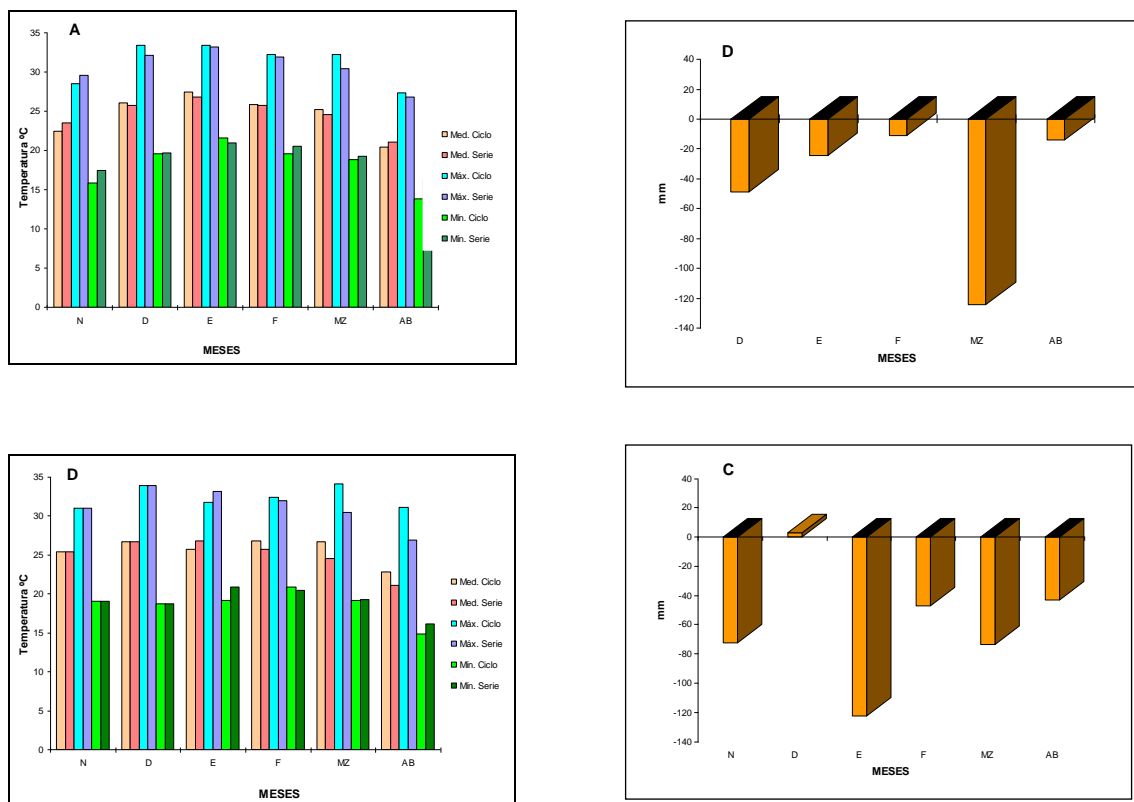


Figura 2.2: Condiciones climáticas: Temperaturas medias, mínimas medias y máximas medias en la serie y en el ciclo del cultivo, A) Campaña 2007-08, B) Campaña 2008-09. - Precipitaciones versus evapotranspiración de Penman en el ciclo del cultivo C) Campaña 2007-08 y D) Campaña 2008-09.

Exceptuando las fechas mencionadas, las LPs y PC en la segunda campaña no presentaron diferencias significativas en altura (Tabla 2.2). Esta uniformidad podría estar asociada a las condiciones climáticas y/o a cambios en la distribución de asimilados. La LP22 se mostró de menor altura en los primeros DDS. En general, la LP32 se mantuvo con un desarrollo más rápido, lo que le permitió alcanzar primero mayor altura. Como hipótesis se plantea que las LPs y PC estudiados presentan variaciones de crecimiento que conducen a un aumento diferencial del tallo principal y/o las ramificaciones en función de los espacios disponibles e influenciados por las condiciones climáticas.

Tabla 2.2: Alturas del tallo principal de las LPs y PC de caupí en ambas campañas.

LPs y PC	Campaña 2007/08 – Altura en cm				Campaña 2008/09 – Altura en cm			
	15 DDS	26 DDS	36 DDS	48 DDS	17 DDS	38 DDS	55 DDS	62 DDS
45	19,48 b	34,34 b	42,46 c	79,02 b	19,93 a b	41,82 a	118,28 a b	156,30 a
20	19,55 b	34,44 b	43,43 b c	79,58 b	20,00 a b	38,93 a	133,60 a	178,83 a
22	18,45 b	37,41 b	47,44 a	82,73 b	17,25 b	39,73 a	97,65 b	165,22 a
32	22,06 a	41,35 a	45,81 a b	98,40 a	22,80 a	35,89 a	124,18 a b	153,20 a

\*Valores seguidos por la misma letra, dentro de las columnas, no difieren al 5% de acuerdo al test de Duncan.

Ávila-Serrano et al. (2006), trabajando con cultivares en una zona árida de Baja California Sur, México, clasificaron a los cultivares de caupí en hábito de crecimiento determinado e indeterminado en función de su altura. Los determinados variaron su altura desde  $29,8 \pm 3,9$  hasta  $34,2 \pm 4,3$  cm, y los indeterminados variaron desde  $35,8 \pm 2,5$  hasta  $44,9 \pm 12,1$  cm. Las LPs y PC45 estudiadas se ubicarían con los de tipo indeterminado con alturas superiores a los 60 cm como mínimo en R<sub>1</sub> en la primera y segunda campaña respectivamente.

Además, las LPs y PC45 ensayadas alcanzaron una altura de 80 cm en la parcela que concuerda con lo determinado por Magloire (2005) en cultivo. Hall (2004) encontró que las plantas de caupí que florecen más temprano tenían tendencia a ser más erectas y a producir menos ramificaciones, mientras que las que florecieron más tarde producían más ramificaciones, nudos, hojas y, por consiguiente, eran más postradas.

En este estudio, las LP32 y LP20 resultaron ser más erectas (Figura 2.3); mientras que la LP22 fue más postrada y con una floración más tardía. La altura de las plantas en R<sub>1</sub> estuvieron por encima de los 79 y 53 cm en la primera y segunda campaña respectivamente, y las diferencias en altura se debieron a las mejores condiciones climáticas en la primera campaña, lo que indica que las LPs y PC tuvieron más oportunidades de expresar parte de su potencial genético. Consecuentemente, se puede decir que la altura del tallo principal está estrechamente relacionada con la fenología: a mayor altura, mayor número de nudos; y por lo tanto, cambia el hábito de crecimiento y el porte a más rastrera y viceversa; condición también influenciada por el ambiente (Negri et al. 2000; Pekşen y Artik 2004; Pereira Carvalho et al. 2000).

La Tabla 2.3 muestra el largo de la primera ramificación en centímetros en las dos campañas. En la primera campaña, se pudo observar que la LP32 mostró mayor longitud en la primera ramificación hasta R<sub>2</sub> o 48 DDS respecto del resto de las LPs y PC. Además, LP20, LP22 y PC45 no presentaron diferencias significativas entre ellas. En la segunda campaña, a los 33 DDS las LP32 en V<sub>9</sub> y LP20 en V<sub>7</sub> alcanzaron menor longitud (velocidad de crecimiento) que la campaña anterior. A su vez la LP22 fue de crecimiento más lento que las otras LPs y PC. En mediciones posteriores, desde los 38 DDS a los 75 DDS, las LPs y PC no presentaron diferencias estadísticas significativas. De aquí surge que la LP32 tuvo un crecimiento inicial mucho más rápido que las otras LPs; pero bajo condiciones de estrés, como en la segunda campaña, estas diferencias se vieron reducidas.

Tabla 2.3: Largo de la primera ramificación de la PC y de las LPs en ambas campañas.

LPs y PC	Campaña 2007-08 – Largo en cm						Campaña 2008-09 – Largo en cm			
	26 DDS	41 DDS	48 DDS	33 DDS	47 DDS	67 DDS	75 DDS			
45	25,27 b	45,69 b	79,63 b	7,625 b c	60,81 a	180,09 a	187,65 a			
20	26,25 a b	45,05 b	78,82 b	11,00 a b	79,20 a	169,35 a	196,10 a			
22	26,60 a b	48,52 b	87,88 b	4,95 c	49,40 a	232,50 a	185,60 a			
32	30,60 a	57,57 a	105,31 a	13,56 a	55,90 a	195,96 a	207,38 a			

\*Valores seguidos por la misma letra, dentro de las columnas, no difieren al 5% de acuerdo al test de Duncan.



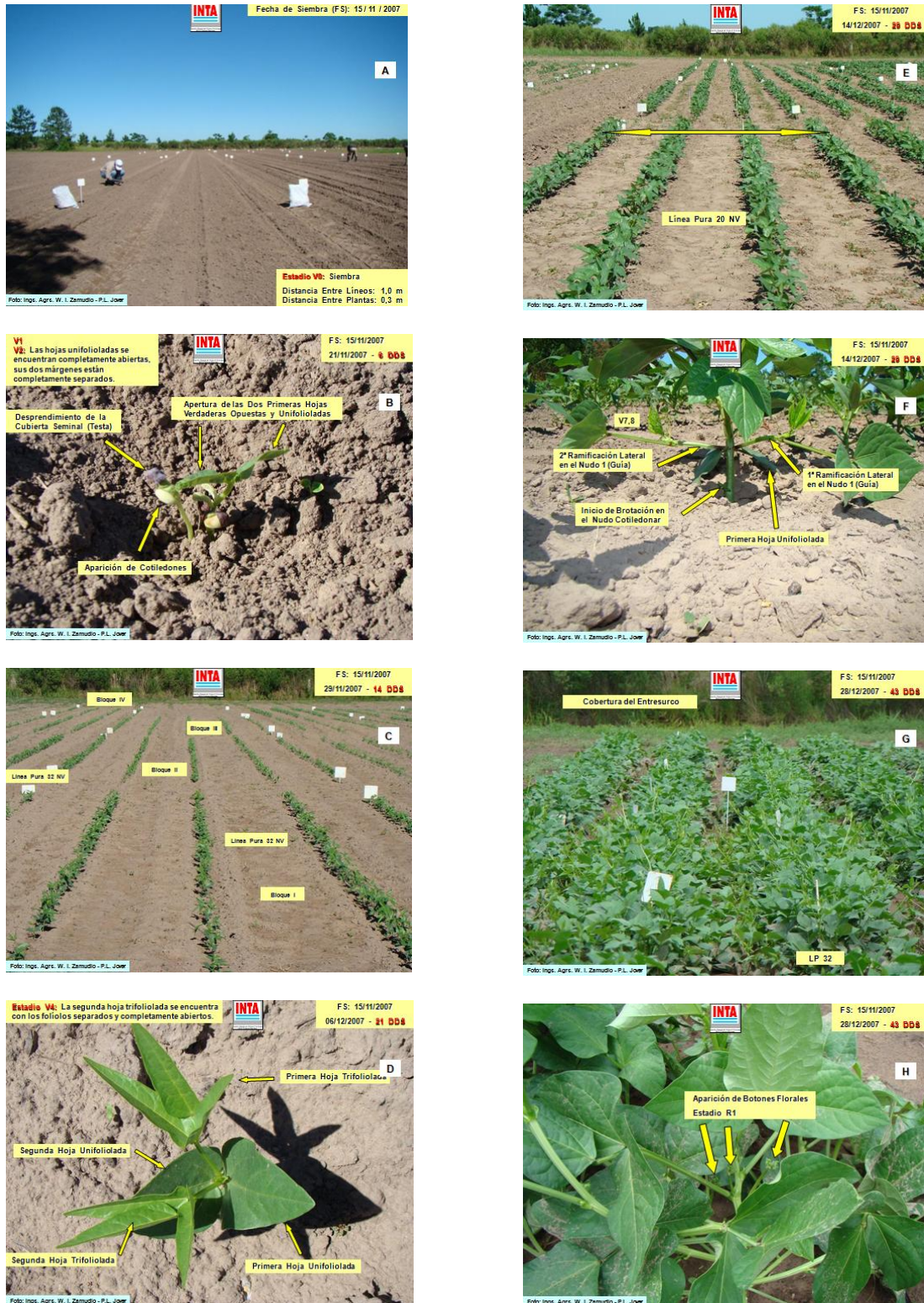


Figura 2.3 A: Fotos del desarrollo del cultivo de poroto caupí. Foto “G” muestra la LP32, más precoz con los tallos erguidos.





Figura 2.3 B: Fotos del desarrollo del cultivo de proto caupí.

La Tabla 2.4 muestra el número de hojas en las dos campañas. Esta variable no presentó diferencias significativas en las fechas analizadas. La LP32 de ciclo corto en la primera campaña a los 41 y 61 DDS o  $V_1$  y  $V_2$ , tuvo 10 y 17 hojas respectivamente. En la segunda campaña las diferencias fueron menores, logrando 9 y 12 hojas a los 55 y 75 DDS respectivamente. En estadios similares entre  $V_9$  y  $R_1$ , Ávila-Serrano et al. (2006) reportaron un número superior de 20 hojas para cultivares semi-erectos de ciclo intermedio y tardío. Los mismos autores obtuvieron 17 hojas en el 2005. Además, Craufurd et al. (1997) determinaron que la aparición de hojas o la cantidad de hojas en una planta depende principalmente del genotipo, de las temperaturas y de las interacciones entre el genotipo y la temperatura. El número de hojas en el tallo principal, en este estudio, estuvo influenciado por la variabilidad genética de la LPs, el número de nudos, el número de ramificaciones y las condiciones climáticas. Se puede decir que los materiales de este estudio son mucho más rastreros a densidades de 30.000 pl ha<sup>-1</sup>; por lo tanto, muy inferiores de los ensayados por Ávila-Serrano et al. (2005, 2006).

Tabla 2.4: Número de hojas del tallo principal de la PC y LPs en ambas campañas.

LPs y PC	Campaña 2007-08		Campaña 2008-09	
	41 DDS	61 DDS	55 DDS	75 DDS
45	8,45 a	16,19 a	9,63 a	13,87 a
20	8,04 a	16,57 a	8,23 a	13,13 a
22	7,55 a	15,81 a	7,96 a	12,35 a
32	10,05 a	16,70 a	9,93 a	12,38 a

\*Valores seguidos por la misma letra, dentro de las columnas, no difieren al 5% de acuerdo al test de Duncan.

La Tabla 2.5 muestra el número de nudos del tallo principal en las campañas 2007-08 y 2008-09. Durante la primera campaña, la LP32 mostró tener un crecimiento más rápido con un mayor número de nudos hasta los 41 DDS o  $V_1$ , inicio de la etapa reproductiva. La LP22, de crecimiento más lento que el resto de las LPs y PC, inició la etapa reproductiva a los 47 DDS o  $V_1$ . Posteriormente, entre los 48 a 61 DDS, las LPs y la PC no presentaron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 2.5).

En la segunda campaña, hasta los 38 DDS, las LPs y PC45 mostraron un retraso en el número de nudos respecto de la primera campaña. En esta última campaña, la LP32 y LP22 no presentaron diferencias estadísticas en el número de nudos. Pese a esto, la LP32 inició la etapa reproductiva a los 44 DDS o  $V_1$ ; mientras, la LP22 lo hizo a los 50 DDS o  $V_1$ . Por otro lado, la LP20 mostró un mayor número de nudos desde los 38 hasta 55 DDS o  $V_{7,8}$  hasta  $R_2$  respectivamente. A partir de los 67 DDS, no se encontraron diferencias significativas. Al avanzar el ciclo de crecimiento, el número de nudos aumentó, pero también lo hizo la longitud de los mismos, disminuyendo su diámetro. Entre 55 y 75 DDS se observó la disminución del crecimiento vegetativo.

Los LPs y PC de este estudio alcanzaron 10 a 12 nudos a inicio de la etapa reproductiva y antesis de la primera flor o  $R_1$  y  $R_2$  respectivamente; y a 90% de madurez  $R_5$ , alcanzaron entre 17 y 19 nudos. En cambio, Almeida López (2001), con una densidad de 50.000 pl ha<sup>-1</sup>, obtuvo entre 12 a 19 nudos y 15 a 22 nudos entre las

fenofases  $R_2$  y  $R_5$  respectivamente. Los materiales estudiados por Almeida López (2001) se comportarían como de un porte similar a más rastreros que los alcanzados en este estudio. Del análisis se concluye que no existieron diferencias marcadas en el número de nudos de los materiales en este trabajo. La diferencia se presentó en las etapas iniciales del cultivo, en la primera campaña con mejores condiciones hídricas respecto de la segunda campaña.

Tabla 2.5: Número de nudos del tallo principal de la PC y LPs de caupí en ambas campañas.

LPs y PC	Campaña 2007-08			Campaña 2008-09				
	33 DDS	41 DDS	61 DDS	38 DDS	42 DDS	55 DDS	62 DDS	75 DDS
45	8,42 a	11,37 a b	18,39 a	9,67 b	11,20 b	17,67 a b	17,33 b	18,22 a
20	7,63 b	10,36 c	18,32 a	11,00 a	13,75 a	19,60 a	19,50 a b	19,00 a
22	7,80 a b	10,48 b c	17,38 a	8,43 b	11,23 b	16,30 b	20,67 a	18,00 a
32	7,80 a b	11,79 a	17,71 a	8,40 b	10,58 b	16,30 b	18,80 a b	17,60 a

\*Valores seguidos por la misma letra, dentro de las columnas, no difieren al 5% de acuerdo al test de Duncan.

La Tabla 2.6 muestra el número promedio de ramificaciones principales del tallo (RPT) durante la primera campaña. A los 35 DDS, todas las LPs y PC45 estaban en  $V_8$ . La LP32 generó mayor número de ramificaciones principales  $7,8 \pm 1,10$  a los 35 DDS. Le siguieron la LP20 con  $6,6 \pm 1,14$ , la PC45 y LP22 con  $5,2 \pm 0,74$  y  $5,2 \pm 1,48$  respectivamente. Además, entre los 47 DDS y 78 DDS, el número de RPT producidas mostró una disminución en todas las LPs y PC45. Estos valores difieren en el número de ramificaciones reportados por Ávila-Serrano et al. (2005), donde los cultivares variaron entre  $7 \pm 3$  y  $12 \pm 2$  en altas densidades, lo que indicaría, que estos autores trabajaron con cultivares de otra arquitectura. De igual manera sucedería con los cultivares de Almeida López (2001) que, a primera floración, los mismos tuvieron desde 13 a 19 RPT, a densidades un poco superiores a los de este estudio. De las LPs y la PC, respecto del largo de la primera ramificación (Tabla 2.3) y el número de ramificaciones principales (Tablas 2.6), determinaron que la LP32 tuvo mayor crecimiento en las etapas iniciales del desarrollo del cultivo que el resto de las LPs y PC.

Tabla 2.6: Número promedio de ramificaciones principales para la PC y LPs de poroto caupí.

LPs y PC	Campaña 2007-08			
	35 DDS	47 DDS	61 DDS	78 DDS
PC45	5,2±0,74	8,5±0,94	10,3±2,08	9,2±3,40
LP20	6,6±1,14	7,6±2,19	11,8±2,95	10±2,12
LP22	5,2±1,48	9±2,00	8±2,92	9,4±3,05
LP32	7,8±1,10	8,2±0,84	6,4±2,88	9,2±2,95

La Tabla 2.7 muestra el DTAC expresadas en centímetros durante las dos campañas. En la primera campaña se observó que las LP32 y LP20 tuvieron el mayor DTAC a los 15 DDS, alcanzando 3,60 y 3,29 mm respectivamente, mientras que la LP22 presentó el menor DTAC con 3,07 mm para la misma fecha. Posteriormente, las LPs y PC no presentaron diferencias significativas. Durante la segunda campaña, a los 17 DDS, las LP32 y LP22 presentaron diferencias significativas. A los 42 DDS, la LP32 mostró el menor DTAC. Entre los 67 y 75 DDS, las LPs y PC no presentaron diferencias significativas. Por otro lado, las LPs y PC de este estudio, entre los 41 a 50 DDS en ambas campañas, tuvieron valores del DTAC muy superiores a los encontrados por Ávila-Serrano et al. (2006). Estos autores trabajaron con plantas más pequeñas que justifican la densidad alcanzada. Ahora, entre los 67 y 75 DDS, se pudo observar que la LP32 y LP20 fueron las únicas que decrecieron en el DTAC. La disminución del diámetro del tallo a la altura del cotiledón en LP32 y LP22 estaría asociado con el traslado de asimilados del tallo a los órganos reproductivos, comportamiento similar observado por Hall (2004) y Andrade y Sadras (2000) para caupí y maíz respectivamente.

Tabla 2.7: Diámetro del tallo a la altura del cotiledón para la PC y LPs de caupí en ambas campañas.

LPs y PC	Campaña 2007-08 - DTAC en mm				Campaña 2008-09 – DTAC en mm				
	15 DDS	36 DDS	41 DDS	61 DDS	17 DDS	38 DDS	42 DDS	67 DDS	75 DDS
45	3,28 a b	10,97 a	13,90 a	16,87 a	3,25 a	9,04 a	11,00 a b	14,92 a	15,58 a
20	3,60 a	10,69 a	13,88 a	18,03 a	3,55 a	8,38 a b	11,87 a	15,75 a	15,50 a
22	3,07 b	10,63 a	13,25 a	16,45 a	2,80 b	6,91 b	09,72 a b	14,43 a	16,00 a
32	3,29 a b	11,14 a	13,53 a	16,44 a	3,44 a	7,10 b	09,10 b	15,30 a	14,20 a

\*Valores seguidos por la misma letra, dentro de las columnas, no difieren al 5% de acuerdo al test de Duncan.

En relación a las variables de crecimiento, existieron variaciones de comportamiento de las distintas líneas. A los fines de poder categorizar el crecimiento, se seleccionaron dos LP: una de ciclo más corto (LP32) y otra de ciclo más largo (L22). Las variables de crecimiento que mostraron mayor respuesta durante la etapa vegetativa fueron la altura del tallo principal, el largo de la primera ramificación, el número de ramificaciones del tallo principal y el diámetro del tallo a la altura del cotiledón.

En general, la LP32 hasta los 35 DDS o  $V_{8-9}$  tuvo mayor respuesta o mayor crecimiento inicial en las variables altura del tallo principal, número de nudos del tallo principal, largo de la primera ramificación y número de ramificaciones en el tallo principal sobre la LP22. Las LPs y PC, en ambas campañas y en pocos DDS, mostraron un fuerte incremento en las variables de crecimiento. Durante la segunda campaña, las variables altura del tallo principal y largo de la primera ramificación mostraron nuevamente mayores crecimientos iniciales en la LP32 respecto de la LP22, lo que indicó un comportamiento más retrasado en el crecimiento.

El diámetro a la altura de tallo principal tuvo un crecimiento similar en las LP32 y LP22; pero cabe destacar que en la segunda campaña a los 67 DDS o  $R_3$  en la LP32 se presentó una disminución del mismo. Este comportamiento podría explicarse por el



importante estrés hídrico ocurrido durante las primeras etapas del crecimiento y desarrollo en la segunda campaña. Por otro lado, la LP32 mostró mayor crecimiento en la etapa vegetativa que la LP22; lo que plantea a esta línea (LP32) como promisoría desde el punto de vista ecofisiológico.

En relación a la etapa reproductiva se encontró en la fenofase R<sub>1</sub> un incremento en la altura y el número de hoja con un ( $p \leq 0,05$ ) al alcanzar primero la LP32 respecto de la LP22. Posteriormente, la PC y LPs siguen creciendo en las etapas reproductivas sin diferencias significativas entre los distintos materiales (Tabla 2.7). Como era de esperar, en la etapa reproductiva, continuaron las variables altura del tallo principal y el largo de la primera ramificación siendo las causas que explicaron este crecimiento que siempre fue mayor en la LP32 respecto de la LP22. Esto puede explicarse en términos del cambio de crecimiento reproductivo que, desde el punto de vista fisiológico, se lo plantea como el fenómeno de transición floral, donde los meristemas vegetativos cambian a reproductivos (Martínez-Zapater y Salinas, 1993; Roldán y Martínez-Zapater, 2000). Sobre esta base, se plantea el Capítulo 3 en términos de la economía del carbono.

La Tabla 2.8 muestra las sumas térmicas acumuladas en grados días (GD) desde las fases vegetativas a las reproductivas. De la PC45 y LPs estudiadas, corresponden a un ciclo más corto las LP32 y LP20, y a un ciclo más largo, la LP22. La LP32 y LP22 tuvieron comportamientos fenológicos con distintos requerimientos termoperiódicos en las distintas fenofases. Por otro lado, en general, los ciclos más cortos tienen menores requerimientos respecto de los ciclos largos. Desde el punto de vista fenológico, el caupí, como ya se mencionó, posee 10 fenofases vegetativas, de la V<sub>0</sub> a V<sub>9</sub> y cinco fenofases reproductivas desde R<sub>1</sub> a R<sub>5</sub> según Campos et al. (2000).

Tabla 2.8: Sumas térmicas acumuladas en fases vegetativas y reproductivas para la PC y LPs de caupí en ambas campañas.

2007-08															
LPs y PC	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	R1	R2	R3	R4	R5
PC45	0	93	124	213	302	357	398	447	477	548	693	824	1071	1268	1511
LP20	0	93	124	197	282	357	406	484	516	595	693	806	1071	1248	1386
LP22	0	93	124	213	339	375	406	470	531	611	730	910	1139	1322	1719
LP32	0	60	93	183	247	339	391	454	470	564	628	749	1071	1185	1357

2008-09															
LPs y PC	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	R1	R2	R3	R4	R5
PC45	0	116	190	250	303	405	487	545	613	676	740	908	1148	1218	1582
LP20	0	116	190	242	367	405	510	528	619	685	754	933	1176	1218	1582
LP22	0	116	190	259	379	434	545	594	619	703	802	1080	1265	1582	1752
LP32	0	116	190	242	295	405	434	528	594	648	703	886	1098	1218	1582

La Tabla 2.1 muestra la duración de las fases en las LPs y PC estudiadas en DDS. Del análisis surge que para una misma fenofase existen cambios en la duración en DDS en los dos años estudiados. Esto puede ser comprobado, además, con la acumulación de los GD por fenofases, donde también son distintas las acumulaciones entre los dos años (Tabla 2.8). Estas diferencias podrían deberse a las distintas fechas de siembra y condiciones climáticas. La primera campaña se sembró en forma tardía 15-11-2007 y en la segunda campaña se sembró más tardíamente el 12-12-2008 para la región respecto de la fecha óptima. Las condiciones climáticas pueden adelantar o atrasar el ciclo de los cultivos (Hall, 2004 y Andrade Sadras 2000). Las evidencias experimentales aquí presentadas muestran que todas las LPs y PC estudiadas alcanzaron una madurez entre los 86 a 109 días o 1.357 a 1.719 GD. Según la clasificación Freire Filho et al. (2005), la LP22 sería de ciclos tardío porque alcanzó la madurez a partir de los 91 DDS; por otro lado, las LP32, LP20 y PC se clasificarían como de ciclo medio-tardío a tardío.

Los resultados aquí presentados pueden sugerir interpretaciones diferentes en las 2 campañas. Tal es el caso de la LP20 que en la primera campaña duró 88 DDS o 1.386 GD, clasificándose como de ciclo medio-tardío según Freire Filho et al. (2005) y en la campaña siguiente se clasificaría como de ciclo tardío, al presentar la LP20 98 DDS o 1582 GD. Estos datos sugieren que dicha clasificación, usada en Brasil, puede variar por condiciones ambientales, como es el caso del cultivar LP20 que se atrasó 10 días a causa de serio estrés hídrico registrado en el período de cultivo.

Keating et al. (2003) mostraron que los GD tienen una relación lineal aplicada a procesos que involucran el crecimiento (Ej.: el incremento en materia seca, floración, etc.). En plantas anuales, los requerimientos térmicos para el desarrollo a floración son frecuentemente fijados, resultando que el tamaño a madurez decrece con el incremento de la temperatura (Keating et al., 2003; Trudgill et al., 2005). Cabe preguntarse entonces: ¿cómo influenciaron los GD sobre el crecimiento y el desarrollo en el caupí?

Las Fig. 2.7 y 2.8 muestran los GD insumidos en las fenofases en las dos líneas más contrastantes: la LP32, más erecta y productiva; y la LP22, más rastrera y menos productiva en las dos campañas respectivamente.

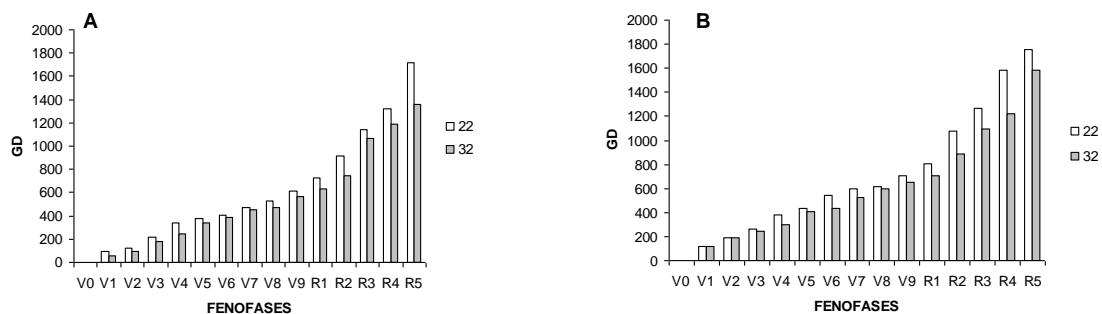


Figura 2.4: Sumas térmicas en GD durante las fenofases vegetativas y reproductivas de las LP32 y LP22: A) campaña 2007-08, B) campaña 2008-09.

En relación a la respuesta termoperiódica, cada fenofase posee sus requerimientos que son distintos dependiendo del ciclo del cultivo. Así, en la Figura 2.4, A y B muestran la acumulación de GD, comparando el ciclo medio-tardío (LP32) y el ciclo tardío (LP22). En general, la acumulación de GD durante el período vegetativo aumentaría con las consiguientes fases. El requerimiento termoperiódico fue mayor para la LP22 en  $V_4$ , que se correspondió con la aparición de la segunda hoja trifoliada, hubieron diferencias de necesidades de GD entre la LP22 de ciclo más largo con respecto a la LP32 de ciclo más corto. Los requerimientos en  $V_4$ , independientemente de las fechas de siembra, se iniciaron a los 23 DDS o 339 GD para la LP22 y a los 17 DDS o 247 GD para la LP32, iniciándose antes en cultivo el ecotipo de ciclo más corto. Estas diferencias se incrementaron en las fases reproductivas, o sea,  $R_1$  con 47 DDS o 730 GD para la LP22 y a los 41 DDS o 628 GD para la LP32, cuando se produjeron los cambios de los meristemas vegetativos a reproductivos (Martínez-Zapater y Salinas, 1993; Roldán y Martínez-Zapater, 2000).

El cultivar LP22 de ciclo más largo tuvo un mayor requerimiento de acumulación de temperatura, lo que fundamenta el alargamiento de ciclo. Estos requerimientos termoperiódicos se intensifican a lo largo de las cinco fenofases de la etapa reproductiva. Los mayores requerimientos termoperiódicos son determinantes en la prolongación del ciclo. Diferencias semejantes se obtuvieron en la campaña 2008/09. Estas mismas diferencias se incrementaron nuevamente en las fases reproductivas, o sea,  $R_1$  con 50 DDS o 802 GD para la LP22 y a los 44 DDS o 703 GD para la LP32. En la segunda campaña, se pudo constatar, respecto de la primera campaña, el alargamiento del primer ciclo floración cuando se presentan condiciones climáticas adversas (déficit hídrico). También cambió la duración de su ciclo biológico (ontogénico), ya que la planta produjo un solo ciclo de floración, causado por una posterior senescencia irreversible.

La precocidad del desarrollo, según Evans (1983), lo muestran en forma característica las arvejas que producen su primera floración entre el 5 y 10 nudos; normalmente son insensibles a la longitud del día y no responden a la vernalización. Por otro lado, las tardías comienzan a florecer, en general, entre 10 a 50 nudos dependiendo de las condiciones ambientales. En las LPs y PC45 de poroto colorado caupí, a diferencia de la arveja, la primera floración se presentó entre los 6 y 9 nudos, sin respuesta fotoperiódica. Las LP32 y LP20 se comportaron como precoces (dentro de las características propias de las líneas analizadas) y expresaron mejor su potencial genético con buenas condiciones hídricas y/o ambientales.

Cabe preguntarse entonces: ¿cómo influyen las características fenológicas, el tipo de ciclo, el hábito de crecimiento, el porte y la precocidad respecto de la economía del carbono y del agua? Estos aspectos son analizados en el Capítulo 3.

## CONCLUSIONES

- El porcentaje de cruzamiento por insectos determinó la variabilidad genética de las líneas respecto de las poblaciones tradicionales.
- Las variables de crecimiento que mostraron mayor respuesta durante la etapa vegetativa fueron la altura del tallo principal, el largo de la primera ramificación, el número de ramificaciones del tallo principal y el diámetro del tallo a la altura del cotiledón.
- En todas las LPs y PC estudiadas se pudo comprobar que el crecimiento vegetativo continúa de manera categórica sobre las fenofases de crecimiento reproductivo, lo que le da a la especie mayor respuesta ante condiciones adversas.
- La altura de la planta estuvo influenciada por el número de nudos y el largo del entrenudo, que influenció el hábito de crecimiento y el porte.
- La LP32 tuvo fenofases que se cumplieron con menores requerimientos térmicos; tuvo un crecimiento inicial más rápido; completó antes las fenofases reproductivas, fue más precoz, más erecta y de menor altura final.
- La LP22, con fenofases de mayores requerimientos térmicos, presentó ciclos de floraciones más largas y cosechas más tardías, que prolongaron su ciclo haciéndola menos estable a las condiciones climáticas.
- Cuando se presentó una condición ambiental adversa (estrés hídrico), las LPs, en general, alargan su etapa vegetativa y reducen la reproductiva, finalizando con un solo ciclo de floración y senescencia.



## CAPÍTULO 3.

### ESTUDIO DE LA ECONOMÍA DEL CARBONO Y DEL AGUA EN LA POBLACIÓN TRADICIONAL DE CAUPÍ Y LÍNEAS PURAS PROVENIENTES DE ELLA.

#### INTRODUCCIÓN

Actualmente, se desconoce el patrón de comportamiento ecofisiológico entre las líneas más precoces LP32 y LP20 y la línea más tardía LP22 del poroto caupí colorado, respecto de la dinámica del crecimiento, la economía del carbono y del agua en la región Chaco-Formosa.

Varios países de América, Asia y África disponen de información sobre parámetros ecofisiológicos del caupí, situación contraria a la que se observa en la Argentina (Jover, 2006; Minchin et al., 1980; Freire Filho et al., 2005; Pereira et al., 1997). El conocimiento de las características ecofisiológicas del caupí permitirán mejorar el manejo del cultivo y aprovechar las oportunidades mejorar la productividad, seleccionar nuevos materiales y métodos de manejo agronómicos más eficientes (Hall, 2004). La elección del cultivar y del manejo agronómico es fundamental para lograr una óptima cobertura del suelo, que permita una mejor interceptación de la radiación y una eficiente fotosíntesis. Esto permitiría optimizar la generación de biomasa y posterior partición de asimilados que, con buenas condiciones ambientales, producirán altos rendimientos (Andrade y Sadras, 2000; Hall, 2004 a y b).

A los fines de maximizar la producción del cultivo de caupí respecto de la economía del carbono, se espera obtener la máxima eficiencia fotosintética; lo que se traduce en una mayor producción de biomasa y un mayor traslado a los destinos. La máxima eficiencia fotosintética en caupí, en óptimas condiciones de crecimiento y desarrollo, puede alcanzar los 600 mg de MS mol<sup>-1</sup> de RFA interceptada. En situación de campo, el cultivo podría alcanzar tasas de crecimiento de 300 kg de MS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para un dosel completamente desarrollado, creciendo a pleno sol, con concentraciones adecuadas de densidad del flujo de fotones (DFF), del orden de los 50 mol de fotones m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> (Cardoso et al., 2002). En las leguminosas es difícil incrementar los rendimientos a través de la eficiencia fotosintética, porque la semilla tiene en su constitución una elevada proporción de proteína, aceite y carbohidratos (Andrade y Sadras, 2000; Hall, 2004).

La concentración de CO<sub>2</sub> intercelular [CO<sub>2</sub>i] varía según las condiciones de abastecimiento de agua en la hoja al producirse el intercambio de CO<sub>2</sub>. Con bajas concentraciones de CO<sub>2</sub> externo y altas densidades de fotones, decrece muy rápidamente la concentración de CO<sub>2</sub> interno y puede saturar la fotosíntesis (López et al., 1987).

De toda la radiación que llega a la tierra, sólo una parte alcanza las superficies de las hojas. De esta radiación, sólo un 45%, comprendida entre los 400 a 700 nm, tiene capacidad de excitar el fotosistema para producir fotoasimilados, que es la radiación fotosintéticamente activa (RFA) (Andrade y Sadras, 2000; Idinoba et al., 2002; Cavasassi, 2005). La cantidad de biomasa producida por cantidad de radiación recibida se expresa en una eficiencia del uso de la radiación (EUR), que es una

capacidad de la planta. Se encontró una relación positiva entre la producción de materia seca y la RFA interceptada, donde la relación cambia dependiendo de la especie y de las condiciones de cultivo externas e internas (Andrade y Sadras, 2000; Idinoba et al., 2002).

Nuñez y Argüello (1993) encontraron que la tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en ajo se incrementó hasta los 110 DDS, es decir en la mitad del ciclo, y luego decayó lentamente. Según Andrade y Sadras (2000) esto expresa una ganancia neta de biomasa por unida de área y puede ser aplicado a distintos órganos.

Varios autores (Nuñez y Argüello, 1993; Castellanos et al., 2009) demostraron que la tasa de asimilación neta (TAN) adquiere valores altos en las etapas iniciales del cultivo, y que luego disminuye con la edad debido a, que las últimas hojas formadas tienen menor capacidad fotosintética por efectos de tener mayor destinos que órganos fotosintéticos, ó una mayor proporción de tejidos respiratorios respecto del fotosintético.

Entre las variables interrelacionadas vinculadas a la economía del carbono están: el área foliar (AF) y la biomasa (B), parámetros importantes que indican y evalúan el crecimiento y la producción (Andrade y Sadras, 2000; Loomis and Conor, 2002). La principal función del área foliar es maximizar la intercepción de la luz solar en el tiempo para maximizar la fotosíntesis. La misma va cambiando a través de los estadios de desarrollo de la planta (Andrade y Sadras, 2000). Cuando las hojas emergen, la fijación y asimilación de carbono es prioritaria, incrementando la fotosíntesis y la producción de masa foliar. Existen dinámicas de crecimiento en la parte aérea; lo que indica que existen relaciones muy estrechas como área foliar (AF) y el índice de área foliar (IAF) (Nuñez y Argüello, 1993; Pereira de Carvalho et al., 2000, Avila-Serrano et al., 2005).

El aumento de biomasa en etapas iniciales del cultivo incrementa el área foliar que participa en la producción de más biomasa. Así, Ávila-Serrano et al. (2006) y Hall (2004) encontraron para otras variedades de caupí una correlación positiva entre el incremento de biomasa y el área foliar. Además, la cantidad de biomasa producida depende de la radiación recibida, de la capacidad de intercepción de la planta, de la capacidad de formación de asimilados y de la influencia de las condiciones internas y externas que interactúan en el proceso (Andrade, y Sadras, 2000). La producción de biomasa y de nuevos órganos de la planta se realiza a través del traslado y relocalización de fotoasimilados (Warrag and Hall, 1984).

La partición de asimilados (PA) o traslado de asimilados a nuevos órganos modela la forma de crecimiento de las plantas y su perfil de partición (Warrag and Hall, 1984). Una forma de elevar los rendimientos de los cultivos es aumentar la producción de biomasa, logrando mayor partición de asimilados hacia los órganos de cosecha, que puede modificarse por condiciones climáticas adversas, como estrés hídrico y elevadas temperaturas (Aguirrezábal. y Andrade. 1998; Andrade y Sadras, 2000; Warrag and Hall, 1984; Pate et al., 1983).

Otras medidas importantes de la partición utilizadas son: el cociente de área foliar (CAF), que es un indicador de la foliosidad de una planta, y el área foliar efectiva (AFE), que es una medida del peso específico de la hoja. Los mismos varían durante el desarrollo del cultivo incidiendo en la partición de asimilados. El índice de cosecha (IC) está en relación a la biomasa seca generada, y un estrés hídrico disminuye la eficiencia del uso del agua (EUA); pero afectará más los rendimientos y el índice de cosecha cuando este ocurre en la etapa crítica del cultivo (Babaloba, 1980; Andrade y Sadras, 2000; De Tar, 2009, Shouse et al., 1981).

La transpiración (T) es un proceso de eliminación de agua por los estomas a través de las hojas y está en relación con el dióxido de carbono interno ( $CO_{2i}$ ) y la conductancia estomática (CE) que influyen sobre la fotosíntesis, repercutiendo en la tasa de asimilación y la eficiencia del uso de agua (EUA) en los cultivos (López. et al., 1987; DeTar, 2009). Las características de las plantas y las condiciones del cultivo afectan el proceso de evapotranspiración y, por consiguiente, la EUA. Las raíces (su tipo, la capacidad de exploración), el área foliar, el porte, el habito de crecimiento, la inserción de la hojas, las estructuras del mesófilo, el tipo de estomas y su densidad son factores vinculados a la EUA (Anyia et al., 2003; Babalola, 1980; Peoples, 1985).

Hall (2004), en ensayos de caupí bajo riego en California, encontró aumentos en la producción, que explico por una mayor apertura estomática, lo que incrementó la evaporación, el intercambio gaseoso y por consiguiente la actividad fotosintética. El mismo autor plantea que la apertura estomática óptima respecto de la actividad fotosintética tiene una relación positiva asociada a varios cultivos entre producción de biomasa (B) y conductancia estomática. Hall 2004 menciona también que los estomas reaccionan cerrándose ante la menor situación de estrés actuando como reguladores ante el déficit hídrico. En dicho contexto, los mejoradores maximizan la conductancia estomática a límites óptimos, incrementando la biomasa y por consiguiente el rendimiento en condiciones de regadío (Hall, 2004).

El caupí posee un elevado número de estomas por  $cm^2$  y un mesófilo eficiente en la fijación de dióxido de carbono, y los genotipos más productivos tienen mayor concentración de dióxido de carbono (Babalola, 1980; Hall, 2004). La recuperación de la planta de caupí sucede por las noches; principalmente cuando la pérdida de transpiración de agua es menor a la demanda de agua por el flujo de masa por el floema según (Pate et al., 1985). Por otro lado, el caupí es reconocido por ser tolerante a sequías: relacionado, por un lado, a su escasa o nula capacidad de regulación osmótica, y por el otro, al cierre inmediato de estomas ante un déficit hídrico (Ehlers and Hall 1997; Pate et al., 1985).

La transpiración realizada por las hojas establece la mayor parte de la energía para el movimiento del agua y se encuentran afectadas por la cantidad de estomas, la radiación, las resistencias y diferencias de potenciales, entre otras; de este modo, la transpiración está íntimamente relacionada con el déficit hídrico y la EUA (Sánchez-Díaz y Aguirreola. 2000).

La eficiencia del uso del agua (EUA) se define como una relación entre la materia seca producida y el agua usada según (Anyia et al., 2004). La EUA es principalmente dependiente del rendimiento. El estrés hídrico reduce el crecimiento vegetativo y los rendimientos, en caupí durante el período de crecimiento (Babalola, 1980) y en soja los rendimientos durante la etapa crítica (Andrade y Sadras, 2000). En trigo, la EUA se incrementa un 20 a 37% para bajos a severos déficit hídricos respectivamente (Abate et al., 2004). Así, la EUA a nivel de hoja, toma un valor relacionando el carbono asimilado, que se produjo por la actividad fotosintética en un tiempo dado (rendimiento), y la transpiración realizada por el cultivo en el mismo tiempo (Babalola, 1980). Este autor menciona que, en situaciones de estrés, la EUA es reducida en un promedio de 21%, con valores comprendidos entre el 12 y 35 % para distintos genotipos de caupí. La reducción en EUA generó pérdidas de producción de biomasa, y estas pérdidas fueron más evidentes en los cultivares de alta productividad que en aquellos de productividad intermedia (Anyia et al., 2003).

Las raíces, en su crecimiento y desarrollo, tienen las funciones de absorción de agua, nutrientes y anclado de la planta al suelo (Babalola, 1980; Andrade y Sadras, 2000). Como los flujos de agua son dinámicos, las diferencias entre las absorciones y transpiraciones están relacionadas con la capacidad de conducción del sistema radical

que es una de las características especiales que le permiten sobrevivir (Sánchez-Días y Aguirreiolea; 2000).

El déficit hídrico afecta los parámetros de crecimiento, aunque esto depende de los cultivares y la capacidad de exploración de sus raíces para superar estas situaciones (Babalola, 1980). Además, en caupí, el crecimiento radicular aumenta cuando la raíz aumenta su exploración por condiciones de estrés hídrico, que, en cierta medida, evita o disminuye los daños ocasionados por dicho estrés (DeTar, 2009).

El objeto problema de este capítulo es el desconocimiento del comportamiento ecofisiológico entre la población tradicional y sus líneas puras derivadas, respecto del crecimiento y desarrollo, de la economía del carbono y del agua.

La hipótesis de este capítulo fue que la mejor respuesta fenológica de la LP32 está dada por su mejor respuesta en las variables de crecimiento y menores necesidades térmicas para completar su desarrollo que determinaría un mayor crecimiento y mejor economía del carbono y del agua respecto de las otras LPs y PC de poroto caupí.

Los objetivos específicos en este capítulo fueron: evaluar el crecimiento, la economía del carbono y del agua.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material Biológico:

El material biológico, las parcelas y las condiciones del experimento fueron descritos en el Capítulo 1. Para las variables estudiadas, los muestreos se realizaron, generalmente, a los 50, 60 y 80 DDS.

### Evaluación de la economía del carbono:

- Tasa Fotosintética (TF): expresada como  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .
- Concentración de CO<sub>2</sub> intercelular (CO<sub>2i</sub>): expresada como  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ aire}$ .

Estas variables fueron determinadas con un medidor portátil, marca Li-6400, a los 31 y 63 DDS en la primera campaña y 49 DDS en la segunda campaña. Las determinaciones se hicieron en las cinco parcelas y en tres bloques, ubicado en el lote experimental de la EEA Colonia Benítez del INTA, Chaco. Las mediciones se realizaron en tres plantas por parcela, sobre la tercera hoja perfectamente desarrollada antes de llegar al ápice del tallo principal. Las plantas estaban ubicadas en los dos líos centrales.

- Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA):  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Se determinó con una barra Quantum Meter Photosynthetic Photon Flux, Model LQS, expresada como  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Las mediciones se realizaron entre las 11:00 y 13:00 horas, en días diáfanos de acuerdo a lo descrito por Pereira de Carvalho et al. (2000).

➤ Tasa de asimilación neta (TAN):

Se determinó, según Nuñez y Argüello (1993), como la relación de biomasa en un tiempo determinado por el área foliar en un intervalo de tiempo, expresada como  $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ .

➤ Tasa de crecimiento del cultivo (TCC):

Se determinó la tasa de crecimiento como producto entre la TAN y el IAF, según Nuñez y Argüello (1993) y Loomis, and Connor (2002) expresada como  $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ .

➤ Área Foliar (AF):

Para la determinación del área foliar se procedió a la selección de dos plantas en los líños centrales. Se realizó el corte del tallo principal de las plantas al ras del suelo con tijera de podar. A éstas plantas se le retiraron todas las hojas fotosintéticamente activas, se separaron por foliolulos y se herborizaron correctamente identificadas. Posteriormente, se determinó el AF con un medidor portátil, el Li-Cor Modelo 3000A (Li-cor, Inc., Lincoln Nebraska USA), de la FCA de la UNNE, según Idinoba et al. (2002), expresado en  $\text{cm}^{-2}$ . De manera complementaria, se evaluó el número de hojas en función de los ciclos de las LPs y PC.

➤ Índice de Área Foliar (IAF):

El índice de área foliar se determinó por el cociente entre las superficies del área foliar y la superficie del suelo (Nuñez y Argüello 1996; Loomis and Connor 2002).

➤ Biomasa total (BT):

Se determinó de la biomasa total (BT) de la parte aérea de las plantas por suma de las partes, expresada como g de masa seca (Loomis and Connor, 2002).

Partición de asimilados:

Se cosecharon dos plantas en los líños centrales de las parcelas. Luego, se realizó el corte del tallo principal de la planta al ras del suelo. Se separaron en sus partes (eje principal y ramificaciones): hojas, pimpollos, pedúnculos florales y vainas. Para el secado, se utilizó la estufa marca DALVO Mod CHR-1 con ventilación forzada, a  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hasta peso constante, en la EEA Colonia Benítez durante las dos campañas. Posteriormente, la masa se determinó por diferencia de las masas entre la bolsa N° 5 y el órgano, menos la masa del órgano. Para esta determinación se utilizó una balanza OHAUS GA200 de precisión con una resolución de 0,0001 g.

➤ Cociente de área foliar (CAF):

Se determinó como resultado de hallar la relación entre el área foliar de hojas y biomasa aérea total, según Nuñez y Argüello (1993), expresada como  $\text{g cm}^{-2}$ .

➤ Área foliar efectiva (AFE):

Se determinó como la relación entre la masa seca de las hojas dividido el área foliar de la planta, según Nuñez y Argüello (1993), expresada como  $\text{g cm}^{-2}$ .

➤ Índice de Cosecha (IC):

Se calculó según lo propuesto por Nuñez y Argüello (1993).

#### Evaluación de la economía del agua:

- Conductancia Estomática (CE): la unidad de medida fue  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .
- Transpiración (T): la unidad de medida fue  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .
- Eficiencia del Uso del Agua (EUA):  $(\text{umol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ aire/mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ .

Estas variables fueron determinadas con un medidor portátil, marca Li-6400, a los 31 y 63 DDS en la primera campaña y 49 DDS en la segunda campaña. Las determinaciones se hicieron en las cinco parcelas del bloque, en tres bloques, en un lote ubicado en la EEA Colonia Benítez del INTA, Chaco. Las mediciones se realizaron en tres plantas por parcela, sobre la tercera hoja perfectamente desarrollada antes de llegar al ápice del tallo principal. Las plantas estaban ubicadas en los dos líños centrales.

#### Evaluación del sistema radical:

La extracción de las raíces se hizo utilizando el método de excavación de trincheras (Böhm, 1979); y se realizó hasta una profundidad de 0,45 m, avanzando cada 0,15 m. La planta de caupí se distribuyó equidistantemente en relación a la densidad establecida y se procedió a la extracción de raíces. Luego, se tamizó, se lavó y se puso a secar en una estufa marca DALVO, Mod CHR-1, a 60 °C con ventilación forzada, hasta peso constante. Posteriormente, se determinó la biomasa en una balanza Balanza OHAUS GA200 de 1/1.000 g.

#### Diseño experimental y evaluación estadística de los datos:

Se usó un diseño en bloques completos al azar con cinco repeticiones. Las líneas puras LP20, LP22 y LP32 se sembraron conjuntamente con los dos testigos de la población tradicional PC4 y PC5 de poroto caupí colorado. Las PC, posteriormente, se trabajaron juntas en el análisis de los datos como PC45. Los datos se analizaron con The SAS System, y se utilizó el PROC GLM de SAS. Se realizaron los siguientes análisis: Medidas repetidas en el tiempo (a los 50, 65 y 80 DDS, en ambas campañas); un MANOVA, asumiendo las sucesivas mediciones como una observación multivariada. Luego, se realizaron pruebas univariadas ANOVA con el test de significancia (prueba de Duncan con un  $\alpha = 0,05$ ) (Steel, y Torrie. 1985.; InfoStat, 2004).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las Tablas. 3.1 y 3.2 muestran las respuestas de las distintas variables relacionadas con la economía del carbono (tasa fotosintética y concentración de carbono intercelular) y con la economía del agua (transpiración, conductancia estomática y eficiencia del uso del agua) durante los períodos de crecimiento vegetativos  $V_9$  y reproductivos entre  $R_1$  y  $R_2$ .

Durante la primera campaña, no se encontraron diferencias significativas en la fenofase vegetativa ( $V_9$ ) para la concentración de dióxido de carbono interno [ $\text{CO}_2$ i] y en la tasa fotosintética (TF). Se observó un aumento de la TF y una disminución de la [ $\text{CO}_2$ i] en la segunda campaña. Esta falta de diferenciación entre las distintas LPs y PC pudo deberse al estrés hídrico que sufrieron y a la capacidad de soportar dicho estrés.

Como las LPs y PC tuvieron el mismo origen genético, las respuestas a la restricción la realizaron de la misma manera. López et al. (1987) encontraron, que con concentraciones de 360  $\mu\text{l l}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  y entre 1080 y 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  similares  $\text{CO}_2$ . A su vez, los autores encontraron que, con estrés hídrico, las plantas de caupí no aumentan la conductancia aunque existan disponibilidades de fotones. La recarga nocturna de agua y la recuperación de la turgencia de la planta favorece las fotosíntesis inicial y el traslado de asimilados según Pate et al. (1985).

Ellis et al. (1995) trabajaron con sorgo, soja y caupí en macetas, con luz, agua y concentraciones  $\text{CO}_2$  encontraron, que con dosis crecientes de  $\text{CO}_2$ , una correlación negativa al inicio de la etapa reproductiva en sorgo y soja, y una correlación positiva en caupí. En este estudio, con dosis constante de  $\text{CO}_2$ , se presentaron aumentos de la  $\text{CO}_2$  en las LPs y PC en la etapa reproductiva respecto de la vegetativa.

La tasa fotosintética puede ser afectada por las altas temperaturas, superiores a las óptimas, generando ciclos de estrés; pueden afectar reversiblemente o irreversiblemente partes del mesófilo de las hojas, dañando los tilacoides según lo expuesto por Keating et al. (2003) y Santos Costa et al. (2002). Las alteraciones en la propiedades físico-químicas en los tilacoides afectan el fotosistema y, consecuentemente, a la fotosíntesis (Santos Costa et al., 2002). Estos autores, hallaron un brusco decrecimiento de la capacidad fotosintética con el aumento de la temperatura en *Phaseolus*; y por otro lado, el caupí hasta los 48°C, mostró una alta tasa de recuperación de su capacidad fotosintética, que no afectó el crecimiento del cultivo.

La tolerancia al estrés en el poroto caupí colorado, en las campañas 2007-08 y 2008-09 con déficit hídrico, pudo estar asociado a lo encontrado por Santos Costa et al. (2002), y a las características morfofisiológicas involucradas en la generación de resistencias ante situaciones de estrés. Por lo analizado, se puede concluir que las LPs y PC de poroto caupí en las dos campañas, tanto en las etapas vegetativas como reproductivas evaluadas, no se encontraron modificaciones en las TF, ni en las  $[\text{CO}_2]$ .

Cabe preguntarse cómo el dosel de las LPs y PC captan la radiación fotosintéticamente activa. Las Figuras 3.1 A y B muestran la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) en las LP32 y LP22 de diferente duración de ciclo en ambas campañas, expresadas como porcentaje de radiación interceptada del total de la RFA. Como la mayoría de las especie vegetales de metabolismo de  $\text{C}^3$ , el caupí entra en un proceso de fotoinhibición a partir de los 800  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de flujo de fotones (a luz solar plena corresponde 2.000  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Nunes de Pinho et al., 2005). Por otro lado, diversos autores (Anyia et al., 2003; Bagnll and King, 1997; Hoffmann-Bahsen, 1996) encontraron que el caupí se saturó con RFA entre 900 a 1000  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Así, las LPs y la PC, entre las 11:00 y 13:00, estaban saturadas por tener a su disposición más de 1400  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de flujo de fotones de RFA hasta valores de 1890  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de flujo de fotones, por lo que los cultivos tuvieron adecuados niveles de radiación durante las dos campañas.

La cantidad de biomasa producida depende de una serie de factores, entre los que podemos contar la radiación, la capacidad de intercepción, entre otros (Andrade y Sadras, 2000). En caupí, Ávila-Serrano et al. (2006) determinaron que los cultivares de ciclos largos (floración tardía) presentaron mayor producción de biomasa vegetativa. En cambio, en este estudio, la de ciclo largo LP22 no estuvo acompañada por mayor producción de biomasa (Figura 3.5). Sin embargo, la LP32 obtuvo mayor producción de biomasa en un ciclo más precoz y sus aumentos de biomasa no estuvieron asociados a una mayor tasa fotosintética durante la fenofase vegetativa (Figura 3.5), sino al aumento del número de hojas (Figura 3.3).

Tabla 3.1: Variables de respuesta respecto de la economía del carbono y del agua en las etapas vegetativas ( $V_9$ ) y reproductivas ( $R_2$ ) durante la etapa de crecimiento en la primera campaña.

Crecimiento vegetativo 39 DDS ( $V_9$ )					
LPs y PC	TF	[CO <sub>2</sub> i]	(CE)	(T):	(EUA)
	umol CO <sub>2</sub> .m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> .	umol CO <sub>2</sub> .mol <sup>-1</sup> aire	mmol H <sub>2</sub> O.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>	mol H <sub>2</sub> O.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>	umol CO <sub>2</sub> .m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> / mol H <sub>2</sub> O.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>
PC45	38,23 ± 2,1a	276,50 ± 22,0a	1,51 ± 0,7a b	12,90 ± 1,4 b	2,99 ± 0,3a
LP20	38,62 ± 2,5a	281,78 ± 16,8a	1,67 ± 0,7a	14,14 ± 1,3a	2,74 ± 0,2 b
LP22	37,88 ± 2,2a	268,56 ± 16,5a	1,17 ± 0,4 b c	12,56 ± 0,9 b	3,02 ± 0,2 a
LP32	36,93 ± 2,8a	260,22 ± 27,4a	1,07 ± 0,5 c	12,18 ± 1,5 b	3,05 ± 0,2a
C.V.	5,94	5,78	31,22	9,95	7,87

Crecimiento reproductivo 63 DDS ( $R_2$ )					
LPs y PC	TF	[CO <sub>2</sub> i]	(CE)	(T):	(EUA)
	umol CO <sub>2</sub> .m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> .	umol CO <sub>2</sub> .mol <sup>-1</sup> aire	mmol H <sub>2</sub> O.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>	mol H <sub>2</sub> O.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>	umol CO <sub>2</sub> .m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> / mol H <sub>2</sub> O.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>
PC45	36,33 ± 4,6a	295,33 ± 0,9a	1,97 ± 0,7a	12,55 ± 1,4a	2,92 ± 0,4a
LP20	35,37 ± 2,1a	301,78 ± 6,9a	2,37 ± 0,8a	13,16 ± 0,8a	2,70 ± 0,2a
LP22	37,77 ± 2,2a	298,44 ± 7,2a	2,52 ± 0,5a	13,08 ± 0,5a	2,87 ± 0,3a
LP32	35,51 ± 2,2a	293,33 ± 1,7a	2,21 ± 1,1a	12,52 ± 1,7a	2,88 ± 0,4a
C.V.	9,16	3,61	33,57	8,28	10,7

\* Los valores seguidos por la misma letra dentro de la columna no muestran diferencias significativas Alfa = 5%, test de Duncan.

Tabla 3.2: Variables de respuesta respecto de la economía del carbono y del agua en la etapa reproductiva ( $R_1$ ) durante la etapa de crecimiento en la segunda campaña.

Crecimiento reproductivo 49 DDS ( $R_1$ )					
LPs y PC	TF	[CO <sub>2</sub> i]	(CE)	(T):	(EUA)
	umol CO <sub>2</sub> .m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> .	umol CO <sub>2</sub> .mol <sup>-1</sup> aire	mmol H <sub>2</sub> O.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>	mol H <sub>2</sub> O.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>	umol CO <sub>2</sub> .m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> / mol H <sub>2</sub> O.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup>
PC45	43,40 ± 4,7 a	279,00 ± 15,5a	14,11 ± 1,4a	1,73 ± 0,4a	3,09 ± 0,3a
LP20	39,20 ± 10,2a	281,67 ± 18,7a	13,77 ± 2,9a	1,78 ± 0,7a	2,83 ± 0,3a
LP22	42,04 ± 4,1a	281,22 ± 9,6a	13,83 ± 1,1a	1,707 ± 0,5a	3,05 ± 0,3a
LP32	40,32 ± 3,9a	287,44 ± 9,6a	13,93 ± 1,2a	1,92 ± 0,6a	2,93 ± 0,5a
C.V.	13,57	4,70	29,36	9,82	11,63

\* Los valores seguidos por la misma letra dentro de la columna no muestran diferencias significativas Alfa = 5%, test de Duncan.



Pereira de Carvalho et al. (2000) analizando la intercepción de la luz solar y el IAF para densidades de 125.000 y 41.0000 pl ha<sup>-1</sup>, determinaron que los valores medios de intercepción variaron entre el 81,1 y 52,5 % de la luz incidente; pero ninguno llegó al 95% de la intercepción RFA con un IAF máximo. Con densidades menores de 33.000 plantas ha<sup>-1</sup>, las LPs y PC superaron el 90% de intercepción y, posteriormente, se produjo el brusco descenso a partir de los 65 a 75 DDS (Figura 3.1), que se explica, en parte, por la competencia de las hojas dentro del dosel y, hacia el final, por la senescencia foliar.

Desde el momento de siembra ( $V_0$ ) hasta aproximadamente 30 a 40 DDS o ( $V_9$  a  $R_1$ ), el crecimiento del cultivo es lento en general, lo que pudo corroborarse en términos del número de hojas y del IAF (Figura 3.3). En el caso particular de la LP32, se observó durante la etapa vegetativa un importante aumento en el número de hojas; esto explicaría el fuerte crecimiento inicial de esta línea.

A partir de lo 35 a 45 DDS o ( $V_9$  a  $R_1$ ), el área foliar crece de manera categórica, lo que explica el incremento en el % RFA interceptada, siendo máxima entre los 60 a 70 DDS o ( $R_2$  a  $R_3$ ) en plena floración y llenado de granos. La intercepción de la RFA se reduce entre los 80 a 90 DDS o ( $R_4$  a  $R_5$ ), que se explica por la disminución en el número de hojas y, consecuentemente, por disminución del índice de área foliar (Figura 3.3).

En caupí las fenofases vegetativas se superponen y de manera muy avanzada en las fenofases reproductivas, esto explicaría el que, entre los 55 y los 85 DDS la intercepción de la RFA es máxima (Fig. 3.1) sin variaciones en la tasa fotosintética (Tabla 3.1 y 3.2); la máxima diferencia en el transporte de asimilados se explica por el número de hojas y por el mayor IAF. Las líneas que mejor responden a este modelo explicativo son las LP32 y LP20.

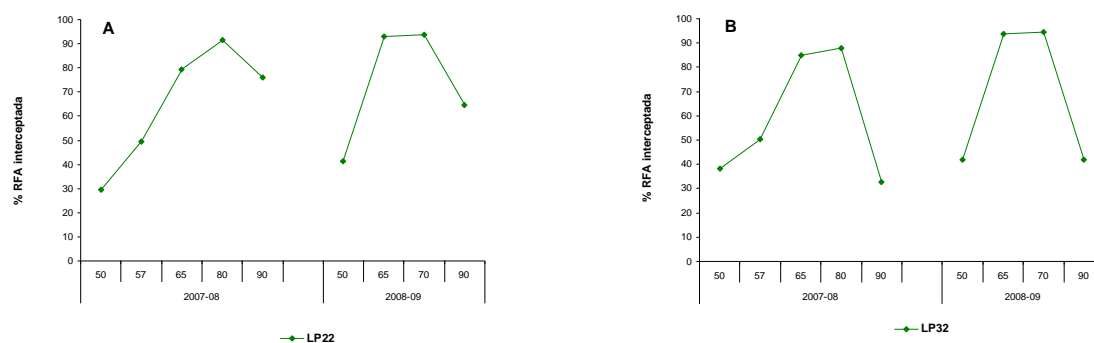


Fig. 3.1: Intercepción de la radiación fotosintéticamente activa en ambas campañas: A) LP22 y B) LP32.

La Figura 3.2 A muestra la tasa de asimilación neta (TAN), comprendida entre los 27 DDS ( $V_6$ ) y los 51 DDS ( $R_2$ ) para las LPs y PC. La TAN fue alta cuando las plantas se encontraron a los 27 DDS y tienen entre 18 y 23 hojas ( $V_6$ ), etapa en la que los primordios del tallo secundario surgen en las axilas de las hojas unifolioladas o también de las trifolioladas, en plena etapa de crecimiento vegetativo. La mayoría de las hojas fotosintéticamente activas estaban expuestas a la luz solar directa, sin competencia, produciendo biomasa, lo que permitió rápidos incrementos de las variables de crecimiento y que se explicó por el aumento de la intercepción de la RFA (Figura 3.1 A y B). A medida que avanzó el crecimiento las hojas, entraron en

competencia dentro del dosel y comenzaron a sombreadarse, lo que explicó la disminución de la TAN. El IAF crítico se produce cuando la pendiente de la TAN se intercepta con el IAF que, para el caso particular de las LPs y PC, corresponde a un valor de IAF crítico en  $R_1$  aproximadamente. Barrera (2009), analizando el crecimiento del pimiento, encontró también una alta eficiencia fotosintética a través de un alto crecimiento del TAN, llegando a ser máximo entre los 27 y 47 DDS según la accesión, relacionado al fuerte crecimiento vegetativo; el TAN, posteriormente, también decayó por la competencia por la RAF y el incremento del IAF.

La Figuras 3.2 B y C muestran la Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC). Las respuestas de las distintas líneas fueron similares en las etapas de crecimiento vegetativo ( $V_0$  a  $V_9$ ); y a partir de allí disminuyeron las TCC, que se explicó por el inicio de la etapa reproductiva  $R_1$ , donde los meristemas vegetativos cambiaron a reproductivos, correspondiéndose con el proceso fisiológico de transición floral (Martínez-Zapater y Salinas, 2000). Además, Castellanos et al. (2009) explicó que los índices de crecimiento IAF, TAN y TCC tienen una tendencia similar, porque están relacionados a los crecimientos vegetativos de especies anuales con una alta producción de biomasa inicial y que, posteriormente, entran en competencia disminuyendo la capacidad fotosintética. Así, la LP32, primeramente, tuvo mayor TCC en la etapa vegetativa (Figura 3.2 B), lo que explicó su mayor crecimiento inicial. Esta línea (LP32), al entrar en la fenofase reproductiva, es la que menor TCC presentó, lo que explicó en parte su precocidad (Figuras 3.2 B y C). Por otro lado, en la campaña 2008-09, todas las líneas mostraron una rápida disminución de la TCC, que podría explicarse, en parte, por la influencia del estrés hídrico que se presentó. Consecuentemente, las plantas utilizaron los hidratos de carbono disponibles para un solo ciclo de floración, un ciclo de cosecha, y posterior senescencia. En la primera campaña, la supervivencia de las plantas después de la primera cosecha permitió la producción de un segundo ciclo de floración y cosecha. Cabe preguntarse ahora cómo fue la acumulación de biomasa y su partición en las LPs y la PC.

La Tabla 3.3 muestra el número de hojas por planta y el IAF cuando se presentaron diferencias significativas. La LP32 más precoz tuvo mayor número de hojas a los 65 DDS y menor número de hojas a los 80 DDS que la LP22 más tardía. En correspondencia, la LP32 tuvo menor IAF a los 80 DDS y menor intercepción de la RFA (Figuras 3.3 A y 3.1). Estas características explicaron el comportamiento más precoz de la LP32, que a los 80 DDS se encontraba terminando su ciclo próximo a  $R_5$ , mientras que la LP22 se mantuvo vegetando por más tiempo hasta  $R_4$ . Además, estos hechos se los puede vincular con la disminución de la TAN y la TCC (Fig. 3.2). Existió una correlación positiva entre número de hojas y el área foliar (Fig. 3.3), tal como lo encontrado por Ávila-Serrano et al. (2005).

La Figura 3.3 A muestra el IAF de las LPs y PC durante las dos campañas. En este estudio, se obtuvieron valores de IAF alrededor de 3,0 entre los 50 y 75 DDS en ambas campañas, y valores máximos entre 3,5 a 4,5 a los 65 DDS. Keating et al. (2003) obtuvieron IAF superiores a 6 con modelos de simulación con caupí irrigado entre los 40 y 60 DDS; y valores similares 3,5 entre los 65 y 80 DDS. Por otro lado, Idinoba et al. (2002) obtuvieron valores semejantes de IAF 3.8 y 2.9 entre los 58 y 68

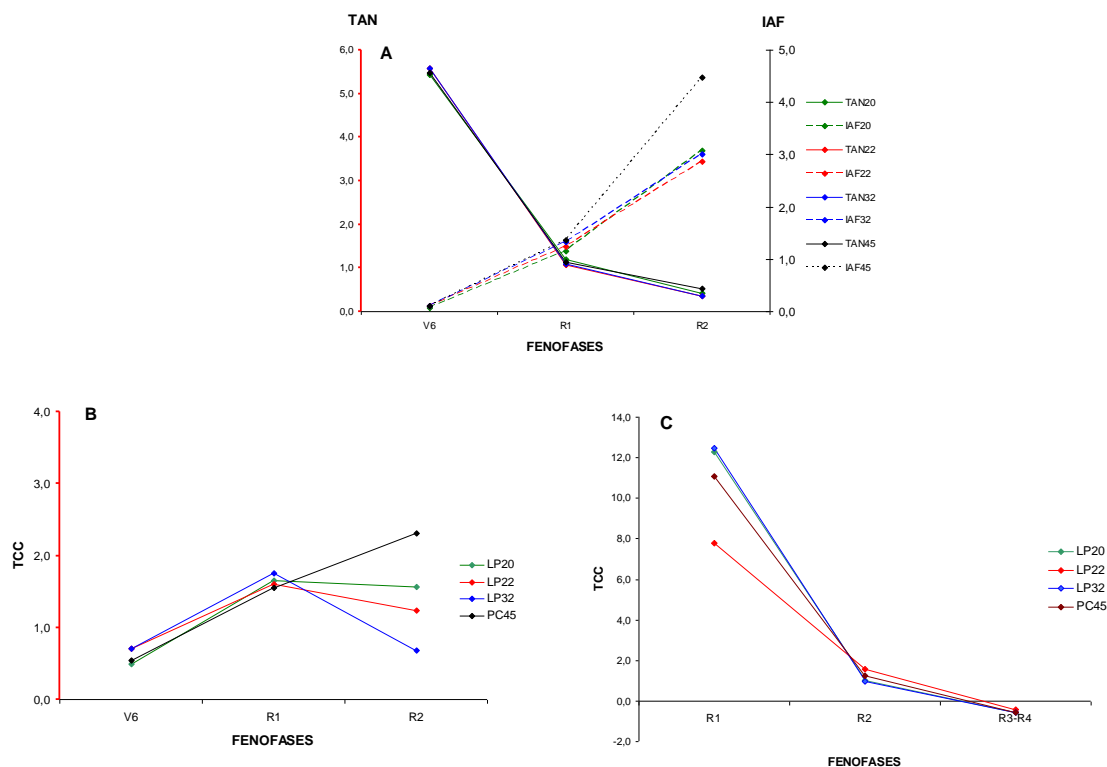


Figura 3.2. Tasa del cultivo de caupí por LPs y PC: A) Tasa de Asimilación Neta y el Índice de Área Foliar en la campaña 2007-08; y las Tasas de Crecimiento del cultivo, B) campaña 2007-08 y C) campaña 2008-09.

Tabla 3.3: Número de hojas por planta en dos momentos del ciclo y el índice de área foliar.

LPs y PC	Número de hojas $pl^{-1}$		IAF
	65 DDS	80 DDS	80 DDS
PC45	81,64 a	35,23 b	1,15 b
LP20	71,04 ab	43,88 ab	1,57 a
LP22	59,60 b	54,29 a	1,97 a
LP32	74,33 ab	31,92 b	1,09 b

\*Valores seguidos por la misma letra, dentro de la columna, no difieren significativamente Alfa=5% test de Duncan.

DDS con el doble de densidad que el reportado en este estudio, y con una elevada correlación entre la intercepción de la RFA y la producción de biomasa. Además, Ávila-Serrano et al. (2006) encontraron diferencias en IAF trabajando con cultivares de distinto porte más erectos y altas densidades. Es de destacar que los datos obtenidos en este trabajo de tesis se realizaron en condiciones de secano y con una densidad de 33.000  $pl\ ha^{-1}$ , a diferencia de otros autores [Pereira de Carvalho et al., 2000; Ávila-Serrano et al., (2005 y 2006)] que trabajaron con riego y con más del doble de esta

densidad de siembra. Como ilustración la figura 3.4 muestra el estado del cultivo de caupí durante la primera campaña a los 36 y 63 DDS.

Las Figuras 3.3 A y B muestran la diferencia en IAF y las diferencias en el número de hojas en R<sub>3</sub> en las LPs y PC en ambas campañas, que fueron producidas por el marcado déficit hídrico en la segunda campaña. Esta situación fue mencionada por Anyia et al. (2003) señalando que, bajo dichas condiciones, se produjeron reducciones del área de la hoja y/o abscisiones de las hojas, disminuyendo el IAF de las plantas. Se determinó que la LP32 tuvo mayor número de hojas respecto de la LP22 en las etapas iniciales del cultivo en las dos campañas. Esto explicaría su comportamiento precoz y su mayor TCC inicial (Figura 3.2 B).

Las Figuras 3.5 A y B muestra la biomasa acumulada en g m<sup>-2</sup> en las LPs y PC de caupí durante la primera y segunda campaña. Diversos autores (Ávila-Serrano et al., 2005, 2006) manifestaron que en caupí existían diferencias significativas entre cultivares respecto de la variable biomasa. Los autores mencionan que tuvieron efectos en la producción de biomasa en caupí las siguientes variables de crecimiento: número de hojas, altura de planta, diámetro del tallo y número de ramificaciones secundarias. Estas variables ya analizadas en el Capítulo 2 de este trabajo; determinaron que el cultivar de mayor nivel de respuesta fue la LP32, siguiéndole la LP20 (Capítulo 2: Tablas 2.2, 2.4, 2.6 y 2.7; Figura 2.6, y del Capítulo 3: Figura 3.5 A y B). Las LPs y PC presentaron aumentos de biomasa aérea con tendencia a una distribución normal a lo largo del tiempo (Figura 3.5 A). Así, la LP32, en las etapas iniciales, tuvo mayor producción de biomasa que la LP22 durante las dos campañas (Figura 3.5 A y B) y que se pudo corroborar durante la fenofase vegetativa (V<sub>6</sub>) de la primera campaña. Esto se explicaría por su mayor TCC inicial y menores requerimientos de GD para completar sus fenofase.

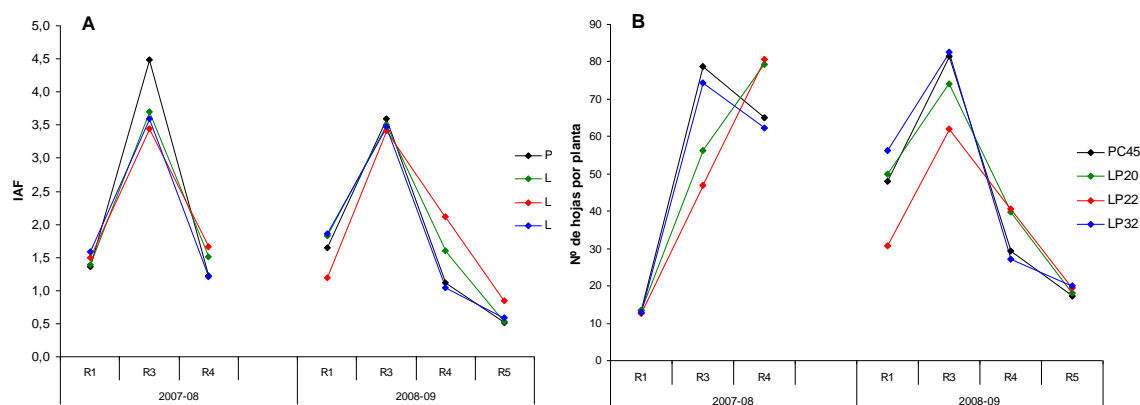


Figura 3.3: Capacidad fotosintética potencial en las LPs y PC durante las campañas 2007-08 y 2008-09: A) Índice de área foliar. B) Número de hojas por planta.



Figura 3.4: Estado del cultivo de caupí durante la primera campaña: A) 36 DDS y B) 63 DDS.

La LP32, en la primera campaña, durante las fenofase reproductivas desde  $R_1$  a  $R_5$ , presentó incrementos en su biomasa con una TCC menor, que se explicó por el inicio de la fenofase reproductiva y el cambio de destino de los asimilados hacia pedúnculos, flores, vainas y semillas. La LP22, durante la primera campaña, presentó menor producción de biomasa que la LP32. En la  $R_1$  fue el único momento que se igualó la producción de biomasa de ambas LPs por la mayor vegetación de la LP22. Por este motivo, la LP22 fijó menos biomasa entre las fenofases  $R_2$ - $R_5$ , y terminó teniendo menor biomasa (Figura 3.5 A). Esto se explicaría porque la LP22, tuvo mayor TCC que la LP32 entre  $R_1$  a  $R_5$ , vegetó más entre  $R_1$  a  $R_3$ , mostró escasos incrementos de biomasa entre  $R_1$  a  $R_3$  por competencia consigo misma (Figura 3.5 A). Esto se explicaría en términos de un retraso en la partición hacia las estructuras reproductivas (Tabla 3.5, figuras 3.6, 3.7 y 3.8).

Durante la segunda campaña, la LP32 mantuvo mayor TCC inicial y adelantó la máxima producción de biomasa en  $R_2$ ; posteriormente, disminuyó de manera gradual hacia  $R_5$ , lo que significa que en este período opera el proceso de producción de pedúnculos, flores y producción de vainas. Durante la segunda campaña, la LP22 incrementó su biomasa rápidamente desde  $R_1$  a  $R_2$  y gradualmente desde  $R_2$  a  $R_5$ . Esta línea (LP22) vegetó más; se puede explicar, por las mayores sumas térmicas necesitadas para completar su ciclo y por el incremento gradual de biomasa con escasa partición a estructuras reproductivas en  $R_2$  (Figura 3.6 C). La LP22 vegetó menos en la segunda campaña respecto de la primera y tuvo un menor período de llenado de granos  $R_3$  a  $R_5$ , presumiblemente por el estrés hídrico.

Cabe preguntarse cómo son los destinos de dicha biomasa en términos de la acumulación y distribución de los fotoasimilados. Así, la Fig. 3.6 muestra dos modelos de partición de asimilados: la LP32, más precoz y productiva, y la LP22, más tardía y menos productiva, en las fenofases  $V_6$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_{3-4}$  y  $R_5$  distribuidas en las dos campañas.

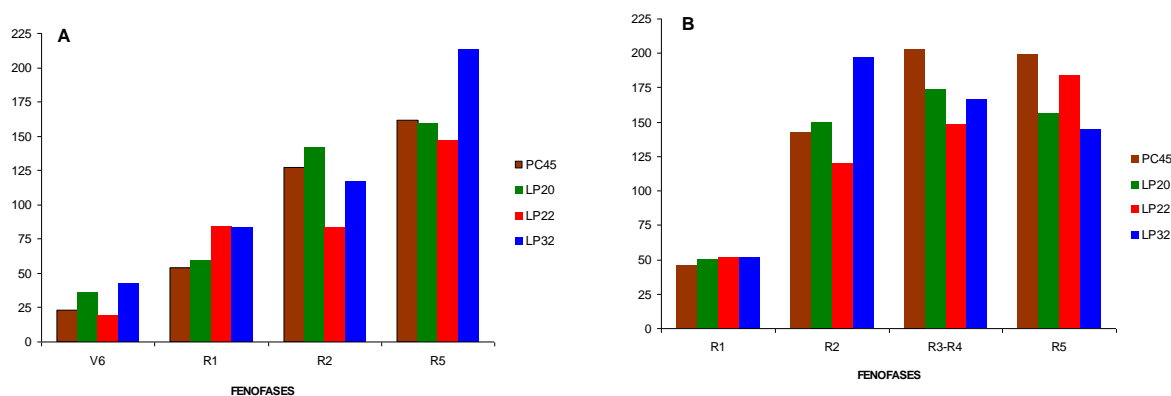


Figura. 3.5: Producción de biomasa seca expresada en  $\text{g m}^{-2}$  en fenofases del caupí por LPs y PC: A) campaña 2007-08, B) campaña 2008-09.

En general, en las fenofases vegetativas, las LPs y la PC particionaron en mayor proporción a hoja que a tallo, por tratarse de un período de activo crecimiento vegetativo (Figura 3.6). No obstante, este crecimiento continuó durante la etapa reproductiva, mostrando un modelo semejante “al modelo soja de hábito de crecimiento indeterminado de grupos de madurez altos” y muy distinto al modelo maíz (Andrade y Sadras, 2000; Ritchie et al., 2003). Los modelos de partición de asimilados fueron muy diferentes en la LP32 (Figura 3.6 B. y D), y la LP22 (Figura 3.6 A y C). Por este motivo, resultó de interés saber cómo realizaron la partición de asimilados en las fenofases vegetativas y reproductivas hacia las estructuras reproductivas (pedúnculos, flores, vainas y semillas) por ser parte de los componentes fisiológicos del rendimiento.

La LP32 produjo siempre más biomasa en hojas que en tallos en etapas tempranas y, posteriormente, desde  $V_6$  y  $R_1$ , la biomasa de hojas disminuyó desde  $R_3$  a  $R_5$ . La temprana senescencia de las hojas basales y la partición de asimilados desde estas hacia los pedúnculos y flores en  $R_2$  explicó el traslado de asimilados a las vainas desde  $R_{2,3}$  a  $R_5$ . Este comportamiento fisiológico se explicó con las evidencias experimentales de la partición de asimilados evaluados con CAF y AFE (Figura 3.7 A y B). Ambas variables disminuyeron rápidamente desde los 30 DDS ( $V_7$ ) a los 50 DDS ( $R_2$ ), confirmando la partición de asimilados hacia pedúnculos, flores, vainas y el llenado de las semillas posteriormente (Figura 3.6 B y D). El comportamiento del CAF y el AFE está íntimamente relacionado a lo explicado por Barrera (2009) para índices de crecimiento IAF, TAN y TCC de tendencia similar por construirse con variables idénticas que afectaron directamente la producción de biomasa y la capacidad fotosintética.

La LP22 presentó mayor proporción de hojas que tallos entre  $V_6$  y  $R_1$ ; pero entre  $R_1$  y  $R_2$  tuvo una tendencia de aumentó de la proporción de tallos sobre las de hojas, siendo mínima la proporción en biomasa seca de pedúnculos y flores. Esto significó que hubo pérdida de la eficiencia en la partición de asimilados. Posteriormente, entre  $R_3$  a  $R_5$  aumentó la proporción de pedúnculos y flores, y el llenado de vainas tardó en producirse (Figura 3.6). La biomasa de vainas aumentó considerablemente desde  $R_4$  a  $R_5$ ; cuyo comportamiento fisiológico pudo ser además, corroborado con las evidencias experimentales de la partición de asimilados evaluados en el CAF y el AFE (Figura 3.7 A y B). Ambas variables en la LP22 tuvieron una muy reducida pendiente en la primera etapa y la disminución fue más gradual desde los 30 DDS ( $V_7$ ) a los 50 DDS ( $R_2$ ), confirmandose, así, la demora en la partición de asimilados hacia los órganos reproductivos.



La Tabla 3.5 muestra diferencias significativas de partición de asimilados entre las LP32 y LP22 en la etapa final de su ontogenia, lo que explicó la precocidad, según Freire Filho et al. (2005), de la LP32, la cual realizó mayor partición de asimilados, 23,88 g hacia pedúnculos y flores a los 65 DDS, respecto de la LP22 que sólo hizo una partición de 3,021 g hacia los mismos destinos a los 65 DDS. Este retraso en la partición de asimilados entre la LP22 respecto de la LP32 fue más evidente a los 80 DDS (Tabla 3.5). La LP32 particionó y fijó 20,41 g a pedúnculos y flores, y 92,26 g a vainas; mientras, la LP22 menos eficiente, sólo fijó 12,15 g a flores y pedúnculos y 26,48 g a vainas. Esto datos explicarían contundentemente la mayor precocidad de la LP32 anticipando en la partición de asimilados a vainas y semillas, respecto de la LP22. En el mismo tiempo, desde los 65 a 80 DDS, la LP32 paso de la fenofase  $R_3$  a  $R_5$ , próxima a terminar su ciclo, mientras la LP22 se encontraba entre  $R_2$  a  $R_3$ .

Del análisis de los resultados, surge que las líneas que mejor particionaron los asimilados fueron las LP32 y LP20, y lo hicieron desde las fenofase vegetativas y reproductivas desde  $V_7$  a  $R_2$ . Estos datos se ven corroborados por el mejor comportamiento de AFE en términos de la mayor efectividad fotosintética por unidad de área foliar. Los mejores comportamientos respecto de la partición se vincularon con los índices de cosecha (IC), que corroboraron la partición de asimilados y la acumulación en las estructuras reproductivas.

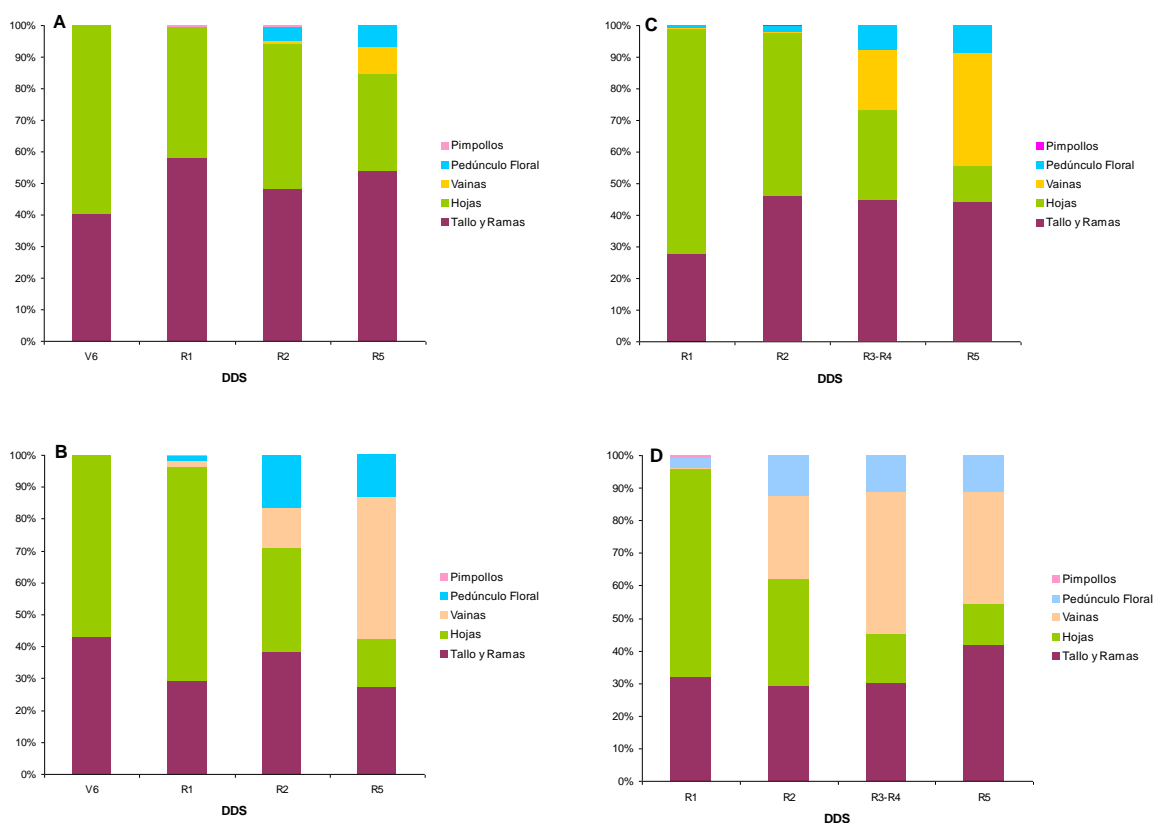


Figura 3.6: Dos modelos de partición de asimilados: A) LP22 - 2007-08, B) LP32 - 2007-08, C) LP22 - 2008-09, D) LP32 - 2008-09.

Tabla 3.5: Partición de asimilados de pedúnculos y flores y vainas en las dos campañas.

LPs y PC	Pedúnculos y Flores		Vainas
	65 DDS	80 DDS	80 DDS
	g		
PC45	16,27b	23,55a	84,31a
LP20	15,11b	23,37a	78,03a
LP22	3,021c	12,15b	26,48b
LP32	23,88a	20,41a	92,26a

\*Valores seguidos por la misma letra, dentro de las columnas, no difieren al 5% de acuerdo al test de Duncan.

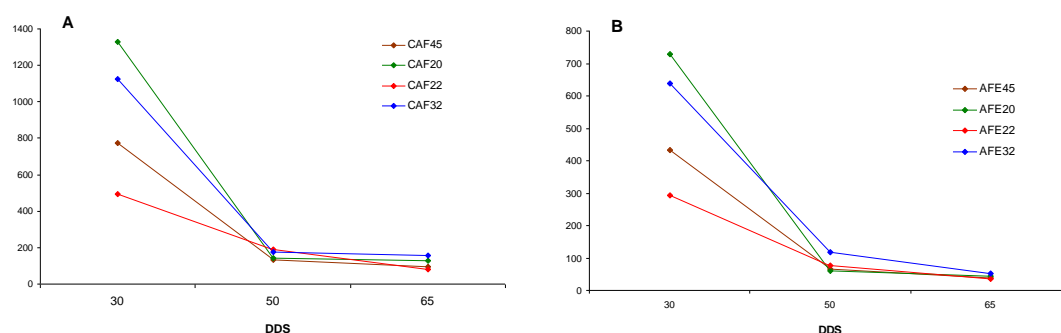


Figura 3.7: Expresiones del área foliar: A) Coeficiente de Área Foliar, B) Área Foliar Efectiva; en la campaña 2007-08.

La Figura 3.8 muestra los índices de cosechas de las LPs y PC en las dos campañas, analizadas con una discriminación por el test de Tuckey con  $\alpha = 5\%$ . Del análisis las LP32, LP20 y PC45 no presentaron diferencias significativas; pero la LP22 se diferenció significativamente por sus bajos rendimientos del resto de las LPs y PC.

La LP32 tuvo mayor IC porque realizó una mayor producción de biomasa y mejor partición de asimilados, le siguieron la LP20, PC45 y por último LP22. Este índice también resumió la eficiencia de partición de asimilados resultante de la eficiencia de la economía del carbón y del agua en LPs y PC.

Las Tablas 3.1 y 3.2 muestran las distintas respuestas de las variables de la economía del agua respecto de la: transpiración (T), conductancia estomática (CE) y eficiencia del uso del agua (EUA) durante los períodos de crecimiento vegetativos  $V_9$  de la primera campaña y reproductivos de  $R_2$  y  $R_1$  de la primera y segunda campaña.



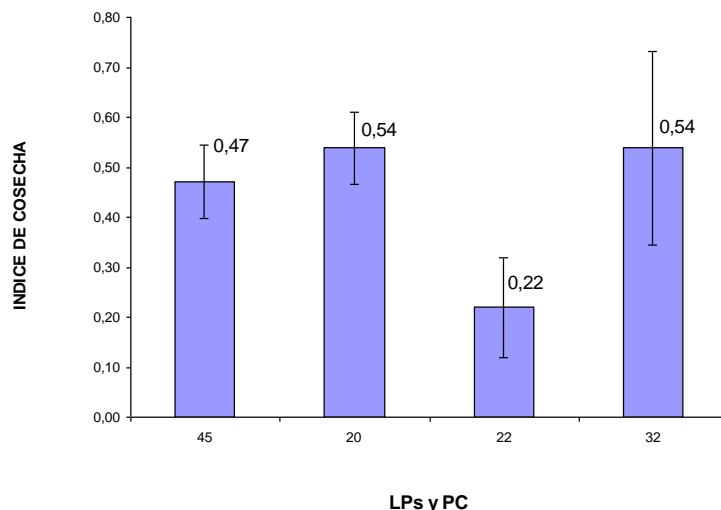


Figura 3.8: Índices de cosecha de la PC y las LPs de caupi, promedio de las dos campañas.

Durante la fenofase  $V_9$ , las LPs y PC no mostraron diferencias significativas en la tasa fotosintética y en la  $CO_2i$ . Las diferencias se presentaron en la CE que afectó la tasa de T y, por ende, se vio afectada la EUA. Las LP32 y LP22 no se diferenciaron en la EUA; sí lo hizo la LP20. La LP32 fue superior en la EUA, así con menor CE de  $1,07 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , transpiró menos  $12,18 \text{ mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  y presentó mayor EUA  $\text{umol CO}_2\cdot\text{mol}^{-1} \text{ aire/ mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  en la hoja con  $3,05$ . En cambio, la LP20 de mayor CE  $1,67 \text{ mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , tuvo mayor tasa de transpiración  $14,14 \text{ mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  y fue menos eficiente en el uso del agua  $2,74 \text{ umol CO}_2\cdot\text{mol}^{-1} \text{ aire/ mol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Durante las fenofases reproductivas, las LPs y PC no mostraron diferencias significativas; lo que se explicó, desde el punto de vista fisiológico, por el cambio de sus prioridades “destinos”, hacia las estructuras reproductivas en dichas fenofases.

La mayor productividad de las LP32 y LP20, respecto de la LP22 se explicó por las siguientes causas: durante las fenofases vegetativas, la LP32 y LP20 fueron más eficientes al fijar los fotoasimilados en las estructuras vegetativas. También pudo existir un mejor sistema radical en estas líneas que exploraron más eficientemente el perfil. Posteriormente, cuando las LPs y PC pasaron al estado reproductivo, las variables tasa fotosintética, concentración de  $CO_2$  interno, conductancia estomática, transpiración y la eficiencia del uso del agua, no se diferenciaron significativamente en las LP32 y LP20; pero tuvieron mayor biomasa producida en ese momento (Figura 3.5 A y B), que les permitió, por su precocidad, priorizar primero los fotoasimilados a estructuras reproductivas. Éstas, una vez fijadas, continuaron su desarrollo y en las últimas fenofases ( $R_4$  a  $R_5$ ) presentaron mayor partición de asimilados desde las hojas, que son la primeras en removilizar los fotoasimilados, y desde los tallos posteriormente; tal como se asoció la disminución de DTAC con el cambio de disposición de los fotoasimilados tratado en el Capítulo 2, y similar a lo que sucedió en el modelo maíz (Andrade y Sadras 2000).

El caupí presenta una raíz pivotante muy desarrollada que puede superar el metro de profundidad y raíces laterales bastante profundas, permitiéndole explorar un buen volumen de suelo (Jover, 2006), con una estructura radical similar a la de la soja (Andrade y Sadras, 2000). El crecimiento del sistema radical puede ser afectado por la disponibilidad de agua y nutrientes (Gardner et al., 1985); motivo por lo que en situaciones de estrés la raíz tiene un mayor desarrollo, pudiendo alcanzar más de 2.87 m de profundidad y unos 37 cm de desarrollo lateral (Babalola, 1980). Las evaluaciones exploratorias realizadas (Figura 3.9) en las LPs y PC45, llevadas a cabo en la fenofase  $R_4$ , pudo observarse que, en general, el cultivo tuvo una buena distribución de raíces hasta los 45 cm de profundidad para esta región de estudio y tipo de suelo arcilloso fino. Este sistema radical se encontró constituido por un eje principal o primario y numerosas raíces secundarias comprendidas entre el cuello de la planta y los 20 cm de profundidad.



Figura 3.9 Evaluación preliminar del desarrollo radical de poroto caupí colorado.

## CONCLUSIONES

- Durante la etapa vegetativa, el crecimiento de las LPs es lento; pero se produjeron profundos cambios morfogénéticos que se manifestaron, de manera categórica, hacia la etapa reproductiva, con importantes aumentos de biomasa y que se explica en términos de las variables de crecimiento.
- La máxima capacidad de intercepción de la radiación se alcanza durante las fenofases reproductivas porque el crecimiento vegetativo continuó durante la etapa de desarrollo.
- Desde el punto de vista ecofisiológico, las distintas líneas tienen un comportamiento semejante en términos de la economía del carbono; salvo la LP32, que tuvo mayor respuesta que el resto, fue más precoz, más determinada, más erecta, de mayor cantidad de biomasa, mayor partición y con mayor velocidad en el llenado de los granos.
- Todas las líneas mostraron, en general, buena respuesta al déficit hídrico; pero la LP32 se destacó por su mayor eficiencia en el uso de agua; lo que la muestra como una línea promisoría desde el punto de vista fisiológico para la producción de granos en condiciones de secano.

## CAPÍTULO 4.

### ESTUDIO DE LOS COMPONENTES NUMÉRICOS DEL RENDIMIENTO.

#### INTRODUCCIÓN

Actualmente se desconocen los componentes numéricos del rendimiento de las distintas LPs de poroto caupí colorado respecto de la PC.

Los rendimientos promedios de semillas de poblaciones de poroto caupí, en condiciones de secano, fueron determinados en la EEA Colonia Benítez (Chaco), variando entre 700 a 1.700 kg ha<sup>-1</sup> de granos, con un promedio de 1.000 kg ha<sup>-1</sup> de semillas, en siembra desde septiembre a febrero (Jover, Comunicación personal). En Brasil, los bajos rendimientos resultaron de la utilización de cultivares de poca productividad y por siembras consociadas con otros cultivos. En el Nordeste de Brasil, en secano, se obtuvieron entre 115 y 506 kg ha<sup>-1</sup>. En los últimos años, en Brasil, estos rendimientos se incrementaron entre 1.000 a 1.200 Kg ha<sup>-1</sup>, utilizando materiales de portes erectos y semi-erectos; y se obtuvieron rendimientos superiores de 2.000 a 2.400 kg ha<sup>-1</sup> en sistemas de riego con fertilización (Cardoso e Ribeiro 2006; Cardoso et al. 1997; Fernandes Távora et al. 2001; Freire Filho, et al. 2002, 2005; Oliveira et al. 2002). En Turquía, Pekşen and Artik (2004) obtuvieron altos rendimientos en secano, entre 922 y 1.120 kg.ha<sup>-1</sup>, de semilla de caupí, mientras que Ehlers and Hall (1997) encontraron, en África, cultivares de ciclo corto que produjeron 2.000 kg ha<sup>-1</sup>, rendimientos considerados altos para el ambiente y las condiciones de cultivo. Ehlers and Hall (1997) señalan, rendimientos en parcelas entre 7.000 y 4.000 kg ha<sup>-1</sup> en cultivo al sur del valle de San Joaquín en California.

Gutiérrez et al. (2001) consideró que los componentes del rendimiento del caupí resultaron de la combinación del número de vainas por planta, del número de semillas por vaina, y del peso de 100 semillas; variables también consideradas por otros autores (Bastos et al., 2001; Cardoso et al., 1997; Cardoso e Ribeiro 2006, Keating et al., 2003). Por otra parte la producción de granos y el largo del ciclo del cultivo no necesariamente serían responsables del rendimiento (Hall, 2004; Freire Filho, Araújo Lima e Queiroz Ribeiro, 2005). Una nueva floración del caupí puede verse favorecida si las condiciones climáticas son adecuadas o existe un riego suplementario, mejorando la producción y el rendimiento de semillas (Ávila-Serrano et al., 2006). Lo contrario puede suceder ante factores de estrés bióticos y abióticos (Babalola 1980, Warrag and Hall, 1984; Ehlers and Hall, 1988; Pilsen and Hall 1984; Botello, 2005). La producción también puede ser mantenida por removilización de almidón desde el tallo y la raíz hacia a las vainas durante el llenado de granos, elevando el índice de cosecha y confiriéndole estabilidad al cultivo (Andrade y Sadras, 2000; Babaloba, 1980; Hall, 2004; Keating et al., 2003; Tamango et al., 1999). En soja, Andrade y Sadras (2000) obtuvieron un índice de cosecha de 0,37.

Otros autores (Ávila-Serrano et al., 2005, 2006; Ehlers and Hall 1997), señalan al caupí como uno de los cultivos más extensamente adaptados a las condiciones de estrés hídrico. Además, otra característica importante es el nivel de proteínas que contienen los granos, su capacidad de producir en zonas cálidas y

escasas precipitaciones, convirtiéndolo en uno de los principales cultivos del mundo (Jover 2006; Pekşen and Artik 2004).

La hipótesis de este capítulo fue que la mejor respuesta ecofisiológica de la LP32 está dada por la mayor acumulación de biomasa, su mayor partición y mayor eficiencia del uso del agua, que determinan una mejor respuesta de los componentes numéricos del rendimiento respecto de las otras LPs y PC de poroto caupí.

El objetivo de este capítulo fue: caracterizar el rendimiento de las LPs y PC de poroto caupí colorado en términos de los componentes numéricos del rendimiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Las condiciones del experimento:

Las distintas condiciones del ensayo fueron descritas en el Capítulo 1.

### Componentes numéricos del rendimiento:

- Plantas por hectárea (PLha): número de pl ha<sup>-1</sup>.
- Número de vainas por planta (NVPL): número de v ha<sup>-1</sup>.
- Peso de las 100 semillas (P100S): g 100 s<sup>-1</sup>. 12 %HR (Cardoso y Ribeiro, 2006).
- Longitud de las vainas (LV): cm v<sup>-1</sup>.
- Número de semillas por vaina (NSV): número de s v<sup>-1</sup>.
- Número de semillas por planta (NSPL): s pl<sup>-1</sup>.
- Gramos de semillas por planta (gSPL): g s pl<sup>-1</sup>.
- Producción de semillas (PS): kg ha<sup>-1</sup>.
- Producción de pericarpios (PP): Kg ha<sup>-1</sup>.
- Producción total de semillas y pericarpios (PT): ha pl<sup>-1</sup>.
- Índice de cosecha (IC).

### Diseño experimental y evaluación estadística de los datos:

Se usó un diseño en bloques completos al azar con cinco (5) repeticiones. Se sembraron las líneas LP20, LP22 y LP32 con dos testigos de la población tradicional PC4 y PC5 de poroto caupí colorado. Las PC, posteriormente, se trabajaron juntas en el análisis de los datos como PC45. Los datos se analizaron con The SAS System y se utilizó PROC GLM de SAS. Se realizaron los siguientes análisis: medidas repetidas en el tiempo con el PROC GLM de SAS se realizó un MANOVA, asumiendo las sucesivas mediciones como una observación multivariada. Luego, se realizaron pruebas univariadas, ANOVA, con el test de significancia (prueba de Duncan con un  $\alpha = 0,05$ ).

Se realizaron análisis en conjunto de las campañas 2007/08 y 2008/09 para los caracteres: longitud de vainas, número de semillas por vaina, número de plantas por hectárea, peso seco de 100 semillas, rendimiento de semillas y pericarpios en la primera cosecha, rendimiento de semillas y pericarpios en la segunda cosecha, rendimiento total de semillas, rendimiento total de pericarpios, gramos por planta, semillas por planta y número de vainas por planta. Además, se realizó un análisis de regresión lineal múltiple en conjunto (las dos campañas) y por material, entre la variable  $Y$  = Producción total de semillas, y las variables regresoras  $X$  = longitud de vainas, número de semillas por vaina, plantas por hectárea, peso seco de 100 semillas y número de vainas por planta (Steel, y Torrie. 1985.; InfoStat, 2004).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variables de los componentes numéricos del rendimiento

La definición de los componentes del rendimiento comienza con la elección del material genético a usar y de las prácticas agronómicas desde la siembra a la cosecha. Son maneras de medir la capacidad de respuesta del cultivo, pudiendo ser agrupados de diferentes formas. Los mismos se muestran en las Figuras 4.1, 4.2, 4.3, y en las Tablas 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4.

En las dos campañas, las LPs y la PC no presentaron diferencias significativas entre ellas respecto de la densidad de planta por hectáreas (Figura 4.1 A y Tabla 4.1). Pereira de Carvalho et al. (2000), en cultivo de caupí irrigado con 41.000 a 125.000 pl ha<sup>-1</sup>, encontraron que el número de flores disminuyó con el aumento de densidad, pero no encontraron diferencias significativas en rendimiento a una misma densidad.

Las LP32, LP20 y PC45 no se diferenciaron significativamente en el número de vainas pl<sup>-1</sup> (Figura 4.1 B y Tabla 4.1 A), pero sí lo hicieron de la LP22. La LP32 produjo 41.03 vainas pl<sup>-1</sup> y la LP22 sólo 11,82 vainas pl<sup>-1</sup>. La producción de vainas pl<sup>-1</sup> y el rendimiento de semillas pl<sup>-1</sup> están muy correlacionados (Tabla 4.1 A y 4.2). También existió la misma distribución de éstos con los gramos pl<sup>-1</sup>; lo que indicaría que estuvo relacionado principalmente el número de vainas pl<sup>-1</sup>. Nakawuka and Adipala (1999) también encontraron una correlación alta y positiva entre el número de vainas y el rendimiento de semillas. El aumento de la producción en las LP32, LP20 y PC se da básicamente como resultado del número de vainas pl<sup>-1</sup> producido, y no por diferencias en el número de semillas por vaina o el peso de las semillas (Gutiérrez et al., 2001; Cardoso et al., 1997; Cardoso e Ribeiro, 2006). Contrariamente, en la producción de soja, el peso de las semillas influyó el rendimiento final del cultivo (Andrade y Sadras, 2000). Por otro lado, en caupí Pekşen and Artik, 2004 hallaron una correlación positiva entre el número de vainas y el peso de las 100 semillas que varió entre 9,4 y 21,8 g. Estas diferencias podrían explicarse a través de los criterios de selección, las LPs y PC que se evaluaron en la EEA Colonia Benítez, las cuales provinieron de una población tradicional de poroto caupí multiplicada en la EEA El Colorado del INTA, Formosa, donde se seleccionaron plantas de poroto caupí que presentaron más de 30 vainas por planta a la primera cosecha. De esta manera, las LP32 y LP20 que derivan de la PC presentaron más de 35 vainas por planta en las dos campañas. Y fueron las líneas que más rindieron, coincidiendo con Oliveira et al. (2002); aunque este autor hace referencia a 20 vainas por planta como una alta productividad individual. El número de las vainas por planta resultó ser el componente del rendimiento que presentó mayor importancia en la producción para esta investigación.

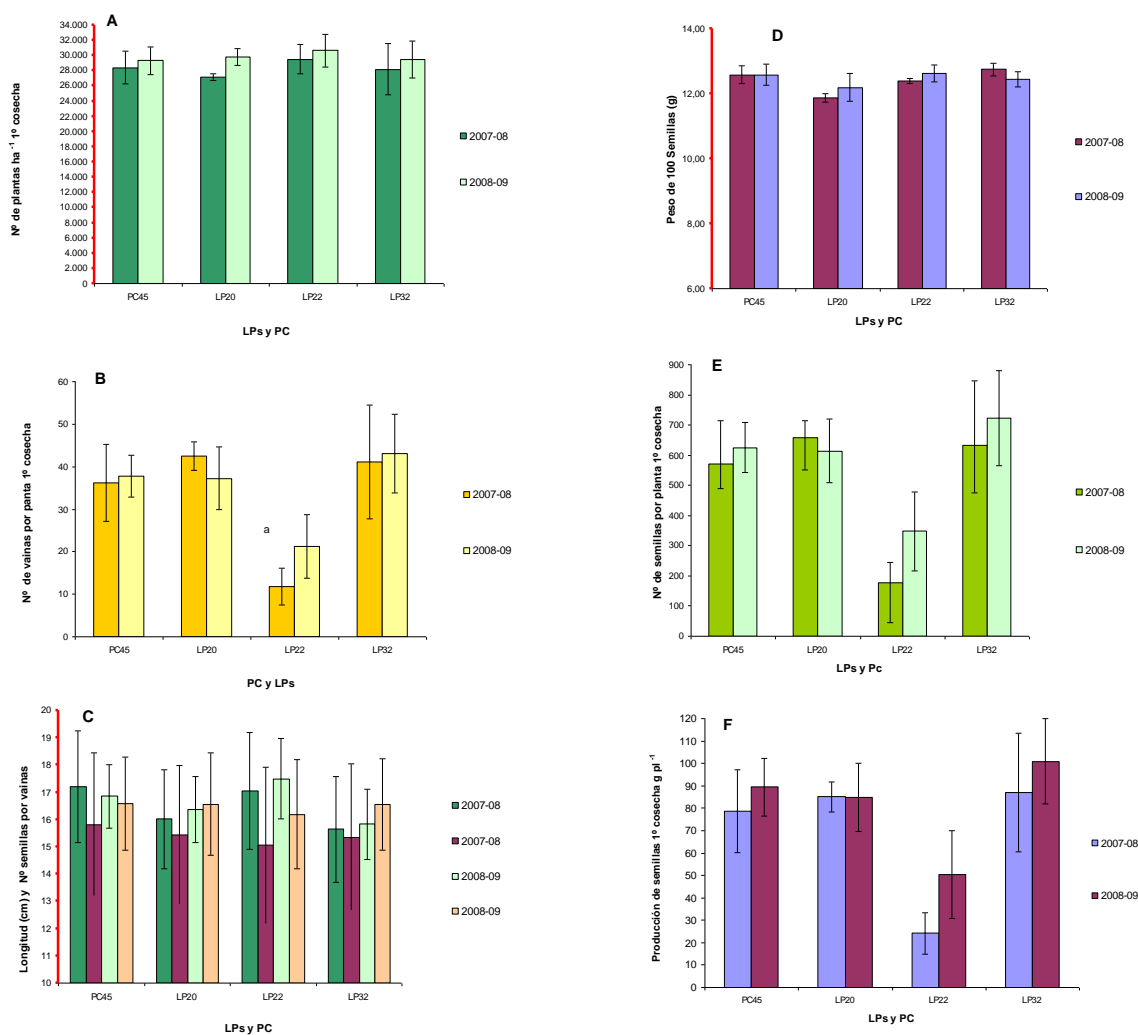


Figura 4.1: Componentes del rendimiento: A) número de plantas por hectárea, B) número de vainas por planta, C) longitud de vainas en centímetros y el número de semillas, D) la biomasa como: peso de 100 semillas en gramos, E) número de semillas por planta, F) producción de semillas por planta. Referidos a la primera cosecha durante las campañas 2007-08 y 2008-09 respectivamente.

La variable longitud de vainas no presentó diferencias significativas entre la PC45 y LP22 que alcanzaron 17,21 y 17,04 cm respectivamente. A su vez, estas se diferenciaron significativamente de la LP20 de 16,02 cm de longitud y muy significativamente de la LP32 de 15,64 cm de longitud. La LP32 presentó menor longitud de vaina y se diferenció del resto de las LPs y PC. Las diferencias de las longitudes de las vainas no influenciaron el número de semillas por vainas para este estudio, a diferencia de la alta correlación entre largo de vainas y número de semillas encontrado por Nakawuka and Adipala (1999).

Por otro lado, el largo de las vainas en este estudio tuvo longitudes similares y adecuadas para la comercialización a las encontradas por Oliveira et al. (2002), y longitudes iguales o superiores a las halladas por Pekşen and Artık (2004); consecuentemente, las LPs y PC podrían poseer longitudes de vainas ideales para la venta de chaucha en fresco.

El número de semillas por vainas no mostró diferencias significativas entre las LP32, LP20 y PC, pero si lo hicieron respecto de la LP22. Esta variable en las LPs y

PC no influyó significativamente el rendimiento de semillas dentro de los componentes del rendimiento del poroto caupí (Figura 4.1 C, Tabla 4.1 A y 4.2). Por otro lado, el número de semillas por vaina y por plantas tuvieron correlación negativa respecto del rendimiento hallado por Nakawuka and Adipala (1999).

El peso de las 100 semillas en las LPs y PC estudiadas no presentó diferencias significativas. Las dos líneas más productivas, LP32 y LP20, tuvieron los valores extremos entre 12,75 y 11,87 g respectivamente (Figura 4.1 D y Tabla 4.1 A). Esta variable no afectó el rendimiento de las semillas en el ensayo. Nakawuka and Adipala (1999) encontraron una correlación negativa entre la producción de semillas y el peso de las mismas, explicada por el aumento en el número de semillas y una disminución del peso de las semillas.

La LP32, LP20 y PC45 no se diferenciaron significativamente en el número de semillas  $pl^{-1}$ , pero sí lo hicieron de la LP22. La LP32 produjo 621,4 semillas  $pl^{-1}$ , mientras la LP22 sólo 262,9 semillas  $pl^{-1}$  (Figura 4.1 E). Por otro lado, las LP32, LP20 y PC45 se diferenciaron significativamente en la producción de semillas en la 1ª cosecha en  $g\ pl^{-1}$  respecto de la LP22. La LP32 y la LP22 produjeron 86,99 y 24,16  $g\ pl^{-1}$  respectivamente (Figura 4.1 F y Tabla 4.1 A) y están correlacionadas positivamente con el número de vainas  $pl^{-1}$ .

Los gramos de semillas por planta influenciaron la producción final del cultivo y con una densidad similar, estableciendo una correlación positiva entre el número de vainas por planta y el número de semillas por vainas cuando el peso de las semillas se mantiene constante. Nakawuka and Adipala (1999) encontraron una correlación positiva entre el número de semillas  $v^{-1}$  y la longitud de las vainas; y correlación negativa entre el peso de las semillas y el número de semillas. Por otro lado, Cardoso et al. (1997) y Cardoso e Ribeiro (2006) encontraron que el número de vainas y semillas por planta caen con aumentos excesivos en la densidad de plantas  $ha^{-1}$ ; estas determinaciones no afectaron a este ensayo y se explicó por la baja densidad del mismo.

Las LP32, LP20 y PC45 en la 1ª cosecha no se diferenciaron significativamente en la producción de semillas, pero sí se diferenciaron significativamente de la LP22 que tuvo una baja producción de semillas. Las LP32 y LP22 produjeron 2.411,4; y 700,37  $kg\ ha^{-1}$  respectivamente [Figura 4.2 (A y B) y Tabla 4.1 B]. Pekşen and Artık (2004) encontraron que la producción de semillas por planta y por hectárea estuvo significativa y positivamente relacionada con el número de vainas por planta, semillas por vainas, longitud de vainas, peso de 100 semillas y el índice de cosecha. De igual manera, las LP32, PC45 y LP20 no se diferenciaron significativamente en la 1ª cosecha en la producción de pericarpios; sí lo hicieron significativamente respecto de la LP22 [Figura 4.2 (B y C) y Tabla 4.1.B]. La LP32 logró 727,8  $kg\ ha^{-1}$  y la LP22 sólo alcanzó 277,8  $kg\ ha^{-1}$  pericarpios; esto se explicó, porque la producción total de pericarpios tiene correlación positiva con la producción de semillas, en concordancia con lo observado por Pekşen and Artık (2004).

La producción total de semillas al final de cada campaña estuvo conformada por dos ciclos de cosecha en la primera campaña y un ciclo de cosecha en la segunda campaña. En las dos campañas, las LP32, LP20 y PC45 no se diferenciaron significativamente; pero, sí lo hizo la LP22. Así, la LP32 alcanzó una producción de semillas de 2.726,4  $kg\ ha^{-1}$ , mientras que la LP22 sólo produjo 1074,3  $kg\ ha^{-1}$  (Figura 4.2 B y Tabla 4.1 B). Se observó la importancia de la 1ª cosecha para las LPs y PC (Figura 4.2 B y Tabla 4.1 B) en la conformación de la producción total de semillas.

La primera campaña las LPs y PC mostraron grandes diferencias de rendimientos entre la primera y segunda cosecha. Por otro lado, durante la segunda



Tabla 4.1: A Comportamiento de la población común y las líneas puras respecto de los componentes del rendimiento. Campañas 2007/08 y 2008/09. Plantas por hectárea (PLha), Número de vainas por planta (NVPL), Longitud de las vainas (LV), Número de semillas por vaina (NSV), Peso de las 100 semillas (P100S), Gramos de semillas por planta (gSPL), Números de semillas por planta (NSPL).

Variable	PLha	NVPL	LV	NSV	P100S	gSPL	NSPL
	Nº	Nº	cm	Nº	g	g	Nº
<b>Coef. Var. (%)</b>	6,99	27	2,8	3,37	5,63	26,81	27,56
<b>Campaña</b>	0,0194	NS	NS	<,0001	NS	NS	NS
<b>Bloque</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>Material</b>	NS	<,0001	<,0001	NS	NS	<,0001	<,0001
<b>Camp*MAT</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>45</b>	28416 ± 2132 a	36,16 ± 9,01 a	17,21 ± 2,06 a	15,82 ± 2,64 a	12,58 ± 0,27 a	78,78 ± 18,45 a	572,04 ± 142,10 a
<b>20</b>	27166 ± 457 a	42,58 ± 3,34 a	16,02 ± 1,82 b	15,44 ± 2,54 a	11,87 ± 0,14 a	85,07 ± 6,69 a	657,58 ± 57,68 a
<b>22</b>	29500 ± 1918 a	11,82 ± 4,38 b	17,04 ± 2,14 a	15,05 ± 2,86 b	12,39 ± 0,07 a	24,16 ± 9,26 b	178,24 ± 66,28 b
<b>32</b>	28166 ± 3354 a	41,03 ± 13,37 a	15,64 ± 1,95 c	15,35 ± 2,68 a	12,75 ± 0,20 a	86,99 ± 26,35 a	633,40 ± 214,29 a

\*Valores seguidos por la misma letra no difieren al 5%. (prueba multi y univariadas).

Tabla 4.1: B Comportamiento de la población común y las líneas puras respecto de los componentes del rendimiento. Campañas 2007/08 y 2008/09. Producción de semillas (PS), Producción de pericarpios (PP), Producción total de semillas (PTS), Producción total de pericarpios (PTP) y Producción total de semillas y pericarpios (PTSP).

Variable	PS 1º cos	PP 1º cos	PS 2º cos	PP 2º cos	PTS	PTP	PTSP
	kg ha-1	kg ha-1	kg ha-1	kg ha-1	kg ha-1	kg ha-1	kg ha-1
<b>Coef. Var. (%)</b>	24,36	22,03	40,88	43,81	18,25	20,46	20,46
<b>Campaña</b>	0,0231	NS	<,0001	<,0001	NS	NS	NS
<b>Bloque</b>	NS	NS	0,0373	0,0493	NS	NS	NS
<b>Material</b>	<,0001	<,0001	NS	NS	<,0001	<,0001	<,0001
<b>Camp*MAT</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>45</b>	2234,13 ± 472 a	680,91 ± 132 a	313,37 ± 118	100,5 ± 40	2528,16 ± 425 a	775,40 ± 140 a	3303,56 ± 557 a
<b>20</b>	2311,74 ± 195 a	641,00 ± 59 a	224,50 ± 58	74,75 ± 20	2536,20 ± 163 a	715,80 ± 384 a	3252,00 ± 49 a
<b>22</b>	700,37 ± 242 b	277,83 ± 63 b	375,66 ± 59	126,58 ± 23	1076,00 ± 230 b	404,40 ± 581 b	1480,50 ± 68 b
<b>32</b>	2411,40 ± 670,61 a	727,81 ± 166 a	315,00 ± 116	90,25 ± 35	2726,4 ± 644 a	818,10 ± 147 a	3544,5 ± 751 a

\*Valores seguidos por la misma letra no difieren al 5%. (pruebas multi y univariadas).

campaña, por condiciones de estrés hídrico, las LPs y PC alargaron su primer ciclo de floración y produjeron una sola cosecha ante esta situación (estrés hídrico), reacción importante a destacar. Explicando en parte las diferencias de rendimiento entre la primera y segunda cosecha de la primera campaña, la Figura 4.2 D muestra, el porcentaje de supervivencia de plantas entre ambos ciclos de floración.

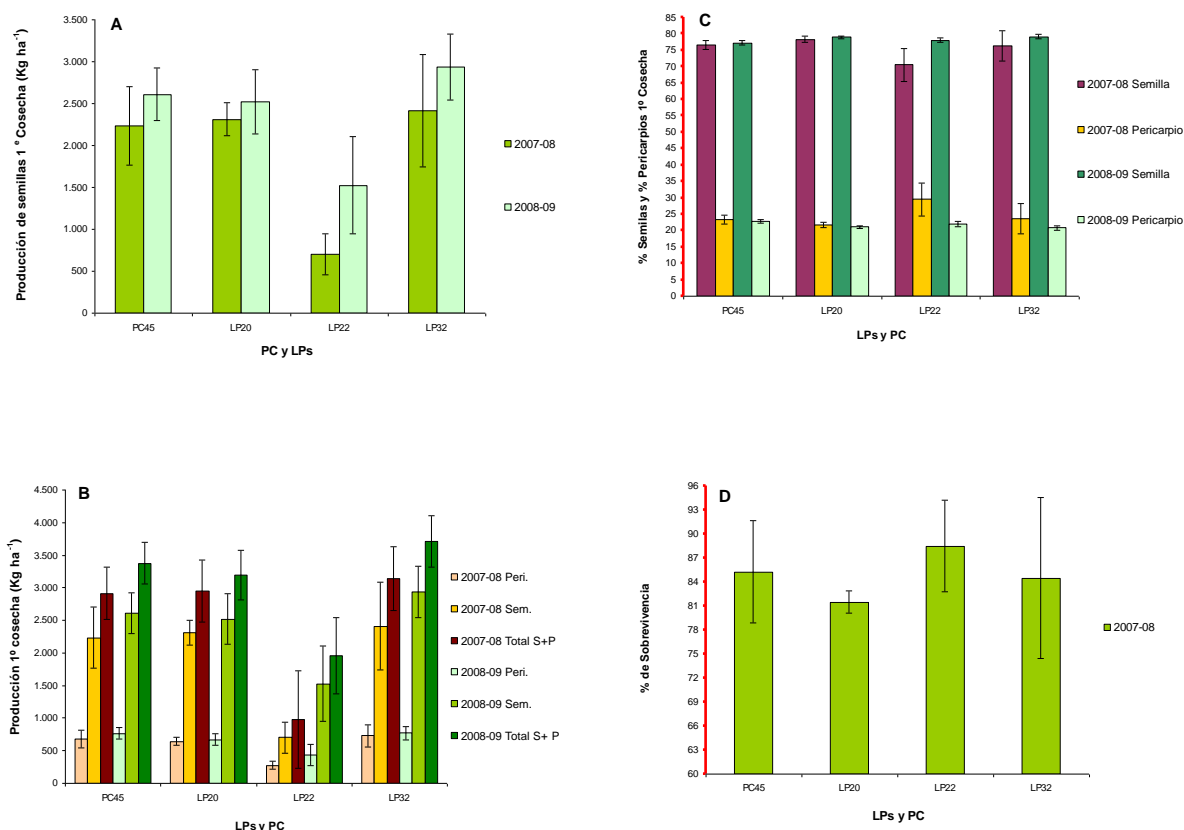


Figura 4.2: Componentes del rendimiento: A) producción de semillas en kg ha<sup>-1</sup>, B) producción de semillas, pericarpios y semillas+pericarpios, C) porcentajes de semillas y pericarpios. Referidos a la 1ª cosecha durante las campañas 2007-08 y 2008-09 respectivamente, y D) porcentaje de supervivencia de plantas al final primera cosecha, campaña 2007-08.

La producción total de pericarpios estuvo muy correlacionada a la producción de semillas, como se mencionó para la 1ª cosecha (Figura 4.2 B). En general, las LP32, LP20 y PC45 presentaron entre un 80 a 75 % de semillas y un 20 a 25 % de pericarpios durante la primera y segunda campaña, mientras que, la LP22, de menor producción de semillas, generó un 70% de semillas y un 30 % de pericarpios durante la campaña 2007-08.

Las producciones de semillas de caupí en secano indicada (Jover. Comunicación personal) fueron superadas ampliamente en ambas campañas. Asimismo, asumiendo un contenido de proteína bruta del 25% en grano, se habrían conseguido más de 500 kg ha<sup>-1</sup> de proteína bruta con diferencias entre 7 y 15 días de ciclo de las LPs. En el NEA, salvo la soja, cuyo destino no es el alimento humano directo, no hay otra producción agropecuaria que alcance este nivel de proteínas por hectárea, en un ciclo de 90 a 120 días, con prácticas básicas de manejo (Ávila-

Serrano et al., 2006; Duke 1983; Ehlers and Hall 1997; Evans and Fischer 1999; Jover 2006). También, se superaron las producciones encontradas en Brasil y otros países en secano y se alcanzaron rendimientos similares en condiciones de regadío en otros países (Ehlers and Hall, 1997; De Tar, 2009; Freire Filho et al., 2002, 2005; Oliveira et al., 2002; Pekşen y Artik, 2004). Los rendimientos encontrados y citados por Hall (2004) podrían alcanzarse con “cultivares” más determinados y erectos. Los rendimientos entre viejos y nuevos cultivares están relacionados a las mejoras genéticas, de manejo e insumos (Evans and Fischer, 1999), y serían los mismos si se deciden a cambiar los hábitos de crecimientos y portes en búsqueda de mejores rendimientos.

Determinar qué componentes del rendimiento fueron más importantes en la producción total de semillas fue el motivo para realizar una regresión lineal múltiple de la producción total de semillas sobre las variables de los componentes del rendimiento: longitud de las vainas, número de semillas por vaina, número de plantas por ha, peso seco de 100 semillas y número de vainas por planta. La PC45 resultó del promedio de dos muestras de la misma población (PC4 y PC5), y presentó la pérdida de una parcela (N = 19). La LP32 perdió la cosecha de una parcela (N = 9); la LP 20 y la LP22, en tanto, no presentaron pérdidas de parcelas (N = 10). En general, las LPs y PC alcanzaron un excelente coeficiente  $R^2$ , entre 95-97% y  $R^2$  ajustado entre 85-94%, que explicaron bien las respuestas obtenidas por las variables regresoras y que influyeron significativamente sobre la variable producción total de semillas (PTS).

Para las LP32, LP20 y PC45, la variable más representativa fue el número de vainas  $pl^{-1}$  (NVPL) con un p-valor de 0,0091; 0,0005 y 0,0005 respectivamente. Esta variable influyó considerablemente en las producciones totales de semillas. En la LP20 y la PC45, la biomasa expresada como peso seco,  $g\ 100\ s^{-1}$  (P100S), también influyó el rendimiento de las semillas. La variable número de  $pl\ ha^{-1}$  (PLha) afectó el rendimiento de semillas de la PC45, influenciando al final del ciclo (la supervivencia) la densidad de siembra. El número de  $pl\ ha^{-1}$  afectó el rendimiento, disminuyendo en el número de vainas  $ha^{-1}$ . En la LP22, de baja producción de semillas, ninguna de las variables regresoras se diferenciaron significativamente influenciando la PTS. Otros autores encontraron que algunas de las variables: largo de las vainas, peso de las 100 semillas y número de vainas por planta fueron de suma importancia en los componentes del rendimiento, porque tuvieron efectos directos y positivos sobre el rendimiento de semillas [Freire Filho et al., 2002; Pekşen and Artik 2004; Ávila-Serrano et al. (2005 y 2006)].

Tabla 4.2: Regresión lineal de las variables componentes de rendimiento sobre la producción total independientemente por LPs y PC para ambas campañas.

LPs y PC	Variable TTS						p-valor					
	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	ECMP	AIC	BIC	const	L vai <sup>-1</sup>	Sem vai <sup>-1</sup>	pl ha <sup>-1</sup>	g 100sem <sup>-1</sup>	vai pl <sup>-1</sup>
<b>45</b>	19	0,95	0,93	21.399,30	35,15	241,8	0,0004	0,0565	0,1228	0,0022	0,0140	<0,0001
<b>20</b>	10	0,97	0,94	29.168,65	118,37	120,5	0,0230	0,2864	0,7501	0,3805	0,0260	0,0005
<b>22</b>	10	0,95	0,88	236.507,20	135,46	137,6	0,7517	0,6072	0,6908	0,9012	0,3044	0,0906
<b>32</b>	9	0,95	0,85	727.919,92	125,16	126,5	0,1524	0,6918	0,3192	0,8093	0,2407	0,0091

\* Valores del p-valor <0,05 muestra diferencias significativas para la variable estudiada.

### La estabilidad en el rendimiento

El caupí es una planta adaptada a zonas áridas, y esta adaptación, está relacionada al hábito de crecimiento, su porte y su ciclo, que le permiten evadir situaciones de estrés [Ávila-Serrano et al. (2005, 2006); Ehlers and Hall, 1997)]. Ante situaciones de estrés hídrico, Babalola (1980) encontró abscisiones del 6 al 16% de pimpollo y del 37 al 55 % de las flores y frutos, que representan el principal factor limitante de los rendimientos. Además, este autor menciona la capacidad exploratoria de la raíz como una de las causas de adaptación a situaciones de estrés. Estos datos están en relación con la eficiencia reproductiva afectada por altas temperaturas en las fenofases reproductivas (floraciones) encontrada por Pereira de Carvalho et al. (2000); el autor determinó entre un 8,67 a 22,9% de eficiencia reproductiva en un ensayo de densidades del cultivo de caupí. En cultivos de soja, las variedades de hábito de crecimiento indeterminadas tienen mayor plasticidad (Andrade y Sadras, 2000), y le confieren mayor estabilidad en los rendimientos. En caupí con hábito de crecimiento indeterminado y con un porte más rastrero, después de una situación de estrés, siguen produciendo nuevas hojas y floraciones (Almeida Lopes et al., 2001; Anyia and Herzog 2004; Hall, 2004). Por otro lado, ante situaciones de estrés hídrico, hay una rápida reducción del tamaño de hojas y una reducción del tamaño de los estomas en hojas nuevas que emergen en situaciones de estrés y casos extremos de abscisión foliar (Anyia and Herzog 2004, Babalola 1980). La estabilidad es, en suma, un conjunto de características genéticas y de respuestas a factores extrínsecos que, sumadas le confieren al cultivo de caupí resistencia y estabilidad de rendimientos ante situaciones de estrés.

En la LP22 se observó lo expresado por Hall (2004), donde los rendimientos de semillas producidas no necesariamente son responsables del largo del ciclo. El autor señala la intervención de otros factores que produjeron mermas en los rendimientos: como la disposición de las vainas y la oportunidad de precipitación.

Para las LP32 y LP20, que son de hábito de crecimiento indeterminado y de porte más erecto, coincide con lo expresado por Ávila-Serrano, et al. (2006), Ehlers and Hall (1997), Freire Filho et al. (2005) donde, se pueden obtener mejores rendimientos con una mayor adaptación a las condiciones climáticas adversas (como las LP32 y LP20 respecto de la LP22). Las LP32 y LP20, que son de floración más temprana, logran escapar de las condiciones de sequía, permitiéndoles traslocar más eficientemente los fotoasimilados a las estructuras reproductivas. El caupí es uno de los cultivos más versátiles, es adaptable a diversas condiciones y de semillas altamente nutritivas (Ehlers and Hall, 1997). Siguiendo esta estructura, la Tabla 4.3 muestra las principales diferencias entre las LPs más y menos productivas.

Tabla 4.3: Diferencias fundamentales entre las LP32 (más productiva) y LP22 (menos productiva).

<b>Características</b>	<b>LP 32</b>	<b>LP 22</b>
NVPL	Superior	Inferior
NSPL	Superior	Inferior
Biomasa	Superior	Inferior
P100 semillas	Similar	Similar
Porcentaje de pericarpios	Inferior	Superior
Longitud de pericarpios	Inferior	Superior
Traslado de fotoasimilados a semillas	Superior	Inferior
IC	Superior 50%	Inferior al 27%

#### Variable del componente ecofisiológico del rendimiento

El índice de cosecha (IC) relaciona la producción de biomasa con el traslado de asimilados a los órganos cosecha (relacionados a la eficiencia reproductiva) Por otro lado, es un valor aproximado de productividad que explica, en parte, los rendimientos a través de la producción de biomasa y viceversa. El mayor índice de cosecha (IC) lo logró la LP32 con valores de 54 de IC, a diferencia de la LP22 que sólo alcanzó 22 de IC. Situación intermedia, con buena estabilidad de producción, presentó la PC45 con un IC de 47. Así, Pekşen and Artik (2004) encontraron una correlación positiva entre las variables, número de ramas por planta, número de vainas por planta, largo de vainas, peso seco de 100 semillas y el índice de cosecha. Las plantas para alcanzar su supervivencia a través de la formación de semillas, logran producir altos rendimiento de semillas utilizando una combinación de estrategias para superar etapas críticas y/o condiciones desfavorables. Así, algunos autores recomiendan cultivares de hábito de crecimiento determinados o indeterminados y portes más o menos trepadores adaptados a su ambiente, y cultivares de mayor traslado de asimilados, que permitan aumentar los rendimientos y el índice de cosecha (Andrade y Sadras, 2000; Babalola, 1980; Bastos et al., 2001; Cardoso et al., 2006; Freire Filho et al., 2005; Hall, 2004; Keating, et al., 2003; Kwapata and Hall, 1990b). Otra forma de expresar el traslado y el IC es la reasignación de procesos (hacia el fruto), que contribuye a la reducción de la biomasa hacia las semillas y contribuye en parte a la producción de semillas (Quebedeaux and Chollet, 1975).

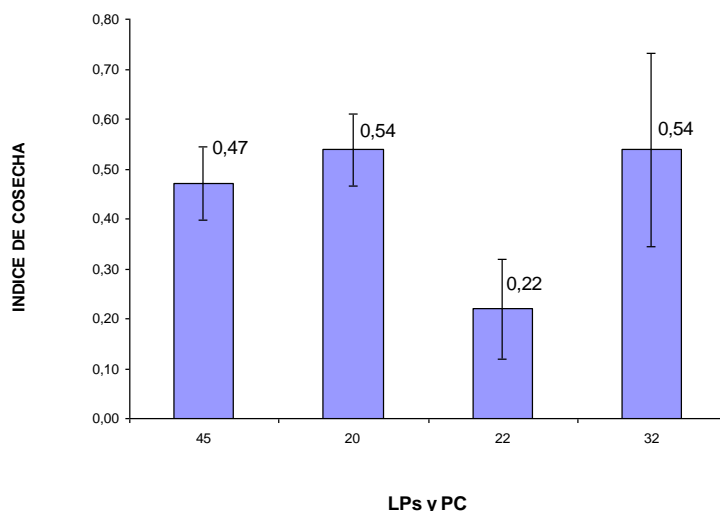


Figura 4.3: Muestra el IC de las LPs y PC promedio en ambas campañas.

La tabla 4.4 muestra la vinculación entre la producción de biomasa aérea total y el índice de cosecha, es decir, generaliza la capacidad de traslado de asimilados a los órganos cosecha (semillas) respecto de la biomasa producida. Es evidente que la LP32 es más eficiente en la producción de biomasa  $213,12 \text{ g pl}^{-1}$ ; también tiene mayor participación de asimilados hacia las semillas y estuvo influenciada por la densidad de plantas alcanzadas. La menor producción de biomasa corresponde a la LP22 con  $146,76 \text{ g pl}^{-1}$  y un menor traslado de asimilados que se reflejó en un menor índice de cosecha. La baja producción de semillas en la LP22 es resultado de la baja producción de biomasa y traslado de asimilados y no puede ser compensada por el mayor número de plantas a cosecha (Tabla 4.1 A). En orden de importancia, a la LP32 le siguen la LP20, la PC45 y, por último, la LP22. Estos datos trataron de explicar, de otra forma, las diferencias de producción de semillas existentes entre la LP32 promisorias y la LP20.

Tabla. 4.4: Producción de biomasa aérea total y traslado a órganos de cosecha.

LPs y PC	B. Aérea	IC	B. Semillas	B. Aérea	IC	B. Semillas
	$\text{g pl}^{-1}$		$\text{g pl}^{-1}$	$\text{kg ha}^{-1}$		$\text{kg pl}^{-1}$
45	161,69	0,47	76,14	5.209,26	0,47	2453,02
20	159,87	0,54	86,09	4.494,41	0,54	2420,3
22	146,76	0,22	32,2	4.975,90	0,22	1091,74
32	213,12	0,54	114,66	5.127,11	0,54	2758,36

## CONCLUSIONES

➤ En el cultivo de caupí, la eficiencia de la economía del carbono y del agua debe estar acompañada de una elevada producción de biomasa, mayor y temprana partición de asimilados hacia las estructuras reproductivas y eficiente fijación de las estructuras. Estas características fueron las responsables de la estabilidad en los rendimientos y los elevados índices de cosecha que maximizaron la producción de semillas, por lo que se destacó la LP32.

➤ Todas las LPs tuvieron como principal componente de rendimiento el número de vainas por planta. Marcando categóricamente en el cultivo de caupí la necesidad de buena densidad y distanciamientos entre plantas, que permita una rápida implantación y aseguren la mayor producción de vainas por planta desde el número de plantas por hectárea; motivos por lo que se destacó la LP32.

➤ Ante situaciones de estrés hídrico, que comprometen el primer ciclo de floración, que es el de mayor productividad, la biomasa generada y la capacidad de traslado de asimilados aseguran buenos rendimientos y la estabilidad de los mismos; razones por los que sobresalió la LP32.

➤ La LP32, de ciclo más corto, tiene una elevada producción de biomasa, mayor producción de vainas por planta, mayor capacidad de traslado de asimilados aun frente a situaciones de estrés hídrico, lo que la transforma en una línea ecofisiológicamente muy apta para la región de Chaco-Formosa.

## CAPÍTULO 5.

### SÍNTESIS Y CONCLUSIONES GENERALES.

Este ensayo se realizó con el objetivo de seleccionar una línea de caupí que tenga mejor respuesta ecofisiológica y agronómica para la región y que, posteriormente, pueda ser inscrita como variedad ante la entidad correspondiente.

En la población tradicional de poroto colorado caupí hay una mezcla de plantas de hábito de crecimiento indeterminado y porte semi-erecto, con distintos ciclos y con variaciones morfológicas, fisiológicas y de comportamiento, como resultado de la polinización por insectos. De esta población, en la EEA Colonia Benítez del INTA se seleccionaron líneas por cuatro autofecundaciones controladas utilizando una modificación del método de descendencia de semilla única hasta su purificación en una quinta o sexta generación. De allí, se obtuvieron las líneas puras para su evaluación, con el fin de determinar cuál o cuáles son más aptas para su inscripción como variedad.

La Figura 5.1 muestra diferencias en un análisis comparativo entre dos líneas de caupí de carácter contrastante entre LP32 y LP22, con el fin de resumir las causas que contribuyeron categóricamente en las diferencias en la determinación de la productividad y estabilidad de los rendimientos.

De las evaluaciones fenológicas, se destacó la LP32 por su emergencia más rápida y rápido establecimiento antes. En la LP32 el crecimiento vegetativo fue más rápido, con mayor número de nudos y mayor número de ramificaciones. La etapa de crecimiento reproductivo duró menos, y al final del ciclo tuvo menos altura y menos números de nudos. Por esta razón, la LP32 de hábito de crecimiento indeterminado y porte semi-erecto terminó su ciclo con un porte más erecto respecto de la LP22.

La LP32 presentó menores exigencias térmicas durante las fenofases vegetativas y reproductivas, lo que explica su mayor precocidad. Por su parte, la LP22 siempre estuvo más retrasada en el crecimiento vegetativo; y por ello se prolongó más el período de crecimiento reproductivo. Por este motivo, la LP22 terminó su ciclo con mayor altura y mayor número de nudos, y además su ciclo duró más porque las fenofases vegetativas y reproductivas tuvieron mayores requerimientos térmicos.

Las respuestas fisiológicas de la economía del carbono y del agua en las LP32 y LP22, en general, fueron similares en las fenofases vegetativas y reproductivas. En la fenofase vegetativa, la LP32 tuvo menor conductancia estomática, transpiró menos y tuvo una menor eficiencia del uso del agua. Durante el crecimiento vegetativo, la LP32 tuvo mayor tasa de crecimiento del cultivo hasta  $R_1$ , que explica la temprana formación del área foliar y el mayor índice de área foliar, lo que le confirió una mayor interceptación de la radiación, aunque la tasa de asimilación neta fue similar en ambas LPs. Este mayor crecimiento vegetativo de la LP32 hizo que alcance la fenofase  $R_1$  a los 41 DDS, comportándose como la más precoz.

Durante el crecimiento reproductivo, la LP32 alcanzó mayor índice de área foliar (3,6) con mayor número de hojas a los 65 DDS. También el mayor crecimiento vegetativo le permitió producir mayor biomasa; y de esta forma, pudo anticipar la partición de asimilados a pedúnculos, flores, vainas y semillas. Así, a los 80 DDS la LP32 fijó 92,3 g m<sup>-2</sup>. Mientras la LP22, más retrasada, sólo fijó 26,48 g m<sup>-2</sup> a los 80 DDS.



Esta capacidad de partición asimilados a las estructuras reproductivas de la LP32 se debería a una menor tasa de crecimiento del cultivo durante la etapa reproductiva y por una menor área foliar efectiva debido al aumento de la partición, que explicaría el menor cociente de área foliar y menor intercepción de la radiación por pérdidas de hojas y área foliar. Este comportamiento de la LP32 durante la etapa reproductiva permitió fijar muchas vainas y semillas, por lo que alcanzó un alto índice de cosecha. Por otro lado, la LP22 presentó mayor crecimiento vegetativo, y que prosiguió durante el crecimiento reproductivo. Por este motivo, vegetó más y mostró mayores tasas de crecimiento del cultivo, mayor área foliar efectiva, mayor cociente de área foliar, mayor intercepción de la radiación a los 80 DDS, mayor duración de su ciclo, y alcanzó un menor índice de cosecha.

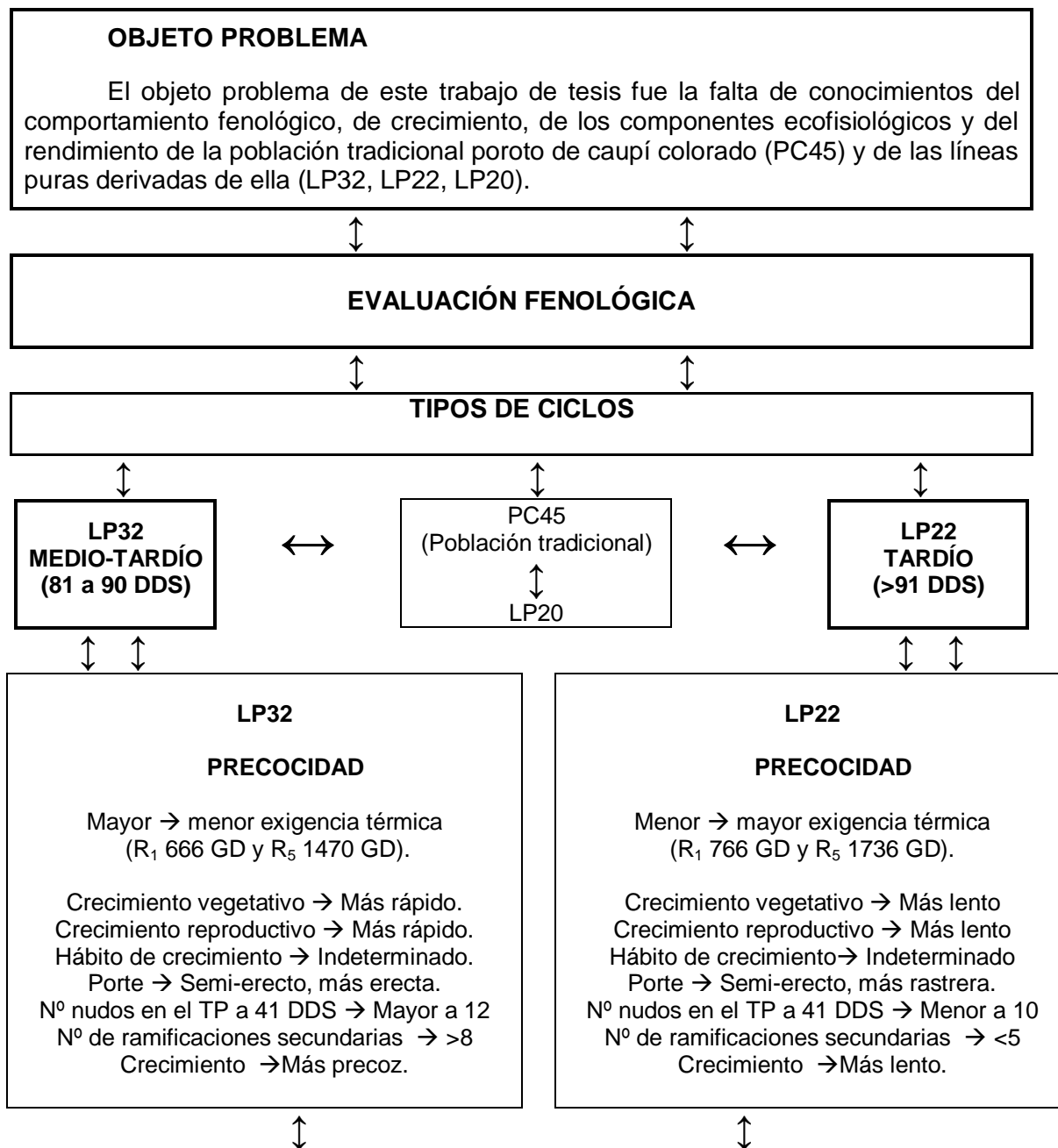
La LP32 fue más eficiente que la LP22 al fijar los componentes del rendimiento, los cuales empezaron a definirse con la densidad de plantas por hectárea. En este caso la implantación fue mejor, aunque el número de plantas por hectáreas a cosecha entre la LP32 y la LP22 no presentó diferencias significativas. La LP32 fijó más de 41 vainas por planta, por lo que esta variable marcó categóricamente la diferencia de rendimiento. Además, la LP32 no se diferenció significativamente de la LP22 en el peso de las 100 semillas y tuvo menor longitud de vainas, variable que no influyó en el número de semillas por vainas, motivos por los que la LP32 tuvo mayor número de semillas por planta, mayor peso de semillas por planta y mayor producción de semillas (más de  $2.300 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en la primera cosecha. Así, la LP32 tuvo menor producción de pericarpios (sólo un 25%), fue más eficiente fijando biomasa en semillas y terminó su ciclo con un mayor índice de cosecha (54 IC). Por otro lado, LP22, de similar número de plantas a cosecha, tuvo menor eficiencia reproductiva, fijó menos vainas, las mismas fueron más largas, pero no tuvieron más semillas y las semillas no fueron más pesadas. Todos estos motivos hicieron que la LP22 produzca menos semillas (menos de  $750 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en la primera cosecha, y produjo más pericarpios (más del 30%). Como fue menos eficiente en la partición de asimilados a las estructuras reproductivas, tuvo menor índice de cosecha (22 IC).

La estabilidad del rendimiento la podemos definir como todas las cualidades de la LP32 que sumadas conllevan a que esta línea sea la de mayor productividad: la LP32 tuvo menor duración de etapas vegetativas y reproductivas, debido a la menor duración de sus fenofases, por menores requerimientos térmicos por fenofase. Además, la LP32 a nivel de hoja fue eficiente en la economía del carbono, del agua y en el traslado de asimilados; en la formación de estructuras vegetativas, anticipando acumulación de biomasa, la partición de asimilados a estructuras reproductivas, y fue más eficiente en la fijación de dichas estructuras. Por esto, la LP32 tuvo ciclo más corto, se destacó al concentrar más el ciclo de floración, la formación de vainas y la madurez de las vainas; que con los pedúnculos, las expuso más a la insolación, acelerando la maduración y evitando pérdidas de vainas dentro del dosel por elevada humedad relativa. Acompañando la productividad de la LP32, se realizó un buen manejo del cultivo y de cosecha. Esta última, la cosecha se realizó en estado óptimo de madurez de vainas y a horas convenientes para evitar pérdidas por dehiscencia.

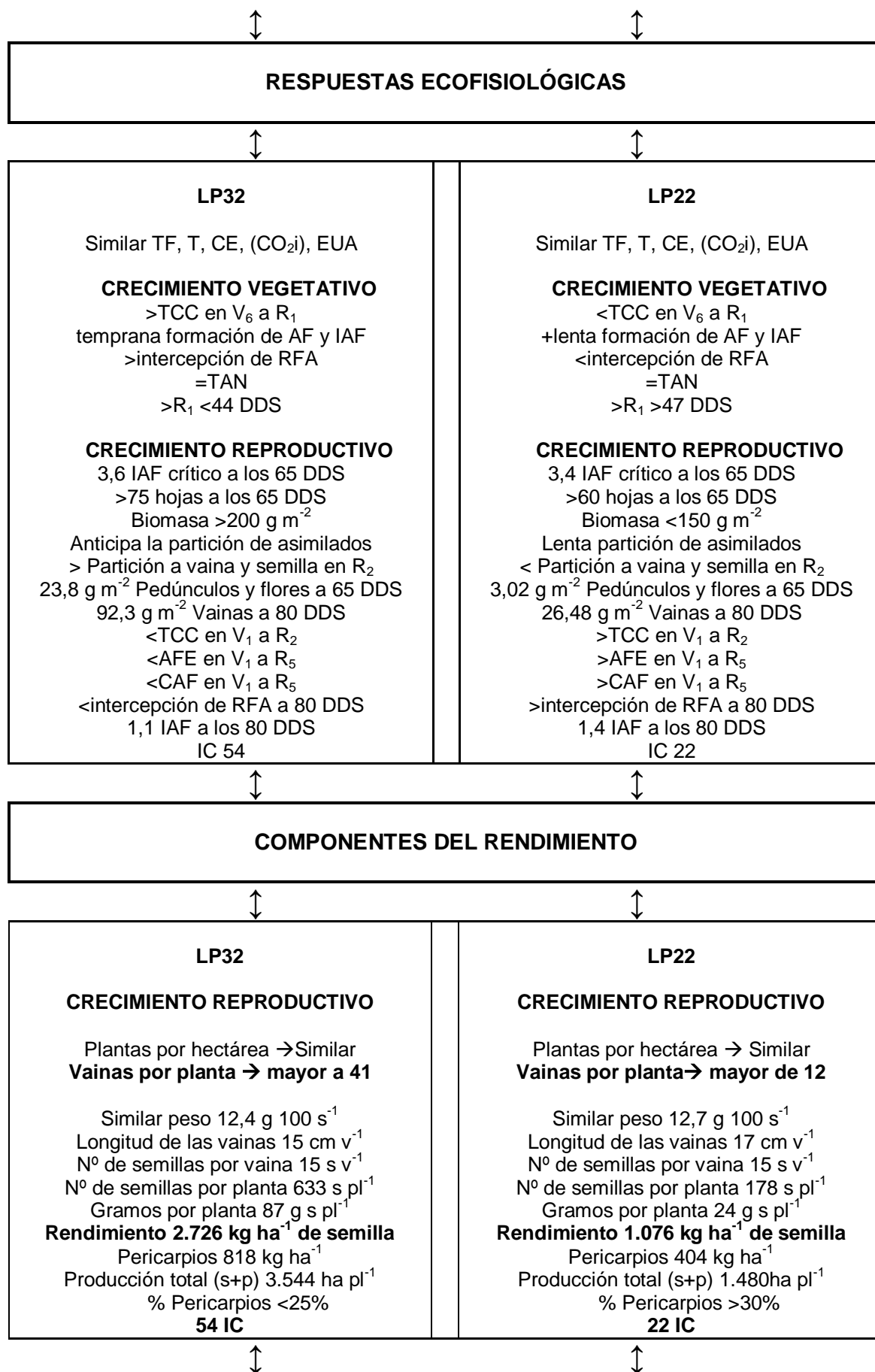
Las cualidades superiores de la LP32, que la diferenciaron ampliamente del resto de las LPs y PC, la convierten en una línea muy productiva y estable. La LP32 es un línea de características ecofisiológicas y agronómicas adecuadas para ser inscrita en el registro de cultivares del INASE como una nueva variedad para la región.

## SÍNTESIS GENERAL

En esta síntesis general no se incluyeron las LP20 y PC45 porque son intermedias (como escala de grises). Por tal motivo, no resultan contrastantes, para poder identificar claramente las cualidades y criterios, por los cuales se seleccionó la LP32 para el proceso de inscripción.



(La figura continúa)



(La figura continúa)

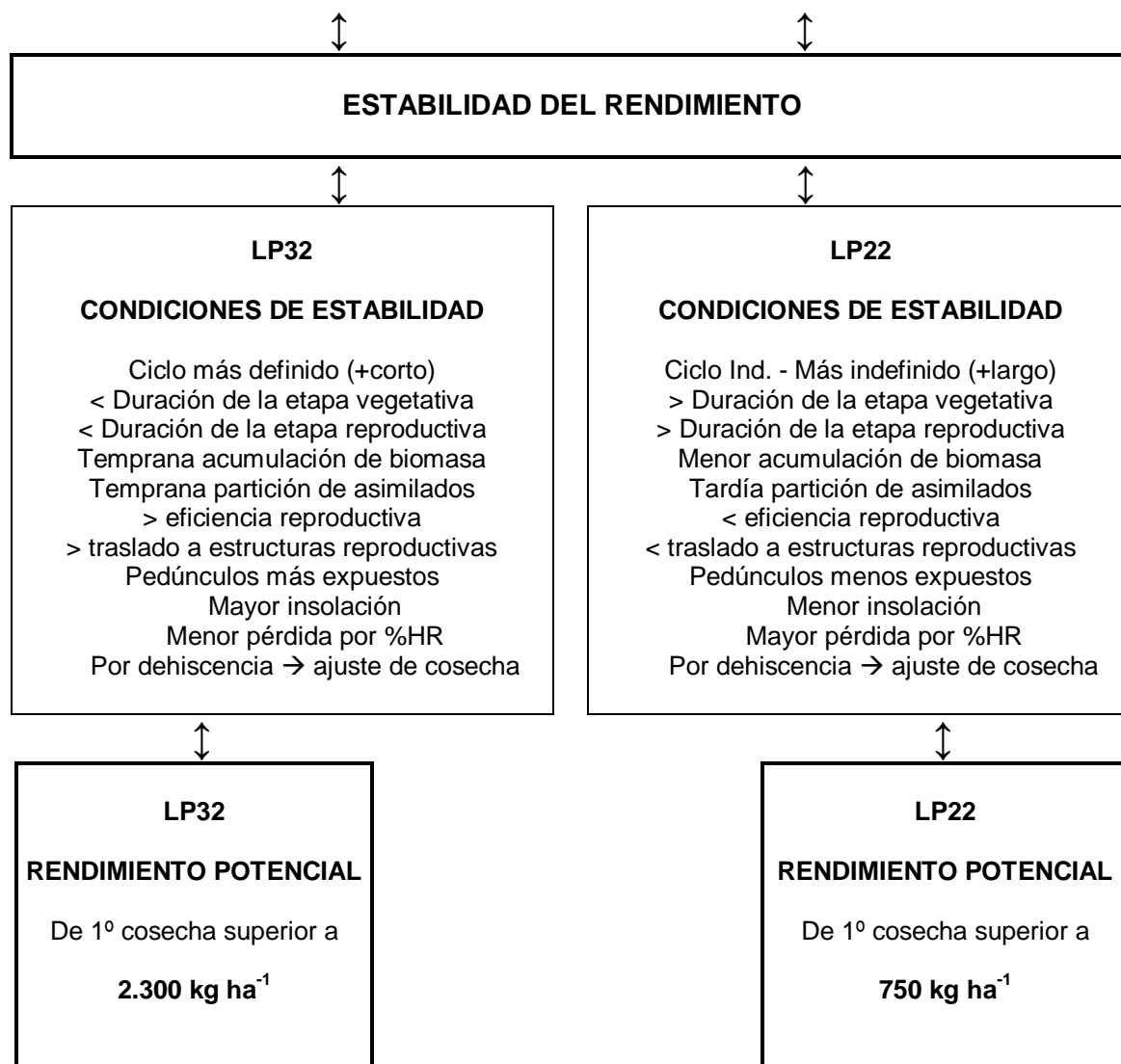


Figura 5.1: Contraste de diferencias entre la LP32 más erecta y la LP22 más rastrera.

## CAPÍTULO 6.

### BIBLIOGRAFÍA.

Abbate, P.E., J.L. Dardanelli, M.G. Cantarero, M. Maturano, R.J.M. Melchiori, and E.E. Suero. 2004. Climatic and water availability effects on water-use efficiency in wheat. *Crop Sci.* 44: 474-483.

Aguirrezábal, L.A.N. y F.H. Andrade. 1998. Calidad de productos agrícolas. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. Unidad Integrada Balcarce. ISBN 987-521-001-3. 315pp.

Almeida Lopes, A.C., F.R. Freire Filho, R.B.Q. da Silva, F.L. Campos, e M. de M. Rocha. 2001. Variabilidade e correlações entre caracteres agronômicos em caupi (*Vigna unguiculata*). *Pesq. agropec. bras.*, Brasília. 36 (3): 515-520.

Andrade, F.H. y V.O. Sadras, 2000. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Unidad Integrada INTA Balcarce, Fac. Ciencias Agrarias UNMP, Universidad de Buenos Aires, INTA Pergamino, Mycogen S.A. 1º Ed. ISBN.:987-521-016-1. 443pp.

Anyia, A.O., and H. Herzog. 2004. Water-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. *European Journal of Agronomy.* 20: 327-339.

Ávila-Serrano, N.; V. Murillo-Amador; A. Palacios-Espinosa; R. Troyo-Diéquez; J.L.García-Hernández; J.Á. Larrinaga-Mayoral; M. Mellado-Bosque. 2005. Caracterización y obtención de funciones para producción de biomasa en cinco cultivares de frijol yorimón: I Método destructivo. *Téc. Pecu Méx.* 43 (3):449-458.

Ávila-Serrano, N.; V. Murillo-Amador; A. Palacios-Espinosa; R. Troyo-Diéquez; J.L.García-Hernández; J.Á. Larrinaga-Mayoral; M. Mellado-Bosque. 2006. Caracterización y obtención de funciones para producción de biomasa en cinco cultivares de frijol yorimón: II Método no destructivo. *Téc. Pecu Méx.* 44 (1):119-128.

Babalola, O. 1980. Water relations of three cowpea cultivars (*Vigna unguiculata*, L.). *Plant and Soil*, 56: 59-69.

Baigorri, H.E.J. 2002. Cómo se desarrolla una planta de soja. Universidad de Ciencia y Tecnología del Estado de Iowa. Servicio de extensión, Ames, Iowa. Ed. en español INFOS Cono Sur. EEA INTA Marco Juarez. Reporte especial 53: 1-20.

Bastos de Andrade, M.J., A. Ramalho de Moraes, I.R. Teixeira, e M. Vieira da Silva. 2001. Avaliação de sistemas de consórcio de feijão com milho-pipoca. *Ciênc. agrotec.*, Lavras. 25 (2): 242-250.

Böhm, W. 1979. Methods of studying root systems. ISBN 3-540-09329-X Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 187pp.

Botello, M.J., 2005. "Ecología" y "Dinámica de Poblaciones". En: Zoología agrícola ecológica, agricultura y agroganadería orgánicas. Corrientes. 1º Ed. ISBN N° 987-43-9449-8. 468pp.

Cámeron, A.G. 2003. Forrage and Grain cowpeas. Nº 304. E34. November. Agdex Nº 125/10. ISSN Nº 0157-8243. Disponible en: <http://www.nt.gov.au/d/Content/File/p/Pasture/304.pdf>.

Campos, F.L., F.R. Freire Filho, A.C. de A. Lopes, V.Q. Ribeiro, R.Q.B. Silva, e M. de M. Rocha. 2000. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.): uma proposta de escala de desenvolvimento. Revista Científica Rural. 5 (2) 110-116.

Cardoso, M.J., F. de Brito Melo, e A.S. de Andrade, Jr. 1997. Densidade de plantas de caupi em regime irrigado. Pesq. agropec. bras., Brasília. 32 (4): 399-405.

Cardoso, M. J. e V. Q. Ribeiro. 2006. Desempenho agrônômico do feijão-caupí, cv. Rouxinol, em fungao de espacamentos entre linhas e densidades de plantas sob regime de sequeiro. Rev. Cien. Agron. 37 (1): 102-105.

Castellanos, C., J.A. Barrera, M.S. Hernández, L.M. Melgarejo, M. Carrillo, L. Rodríguez y O. Martínez. 2009. Efecto de la densidad de plantación sobre crecimiento, producción y calidad en cinco accesiones de ají (*Capsicum* spp.) cultivadas en la Amazonia occidental colombiana. Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas. 3 (1): 95-109.

Cavasassi, J.L., 2005. BAR-RAD - MANUAL DE USO. Bolivia 1340 (C1416ANF) Capital Federal. Disponible en: <http://www.cavadevices.com/espanol/files/CEPTOMETRO100.pdf>.

Craufurd, P.Q., E.H. Roberts, R.H. Ellis, and R.J. Summerfield. 1996. A stability analysis of time to flowering as a screen for responsiveness to temperature and photoperiod in cowpea (*Vigna unguiculata*). Euphytica. 88 (1): 77-84.

Craufurd P.Q., M. Subedi, and R.J. Summerfield. 1997. Leaf Appearance in Cowpea: Effects of Temperature and Photoperiod. Crop Sci. 37:167-171.

Dardanelli, J. 2007. Eficiencia del uso del agua. Curso de Ecofisiología. Maestría en Producción Vegetal. FCA UNNE. Corrientes. Guía. 31pp.

DeTar, W.R. 2009. Crop coefficients and water use for cowpea in the San Joaquin Valley of California. Agricultural Water Management. 96: 53-66.

Duke, J.A. 1983. *Vigna unguiculata*. Handbook of Energy Crops (Unpublished). Purdue University. Center for New Crops & Plants Products. Disponible en: [http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke\\_energy/Vigna\\_unguiculata.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Vigna_unguiculata.html).

Ehlers, J. D and A.E. Hall. 1997. Cowpea (*Vigna unguiculata* L.Walp.) Field Crops Research. 53: 187-204.

Ellis, R.H., P.Q.Craufurd, R.J. Summerfield, E.H. Roberts. 1995. Linear Relations between Carbon Dioxide Concentration and Rate of Development Towards flowering in Sorghum, Cowpea and Soybean. Annals of Botany. 75: 193-198.

EMBRAPA, 2008. O Agronegócio do Algodão no Brasil. 2 ed. ISBN 978-85-7383-424-6 v1. ISBN 978-85-7383-425-3. 2: 1309pp.

Evans, L.T., 1983. Fisiología de los cultivos. Crop Physiology, 1975, Cambridge University Press, Londres, Inglaterra. 1º Ed. Editorial Hemisferio Sur S.A. ISBN 950-504-262-0. 423pp.

Evans, LT, and R.A. Fischer. 1999. Yield potential. Its definition, measurement, and significance. Symposium - 1998 ASA Meeting - Baltimore. Crop Science. 39: 1544-1551.

Fernandes Távora, F.J.A., S. Lopes Nogueira, e J.L. Nunes de Pinho. 2001. Arranjo e população de plantas em cultivares de feijão-de-corda com diferentes características de copa. Ciên. Agron., Fortaleza. 32 (1/2): 69-77.

Freire Filho, F.R., J.A. de Araújo Lima, e V. Queiroz Ribeiro. 2005. Feijão-caupi: Avanços tecnológicos. Brasília DF. Embrapa Informação Tecnológica. ISBN 85-7383-283-5. 519pp.

Freire Filho, F.R.; V. Queiróz Ribeiro; P.D. Barreto; C.A. Fernandes Santos. 2002. Melhoramento genético de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) na região do Nordeste. Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro. Pp: 30. Disponible en: <http://www.cpsat.embrapa.br/catalogo/livrorg/caupinordeste.pdf>.

Freire Filho, F.R.; V.Q. Ribeiro; M.M. Rocha; A.C. Almeida Lopes. 2002. Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de linhagens de caupi de porte enramador. Revista Ceres, Viçosa, MG. 49 (234): 383-393.

Gutiérrez, W.; C. Medrano; M. Materan; Y. Villalobos; D. Esparza; J. Báez y B. Medina. 2001. Evaluación del rendimiento y nodulación del frijol *Vigna unguiculata* (L.) Walp bajo dos sistemas de labranza en las condiciones agroecológicas de la planicie de Maracaibo, Venezuela. Rev. Fac. Agron. LUZ. 18: 237-246.

Hall, A. E. 2004. Breeding for adaptation to drought and heat in cowpea. Europ. J. Agronomy 21: 447-454.

Hall, A. E. 2004. Comparative Ecophysiology of Cowpea, Common Bean, and Peanut. University of California, Riverside. Riverside, California, U.S.A. In: <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/PBVyAP/File/A3/PIARFON%20PCHsh/clima.pdf>.

IBPGR (International Board for Plant Genetic Resources). 1983. Descriptors for cowpea. Rome, IBPGR. pp: 29. In: <http://www.ipgri.cgiar.org/Publications/pdf/377.pdf>. - 06/04/2005

Idinoba M.E., A.P. Idinoba, A.S. Gbadegesin 2002. Radiation interception and its efficiency for dry matter production in three crop species in the transitional humid zone of Nigeria. Agronomie 22: 273-28.

INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) 2002. Censo Nacional Agropecuario (CNA'02). Disponible en: <http://www.indec.mecon.gov.ar/>.

InfoStat (2004). InfoStat, versión 2004. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición, Editorial Brujas, Argentina. [http://web.catie.ac.cr/intranet/Posgrado/Herramientas\\_Estadisticas/Manual-Infostat.PDF](http://web.catie.ac.cr/intranet/Posgrado/Herramientas_Estadisticas/Manual-Infostat.PDF).

INTA. 2006. Proyecto Específico: Mejoramiento de la Productividad de Porotos Vignas. En: Desarrollo de Tecnología para Pequeños Productores de Chaco y Formosa. Proyecto Regional CHF011. EEA El Colorado del INTA. Unidad sede 414000. 37pp.

INTA. 2009. Proyecto regional de desarrollo de pequeños productores formoseños. CHAFOR 410142. Unidad sede 414000.EEA El Colorado Formosa del INTA. pdf. 22pp.

Ishiyaku, M.F., and B.B. Singh. 2003. Genetics of juvenile phase in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. WFL Publisher. Science and Technology. Food, Agriculture & Environment. 1 (3&4): 133-136.

Ishiyaku, M.F., B.B. Singh, and P.Q. Craufurd. 2005. Inheritance of time to flowering in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Euphytica*, 142: 291-300.

Jover, P. L. 2006. INTA. Poroto Caupí. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/benitez/info/documentos/horti/art/horti10.htm>.

Keating, B.A., P.S. Carberry, G.L. Hammer, M.E. Probert, M.J. Robertson, D. Holzworth, N.I. Huth, J.N.G. Hargreaves, H. Meinke, Z. Hochman, G. McLean, K. Verburg, V. Snow, J.P. Dimes, M. Silburn, E. Wang, S. Brown, K.L. Bristow, S. Asseng, S. Chapman, R.L. McCown, D.M. Freebairn, C.J. Smith. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *Europ. J. Agronomy* 18 (2003): 267-288.

Kwapata, M.B., and A.E. Hall. 1990. Response of contrasting vegetable-cowpea cultivars to plant density and harvesting of young green pods II. Dry-matter production and photosynthesis. *Field Crops Res.*, 24: 11-21.

Kwapata, M.B., and A.E. Hall. 1990. Response of contrasting vegetable-cowpea cultivars to plant density and harvesting of young green semidwarf compact cultivars of cowpea conferred a pod. I. Pod production. *Field Crops Res.*, 24: 1-10.

Ledesma, L.L.; S.A. Barbona; M.R. Melgratti de Inalbon; J.M.; Sayago; L.A. Margosa; F.J. Rodriguez; O. Enriquez; y L.M. de Fantin. 1973. Introducción al conocimiento de los suelos del Chaco. Convenio INTA-MAG. 158pp.

Ledesma L.L. 1995. Serie Resistencia. En: Carta de Suelos de la Estación Experimental Agropecuaria Colonia Benítez, Chaco. INTA, EEA Sáenz Peña (Chaco). 5-8p.

Loomis, R.S., and D.J. Connor. 2002. *Ecología de Cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios*. Ed. Mundi-Prensa España. Isbn:84-8476-080-4. 591pp.

Lopez, F.B.; T.L. Setter and C.R. McDavid. 1987. Carbon dioxide and light responses of photosynthesis in cowpea and pigeonpea during water deficit and recovery. *Plant Physiol.* 85: 990-995.

Lush, W.M. and L.T. Evans. 1980. The seed coats of cowpeas and other grain legumes: Structure in relation to function. 3: 267-286.

Magloire, N. 2005. The genetic, morphological and physiological evaluation of african cowpea genotypes. Thesis presented in accordance with the requirements for the degree Magister Scientiae Agriculturae in the Faculty of Natural and Agricultural Sciences, Department of Plant Sciences (Plant Breeding) at the University of the Free State.

Martínez-Zapater, J.M. y J. Salinas. 1993. La transición floral. En: Azcon-Bieto, J. y M. Talón 1993. *Fisiología y Bioquímica Vegetal*. McGraw-Hill-Intramericana de España. ISBN: 84-486-0033-9. 435-447p.



Monteith, J.L., 1975. Climate and the efficiency for crop production in Britain. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 281: 277-294.

Nakawuka, C.K. and E. Adipala. 1999. A path coefficient analysis of some yield component interactions in cowpea. ISSN: 1021-9730. *African Crop Science Journal.* 7 (4): 327-331.

Negri, V., N. Tosti, M. Falcinelli and F. Veronesi. 2000. Characterizations of thirteen cowpea landraces from Umbria (Italy). Strategy for their conservation and promotion. *Genetic Resources and Crop Evolution* 47: 141–146.

Nunes Pinheiro, J., J.H. R. dos Santos, F. Valter Vieira, e F.I. Oliveira Melo. 2004. Nível adequado para controle do manhoso, *Chalcodermus bimaculatus* Fiedler, 1936 (Coleoptera: Curculionidae) na cultura do caupí. *Revista Ciência Agronômica.* 35: 206-213.

Núñez, S.B. y J.A. Argüello. 1993. Fisiología de la bulbificación en ajo (*Allium sativum* L.) C.V. Rosado Paraguayo. Magister Scientiae en Tecnología de Semillas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. 81pp.

Oliveira, A.P.; J. Tavares Sobrinho; J.T. Nascimento; A.U. Alves, I.C. Albuquerque; G.B. Bruno. 2002. Avaliação de linhagens e cultivares de feijão-caupi, em Areia, PB. *Horticultura Brasileira, Brasília.* 20 (2): 180-182.

Pandey, R.K., W.A.T. Herrera, A.N. Villegas, et al. 1984. Drought response of grain legumes under irrigation gradient. III. Plant growth. *Agronomy Journal,* 76 (4): 557-560.

Park S. Nobel. 2005. *Physicochemical and Environmental Plant Physiology, 3<sup>rd</sup> ed.* Academic Press/Elsevier. ISBN 0-12-520026-9. Chapter 8 is "Leaves and Fluxes," and Chapter 9 is "Plants and Fluxes".

Pate, J.S.; M.B. Peoples and C.A. Atkins. 1983. Post-Anthesis Economy of Carbon in a Cultivar of Cowpea<sup>1</sup>. *Journal of Experimental Botany.* 34 (142): 544-56.

Pate, J.S.; M.B. Peoples; A.J.E. van Bel; J. Kuo, and C.A. Atkins. 1985. Diurnal water balance of the cowpea fruit. *Plant Physiol.* 77: 148-156.

Pekşen, E. and C. Artik, 2004. Comparison of Some Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) Genotypes from Turkey for Seed Yield and Yield Related Characters. *Journal of Agronomy.* 3 (2): 137-140.

Peoples, M.B.; J.S. Pate; C.A. Atkins and D.R. Murray. 1985. Economy of water, carbon, and nitrogen in the developing cowpea fruit. *Plant Physiol.* 77: 142-147.

Pereira de Carvalho, W.; F. J. A. Fernandes Távora; J.L. Nunes de Pino, J. Bosco Pitombeira, 2000. Densidade de plantío na cultura do feijao-de-corda irrigada. I. Area foliar, interceptacao da luz e características de florescimento. *Rev. Cien. Agron.,* 31 (1/2):11-19.

Pereira, R. de C.A.; J.T. de S. Marinho e J. G. da Costa. 1997. Caracterização botânica, morfológica e agrônômica de cultivares de caupi coletadas no estado do Acre. Rio Branco: Embrapa-CPAF/AC. *Boletim de Pesquisa* 17: 12p.

Prause, J., 2003. Área Clima. Disponible en: <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/PBVyAP/File/A3/PIARFON%20PCHsh/clima.pdf>. 24-10-2009.

Quebedeaux, B. and R. Chollet. 1975. Growth and development of soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) pods. CO<sub>2</sub> exchange and enzyme studies. *Plant Physiol.* 55: 745-748.

Ritchie, S.W.; J.J. Hanway and G.O. Benson. 2003. Cómo se desarrolla una planta de soja. Reporte Especial N° 53. Universidad de Ciencia y Tecnología del Estado de Iowa. Servicio Cooperativo de Extensión, Ames, Iowa. Ed. marzo 2003 en español (con el permiso de Iowa State University). INPOFOS Cono Sur. 20p.

Roldán M. y J.M. Martínez Zapater. 2000. Floración y su control ambiental. En: Azcon-Bieto, J. y M. Talón. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw-Hill-Intramericana de España. 1º Ed. ISBN: 84-486-0258-7. 403-418p.

Rodríguez, L.; G. Corchuelo y C.E. Núñez. 2004. Densidad de población y su efecto sobre el rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L. cv. Parda pausta). *Agr. Colombiana.* 22 (1): 23-3.

Sánchez-Días M. y J. Aguirreolea. 1993. Relaciones hídricas. En: Azcon-Bieto, J. y M. Talón 1993. *Fisiología y Bioquímica Vegetal*. McGraw-Hill-Intramericana de España. ISBN: 84-486-0033-9. 49-90p.

Sánchez-Díaz, M. y J. Aguirreola. 2000. Movimientos estomáticos y transpiración. En: Azcon-Bieto, J. y M. Talón. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw-Hill-Intramericana de España. 1º Ed. ISBN: 84-486-0258-7. 31-44p.

Sánchez-Díaz, M. y J. Aguirreola. 2000. Transporte de agua y balance hídrico en la planta. En: Azcon-Bieto, J. y M. Talón. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw-Hill-Intramericana de España. 1º Ed. ISBN: 84-486-0258-7. 45-64p.

Santos Costa, E.; R. Bressan-Smith; J.G. de Oliveira; E. Campostrini and C. Pimentel. 2002. Photochemical efficiency in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. and *Vigna unguiculata* L. Walp) during recovery from high temperature stress. *Braz. J. Plant Physiol.* 14(2): 105-110.

SAS ® (2006). Proprietary Software Version (.00.00 MOP 110199) licensed to Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Shouse, P., S. Dasberg; W.A. Jury and L.H. Stolzy. 1981. Water deficit effects on water potential, yield, and water use of cowpeas. *Agronomy Journal*, 73: 333-336.

Sinclair, T.R. 1998. Historical changes in Harvest Index and Crop Nitrogen Accumulation. Review and Interpretation. *Crop Sci.* 38: 638-643.

Singh, B.B., D.R. Mohan Raj, K.E. Dashiell, and L.E.N. Jackai. 1997. Advances in cowpea research. Copublication of Internacional Institute of Tropical Agricultura (IITA) and Japan Internacional Research Centre for Agricultural Sciences (JIRCAS). IITA, Ibadan, Nigeria. ISBN 978 131 110X. 75-86p

Steel, Robert G.D and Torrie, James H. (1985). *Bioestadística: Principios y procedimientos*. Primera edición en español. Ed. McGraw Hill Latinoamérica, S.A. Bogotá, Colombia.

Tamango, L.N., A.M. Chamorro & S.J. Sarandón. 1999. Aplicación fraccionada de nitrógeno en colza (*Brassica napus* L. spp. olifera forma annua): Efectos sobre el rendimiento y la calidad de la semilla. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata.* 104 (1): 25-34.

Távora, F.J.A.F.; F.I.O. Meio; F.P. da Silva e F.V. Costa Neto. 1990. Consórcio da mandioca no primeiro e segundo ciclos com as culturas do feijão caupi, soja tropical e amendoim. Ciên. Agron., Fortaleza. 21 (1/2): 1-9.

Trudgill, D.L.; A. Honek, D. Li and N.M. Van Straalen. 2005. Thermal time – concepts and utility. Annals of Applied Biology. 146: 1-14.

Warrag, M.O.A. and A.E. Hall. 1984. Reproductive responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) to heat stress. I. Responses to soil and day air temperatures. Field Crops Research. 8: 3-16.

Weikai, Y. and D.H. Wallace. (1998). Simulation and Prediction of Plant Phenology for Five Crops Based on Photoperiod x Temperature Interaction. Annals of Botany. 81: 705-716.

Yang, S.; J. Logan and D.L. Coffey. 1995. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. Agricultural and Forest Meteorology, 74: 61-74.

Zalom, F.G.; P.B. Goodell; L.T. Wilson; W.W. Barnett and W.J. Bentley. 1983. Degree-days: the calculation and use of heat units in pest management. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, Berkeley. 10pp.

