

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

**INTERCAMBIO DE GASES Y PRODUCCIÓN DE RAÍCES DE
VARIEDADES DE APIO (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr).**

Tesis especial de grado

Br: Norka G. Santos.

Tutor Prof: Ramón E. Jaimez.

Mérida, septiembre 2006

INFORME DEL JURADO NOMBRADO POR EL CONSEJO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES PARA CONSIDERAR EL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO DEL BACHILLER

NORKA GIOVANNA SANTOS PUENTE


En Mérida a los 15 días del mes de septiembre de 2006, a las 9:00 a.m. se reunieron los profesores: Ramón Jaimez (tutor) de la facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Fermín Rada y María Marquina de la Facultad de Ciencias, miembros del jurado nombrado por el Consejo de la Facultad de Ciencias, para revisar el Trabajo Especial de Grado sobre el tema: "Intercambio de gases y producción de raíces de variedades de apio (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr)", presentado por la Bachiller Norka Giovanna Santos Puente. Titular de la Cédula de identidad N° V-15.032.261, para optar al título de:

LICENCIADA EN BIOLOGÍA

en la Facultad de ciencias de la Universidad de Los Andes, Acto seguido se procedió a oír la exposición que sobre el tema arriba mencionado realizó la Bachiller **NORKA GIOVANNA SANTOS PUENTE**

Después del correspondiente interrogatorio, el jurado procedió a deliberar sobre la calificación del trabajo sometido a su consideración.

Finalmente el jurado lo declaró aprobado con la Calificación de DIECISIETE PUNTOS (17 puntos) y se recomienda para su publicación.



Prof. Ramón E. Jaimez
tutor



Prof. Fermín Rada



Prof. María Marquina



INDICE GENERAL

Página

RESUMEN.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABLAS.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
2.1. Sitio de estudio	10
2.1.2. Descripción del material vegetal.....	10
2.1.3. Recolección de colinos por variedad.....	12
2.1.4. Sistema de plantación.....	14
2.1.5. Diseño experimental.....	14
2.2. MEDICIONES EN EL CAMPO.....	16
2.2.1. Datos climáticos diarios en la Estación Santa Rosa.....	16
2.2.2. Determinación de la diferencia de presión de vapor del aire y la hoja (DPV).....	16
2.2.3. Intercambio de gases.....	17
2.2.4. Determinación del potencial hídrico (Ψ_f).....	20
2.3. MEDICIONES EN EL LABORATORIO.....	21

2.3.1. Determinación de la producción de raíces y áreas foliares.....	21
2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	23
3. RESULTADOS	24
3.1. Distribución de la precipitación en el sector Santa Rosa.....	24
3.2. Cursos diarios de Intercambio de gases y DPV.....	25
3.3. Relación entre la tasa de asimilación de CO ₂ (A) y densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF).....	37
3.4. Asimilación total de CO ₂ (A tot).....	38
3.5. Relación entre la tasa de asimilación de CO ₂ (A) y conductancia foliar estomática (Gs).....	38
3.6. Potenciales hídricos foliares (ψ_f).....	40
3.7. Producción de raíces e Índices de crecimiento de raíces.....	41
3.8. Relaciones entre tasas de asimilación de CO ₂ : asimilación promedio (A prom), máximos promedios (A máx prom), Asimilación relativa /A máx) y totales (A tot) con la producción de materia (seca y fresca) en raices.....	44
3.9. Relación entre el área Foliar específica y la producción de materia seca en raices.....	44
3.10. Relación ente tasas respiratorias totales (R tot) y Asimilación total (A tot) en las cinco variedades de apio.....	47

4. DISCUSIÓN.....	48
5. CONCLUSIONES.....	55
6. REFERENCIAS.....	56
8. ANEXOS.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura

1. *Arracacia xanthorrhiza* diferenciándose cada una de sus partes: hojas, inflorescencia, frutos, colinos y raíces..... 7
2. Colinos obtenidos en las siembras de las sub-parcelas, Bandera (Ban), Cebollo (Ce), Bayuelo (Bay), Cacho (Cac), Chamero (Cha)..... 12
3. Raíces y cortes transversales de raíces de apio, para las variedades Bandera (Ban), Cebollo (Ce), Cacho (Cac), Bayuelo (Bay) y Chamero (Cha)..... 13
4. Disposición de las variedades por sub-parcelas en los bloques aleatorios..... 14
5. Sistema de medición de intercambio de gases (sistema abierto)..... 19
6. Bomba de Scholander para medir los potenciales hídricos foliares (Fotografía tomada de Taíz y Zaiger, 1998)..... 21
7. Medidor del Área foliar Licor 3100..... 23
8. Distribución de las precipitaciones en el Sector Santa Rosa (Datos reportados por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias IIAP)..... 24

9. Cursos diarios de a) Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF) b) Tasa de asimilación de CO₂ (A), c) Conductancia estomática foliar (Gs), d) Tasa Transpiratoria (E), e) Diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire (DPV), f) Relación entre concentración interna y externa de CO₂ (Ci/Ca) para la variedad Bandera a los 97 días después de la siembra (dds)..... 27
10. Cursos diarios de a) Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF) b) Tasa de asimilación de CO₂ (A), c) Conductancia estomática foliar (Gs), d) Tasa Transpiratoria (E), e) Diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire (DPV), f) Relación entre concentración interna y externa de CO₂ (Ci/Ca) para la variedad Cebollo los 97 días después de la siembra (dds)..... 28
11. Cursos diarios de a) Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF) b) Tasa de asimilación de CO₂ (A), c) Conductancia estomática foliar (Gs), d) Tasa Transpiratoria (E), e) Diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire (DPV), f) Relación entre concentración interna y externa de CO₂ (Ci/Ca) para la variedad Cacho a los 97 días después de la siembra (dds)..... 29
12. Cursos diarios de a) Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF) b) Tasa de asimilación de CO₂ (A), c) Conductancia estomática foliar (Gs), d) Tasa Transpiratoria (E), e) Diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire (DPV), f) relación entre concentración interna y externa de CO₂ (Ci/Ca) para la variedad Bayuelo a los 97 días después de la siembra (dds)..... 30

13. Cursos diarios de a) Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF) b) Tasa de asimilación de CO ₂ (A), c) Conductancia estomática foliar (Gs), d) Tasa Transpiratoria (E), e) Diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire (DPV), f) relación entre concentración interna y externa de CO ₂ (Ci/Ca) para la variedad Chamero a los 97 días después de la siembra (dds)....	31
14. Promedios diarios de intercambio de gases para las cinco variedades de apio: a) Tasa de asimilación de CO ₂ (A), b) Conductancia estomática foliar (Gs), c) Tasa transpiratoria (E), d) relación entre concentración interna y externa de CO ₂ (Ci/Ca)	33
15. Promedios (□) y máximos promedios (⊠) de todo el ciclo de cultivo. a) Tasas de asimilación de CO ₂ (A), (b) Tasas transpiratorias (E), c) Conductancia estomática foliar (Gs) para las variedades de apio criollo: Bandera (Ban), Cebollo (Ce), Cacho (Cac), Bayuelo (Bay) y Chamero (Cha).....	35
16. Relación entre la tasa de asimilación de CO ₂ (A) y densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF) para las cinco variedades de apio.....	36
17. Relación entre la tasa de asimilación de CO ₂ (A) y conductancia foliar estomática (Gs) para las variedades a) Bandera, b) Cebollo, c) Cacho, d) Bayuelo, e) Chamero.....	39
18. Potenciales hídricos (Ψ _f) para las cinco variedades de apio criollo a los 97 dds y 124 dds.....	40

19. a) Producción de materia seca en raíces, b) Tasa de crecimiento relativo (TCR) y c) Tasa de crecimiento absoluto (TC) en distintos estadios del ciclo de cultivo para las variedades de apio.....	42
20. Relación entre producción de materia seca (ms) y materia fresca (mf) de raíces.....	43
21. a - d) materia seca, e - h) materia fresca final. Relación de Asimilación promedio (A prom) A máximo promedio (A máx prom), A máx relativo (obtenido de la curva A vs DFFF), Asimilación total (A tot), con producción de raíces, para las variedades de apio.....	45
22. Áreas foliares específicas (AFE) en distintos estadios del ciclo de cultivo y sus relaciones con la producción de biomasa seca de raíces para las cinco variedades de apio.....	46

LISTA DE TABLAS

1. Producción de apio en Mérida durante los años 1999 - 2004 de acuerdo al Ministerio de Agricultura y Cría.....	6
2. Composición química de las raíces de apio.....	8
3. Precipitación (mm) mensual y temperatura máxima y mínima (°C) en el periodo sep 2004- ago 2005.....	16
4. Relación entre tasa de asimilación de CO ₂ (A) y concentraciones internas, externas (Ci/Ca) de CO ₂ para las cinco variedades de apio: Bandera, Cebollo, Cacho, Bayuelo y Chamero.....	34
5. Tasas de asimilación máxima relativa (Amáx), puntos de compensación (Pc) y correlaciones (R ²) para las cinco variedades de apio.....	37
6. Asimilación total de CO ₂ (A tot).....	38
7. Producción de materia fresca de raíces para las cinco variedades de apio.....	43
8. Relaciones entre las tasas respiratorias totales (R tot) Asimilación total (A tot) de la última cosecha (306 dds) para las cinco variedades de apio: Bandera, Cebollo, Cacho, Bayuelo y Chamero.....	47
9. Rendimientos de apio en los Pueblo del sur (Ps) y en el sector Santa Rosa, Mérida (SSR).....	53

RESUMEN

Arracacia xanthorrhiza es un cultivo que se adapta a ambientes fríos de la zona andina, desde Venezuela hasta Colombia. El propósito de este trabajo es estudiar algunas variables ecofisiológicas de 5 variedades de apio (Bandera, Cebollo, Cacho, Bayuelo y Chamero) y relacionar con la producción de raíces. El trabajo experimental fue realizado en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (I.I.A.P) sector Santa Rosa en Mérida-Venezuela, utilizando un diseño experimental de 3 bloques completamente aleatorizados con 5 sub-parcelas para un total de 15, en condiciones óptimas de fertilización de N-P-K (12-12-17) y con riegos en función de la precipitación del lugar. Las mediciones de cursos diarios de intercambio de gases se midieron con el LCA-4 de modo abierto a los 75-97-124-182-253-306 días después de la siembra. También se evaluaron las variables microclimáticas (temperatura del aire, humedad relativa) y temperatura foliar, área foliar, peso seco de las hojas, producción de raíces. Los resultados indicaron que existe una relación positiva y significativa entre la fotosíntesis y producción de raíces, presentando las máximas Cacho y Chamero con muy pocas variaciones, seguido de Bayuelo, de igual modo se encontraron altas correlaciones entre el área foliar específica (AFE) y producción de materia seca de raíces, densidad de flujo fotónico fotosintético con las tasas de asimilación de CO₂. Estos resultados permiten inferir que las tasas de asimilación de CO₂ y AFE puedan ser usadas como una variable para la selección de variedades de apio andino con gran rendimiento.

Palabras Claves: *Arracacia xanthorrhiza*, Asimilación de CO₂, Crecimiento, Área foliar específica.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Omnipotente por iluminarme y acompañarme en cada paso del trayecto de mi carrera.

A mi Madre, Juana, por la fortaleza de sus palabras y el aliento que me dio día a día para ser tenaz y perseverante.

A mi difunto Padre, Jorge, aunque esté ausente, sus sabios consejos, valores morales y educacionales me permitieron continuar.

A mis hermanos: Rocio, Elizabeth, Milagro, Jorlibeth, Miguel y Alonso R.J y familiares por su comprensión y afecto.

A mis amigos: Claudia, Dirla, Thania, Maury, Laura, Gerardo, Adriana, Gabriel y Zaira, gracias a todos por su apoyo moral y compañía de siempre.

A la Profesora Anairamiz por impulsarme a seguir con mis metas, gracias.

A mi tutor, el Prof. Ramón Jaimez, por la paciencia, apoyo y guía quién me oriento en el desarrollo de este trabajo.

A los profesores María Eugenia y Fermín, gracias por las sugerencias y apoyo en este trabajo.

Al Sr. Jorge Vázquez quien gentilmente me oriento en la siembra del apio.

Al IIAP e ICAE por ser instituciones que me prestaron su colaboración en el uso de los laboratorios.

Esta tesis es parte del proyecto **FO-572-05-01-B** del CDCHT. U.L.A

1. INTRODUCCIÓN

Los ensayos de cultivo a nivel regional son fundamentales para determinar el comportamiento de una especie bajo distintas condiciones ambientales y seleccionar las zonas para la siembra (Marín, 1996a), Así mismo, con el apoyo de estudios ecofisiológicos se pueden explicar las diferencias de rendimiento y la acumulación de biomasa (Marín, 1996b). Los programas de mejoramiento implican obtener variedades resistentes a las plagas y enfermedades, tipos del suelo, mejoramiento genético y que conlleven a mejorar la producción (Ochse *et al.*, 1976).

Existe una gran variabilidad natural de factores que afectan la tasa de asimilación de CO₂ (A) como son: la luz, la temperatura, la humedad del aire disponibilidad hídrica del suelo y los nutrientes minerales. La relación entre la tasa de asimilación de CO₂ (A) y Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF) permite medir el grado de adaptación al ambiente luminoso al cual crecen las plantas (Prieto, 1996). De esta relación se obtienen dos principales parámetros: Punto de saturación de la luz, donde la A cambia muy poco hasta hacerse constante con el aumento de la DFFF y el punto de compensación de CO₂, corresponde a la DFFF, cuando la absorción del CO₂ está equilibrado con el CO₂ de la respiración (Hall y Rao, 1983; Azcón *et al.*, 2000).

Los sitios fundamentales donde ocurre la recepción de los compuestos fotosintetizados son las raíces y los ápices caulinares, además en los órganos de reserva como en los tubérculos, granos y frutos. Sin embargo, la translocación depende de las características fisiológicas del cultivo y del ambiente (Milthorpe y Moorby, 1979).

La producción de materia seca y distribución de asimilados son características fisiológicas imprescindibles de medir en la selección de cultivares. Ensayos realizados en Hawaii con 6 cultivares de papa entre los 91-1097 m de altitud, encontraron incrementos significativos de la parte aérea (hojas, ramas) para todos los cultivares de papa a 91 m. A 1097 m de altitud correspondientes a temperaturas frías se obtuvieron incrementos significativos de pesos secos en tubérculos, lo que sugiere que a esta altitud se retarda la senescencia de las hojas. Es evidente que la temperatura determina cual componente de la planta es el principal sumidero (Manrique y Bartholomew, 1991). Al igual que para la papa, Chowhury (1998) muestra en estudios realizados en la India, para un periodo de cultivo de siete meses en cultivares de *Dioscorea sp* (ñame), que no existen diferencias significativas en el crecimiento relativo de la planta durante los tres primeros meses de siembra y posterior a los cinco meses se inicia un aumento en la tasas de crecimiento con diferencias significativas para todos los cultivares. Estudios en *Manihot esculenta* Crantz (yuca) durante las estaciones de verano (1986) e invierno (1987) en Hawaii, no se mostraron diferencias significativas en la

producción de materia seca de la parte aérea (tallos, ramas y hojas) en las estaciones señaladas. No obstante en invierno fue muy bajo el índice del área foliar (IAF) al comparar con la estación de verano. El IAF indica el área foliar de la planta con relación a la superficie ocupado por esta. En efecto la mayor acumulación de materia seca de raíces de yuca ocurre durante la estación de verano donde se promueve el crecimiento del área foliar y por lo tanto el IAF corresponde a la mayor producción de raíces. Otro aspecto a mencionar es la distribución de asimilados en yuca, esta planta posee sumideros (raíces) que se mantiene a través del tiempo y edad de la planta. Es así como la translocación de asimilados hacia hojas disminuye en contraste con las raíces (Manrique, 1990). Este sumideros tiene una correlación directa con la tasa de asimilación de CO₂ (Fernández *et al.*, 2002).

Una de las mayores ventajas en las raíces y tubérculos con respecto a otros grupos de cultivos de granos, hojas, frutos, leguminosas, es el aumento de la producción al incrementar la concentración de CO₂ ambiental. También se han encontrado correlaciones significativas en la producción de materia seca en tubérculos de la papa con aumentos en la tasa de asimilación del CO₂ (A) (Miglietta *et al.*, 2000; Tekaligu y Hammes, 2005). En otros cultivos se han encontrado relaciones entre las tasas de asimilación y producción. Por ejemplo, para dos cultivares del arroz híbrido Bandera (*Oriza sativa*), Xieyou 63 y Xieyou 9308, se encontró la mayor producción de materia seca en las panículas, alta significancia de la capacidad fotosintética para este último

cultivar. Lo cual significa la mayor eficiencia de las hojas por los fotosintatos y una completa sincronización con el llenado de granos, siendo un indicativo del alto rendimiento en el arroz (Zhai *et al.*, 2002). También en espárrago, se ha evidenciado para tres cultivares con distintos niveles de producción una asociación positiva entre la máxima tasa de asimilación de CO₂ (A máx) y la producción de brotes tiernos "turiones" (Faville *et al.*, 1999). No siempre estas relaciones positivas entre tasa de asimilación de CO₂ y producción en cultivos se cumple, otros autores han encontrado una pobre correlación o ninguna entre los parámetros descritos, por ejemplo tenemos en *Brassica napus* (Chongo y McVetty, 2001) y cebada (Berdahl *et al.*, 1972). Las respuestas débiles de esta asociación probablemente están asociadas a factores intrínsecos de la planta y el ambiente (Lawlor, 1995).

En *Arracacia xanthorrhiza* (apio criollo) no se han realizado estudios de intercambio de gases, relaciones hídricas y producción de raíces para distintas variedades que permitan la selección de cultivares. Sin embargo, existe un estudio preliminar de Jaimez *et al.* (2003) donde se plantea la relación existente entre la asimilación de CO₂ y producción de raíces en *A. xanthorrhiza*. Estos autores evaluaron en seis cultivares de apio las características ecofisiológicas como tasa de asimilación de CO₂ (A), eficiencia en el uso del agua (EUA), en función de la densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF). Evidenciándose en tres de los cultivares mayor producción de raíces, asimilación máxima (Amáx), eficiencia del uso del agua

(EUA), además de altas correlaciones entre A y DFFF, estas últimas variables se corresponden con la producción de raíces, lo que permitirá hacer una selección de los cultivares de apio. Adicionalmente, pese a ser un cultivo tradicional en Venezuela se tiene de muy poca información para establecer diferencias de producción de raíces entre los diferentes cultivares establecidos en la zona.

Origen, Distribución y zonas de producción de *Arracacia xanthorrhiza*.

Arracacia ha recibido diversas terminologías ó nombres comunes como por ejemplo (Raccacha, Virraca, Racacha, apio criollo) dependiendo de la zona donde se cultive. Es una de las plantas prehispánicas de origen silvestre desconocido, varios investigadores coinciden que pertenece a los Andes sudamericanos, Colombia, Ecuador, Bolivia, Perú, Brasil y Venezuela, luego se ha distribuido por Centro América, África y Asia. Se cree que *Arracacia* siguió al cultivo de la papa y es uno de los cultivos que ha sido muy poco estudiado y considerada como marginal (Cedeño, 1984; Balbinio *et al.*, 1990; Anónimo, 1990; Montaldo, 1991; Hermann, 1992; Mazón *et al.*, 1996; Ortega *et al.*, 2000).

En Venezuela, la producción de apio se localiza en nueve estados: Monagas, Sucre, Guárico, Distrito Federal, Lara, Falcón, Táchira, Trujillo y Mérida (Ortega *et al.*, 2000). De los nueve estados, los tres últimos aportan un 90%. Mérida representa uno de los estados con mayor producción con un

43% de toda la producción nacional (Noguera, 2001). De acuerdo a los datos del Ministerio de Agricultura y Tierra durante el periodo 1999-2004, la producción de apio osciló entre 8 y 13 mil toneladas (Tm), manteniéndose los rendimientos casi constantes en valores de 15 mil Kg/Ha. Para el año 2004, los rendimientos se incrementaron levemente a 16 mil Kg/Ha (Potenciales agrícolas 1999, 2000, 2001, 2002, 2003,2004) (Tabla.1).

Tabla 1. Producción de apio en Mérida durante los años 1999 – 2004
Fuente.Ministerio de Agricultura y Tierra.

Año	Superficie cosechable (Ha)	Producción (Tm.)	Rendimiento Kg/Ha)
1999	753	11.295	15.000,00
2000	785	11.921	15.185,00
2001	900	13.636	15.150,00
2002	580	9.094	15.469,00
2003	539	8.317	15.423,00
2004	612	9.822	16.056,00

Descripción botánica

El apio criollo (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr) es una planta herbácea con 0,5-1,5 m de altura (Hermann, 1992; Mazón *et al.*, 1996) que pertenece a la familia *Apiaceae* (*umbeliferaceae*). Poseen flores diminutas en umbelas compuestas, con ovario ínfero, frutos en diaquenios. Su crecimiento es por propagación vegetativa “colinos ó semillas”, que nacen en la zona apical del tallo “cuinara”. En la zona basal se desarrollan largas y tuberosas raíces con coloración amarilla, blanco ó morada en un número de 5-15 (Fig.1). El tiempo de cosecha para estos cultivares depende de la región ó localidad donde se cultive. Por ejemplo en los andes venezolanos, los amarillos se

cosechan a los 12 meses, los blancos a los 8 y los morados a los 15 meses, respectivamente (Ortega *et al.*, 2000). Sin embargo, en el caso de Mérida no se encontraron plantaciones de una sola variedad, al contrario es común las plantaciones mixtas con plantas dispuestas en arreglos dispersos. Entre las características importantes del apio criollo está la diversidad de usos medicinales, nutricionales y el mayor contenido de fuente, minerales y vitaminas en relación a otras raíces y tubérculos. Por ejemplo la papa presenta un aporte de 8 mg de calcio, mientras para apio es de 44 mg. (Faillace *et al.*, 1972; Del Valle *et al.*, 1989; Anónimo, 1990; Balbinio *et al.*, 1990; Hermann, 1992; Mazón *et al.*, 1996; Ortega *et al.*, 2000) (Tabla 2).

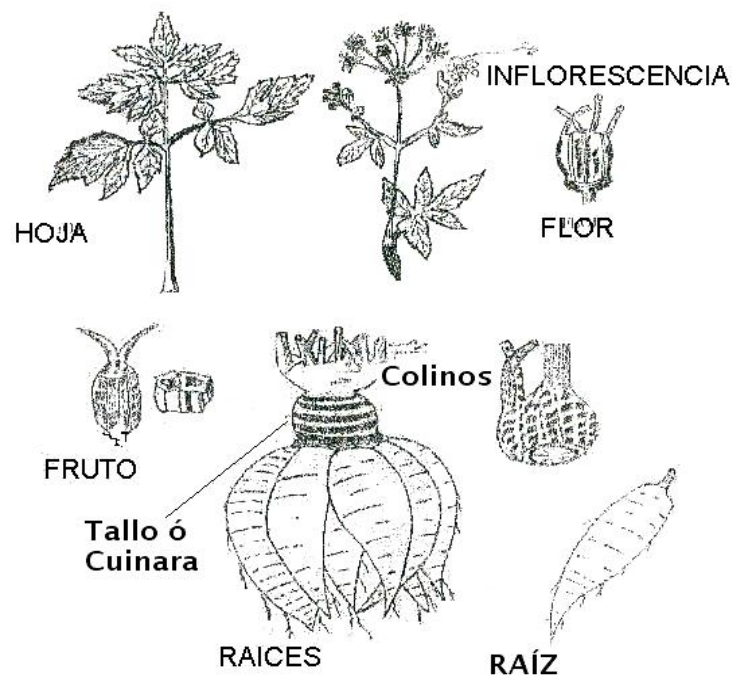


Fig 1. *Arracacia xanthorrhiza* diferenciándose cada una de sus partes: hojas, inflorescencia, frutos, colinos, tallo y raíces.

Tabla 2. Composición química de las raíces de apio.

Fuente g /100 de materia seca		Vitaminas mg/ 100 de materia seca		Minerales mg	
agua	97	retinol	0	Calcio	44,0
proteína	75,1	tiamina	0,09	fósforo	50,0
grasa	700	riboflavina	0,08	hierro	1,1
carbohidratos	0,3	niacina	2,8		
fibra	22,9	ácido ascórbico	27,1		
ceniza	1,1				
energía	97 Kcal				

Considerando las investigaciones realizadas para los otros cultivos y las investigaciones preliminares de apio para la selección de cultivares, sería importante estudiar diferentes variables ecofisiológicas como la tasa de asimilación de CO₂ y su relación con producción de raíces, para determinar plantas de alto rendimiento y además evaluar el área foliar específica para ser usado como un criterio de selección.

Se plantea como hipótesis de estudio:

- Aquellas variedades de *Arracacia xanthorrhiza* con mayores tasas de asimilación de CO₂, presentarán mayor producción de raíces, la cual estará relacionado con la mayor cantidad de movilización de asimilados hacia estas estructuras reservantes.

OBJETIVOS

General

Evaluar la relación existente entre algunas características ecofisiológicas, intercambio de gases con la producción de raíces para las cinco variedades de apio.

Específicos:

- Determinar la producción de materia seca de raíces en los distintos estadios del ciclo de cultivo.
- Determinar las diferencias en la producción de raíces entre variedades.
- Determinar el área foliar específica (AFE) en los distintos estadios del ciclo de cultivo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Sitio de estudio

La parte experimental de este trabajo fue realizada durante los meses de septiembre 2004 – julio 2005 en la estación experimental del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP) de la Universidad de Los Andes, ubicado en el sector Santa Rosa, estado Mérida (Latitud 08° 35' 30 N, Long 71° 08' 30° O), 1920 m de altitud con una precipitación y temperatura media anual de 2039 mm y 17.1°C, respectivamente, la evaporación mensual oscila entre 90 y 110 mm, el promedio de radiación total diaria de la zona oscila entre 348 a 454 w / m² (Jaimez *et al.*, 2001). El suelo en estudio corresponde a humitropets typic (Soil Survey Staff, 1975), recientemente se ha reclasificado como humic dystropets (Comunicación personal Peña, C.). El área pertenece a la zona de vida bosque húmedo premontano, con una vegetación muy intervenida por las actividades agropecuarias.

2.1.1. Descripción del material vegetal:

2.1.1.1. Variedad Bandera (Ban)

La variedad Ban pertenece a la variedad morada. Sus colinos presentan su base prácticamente aplanada (Fig. 2), raíces de color blanco, con un anillo concéntrico de color púrpura, produce de 3–6 raíces pequeñas de color blanco (Fig. 3).

2.1.1.2. Variedad Cebollo (Ce)

La variedad Ce pertenece a la variedad amarilla. Los colinos presentan similar característica a Ban, aunque su ápice se hace más estrecho (Fig. 2), hojas pequeñas, pecíolos gruesos de color verde – amarillo, produce de 10 a 15 raíces pequeñas (Noguera, 2001), pero en nuestro caso presentó de 2 - 7 raíces pequeñas (Fig. 3).

2.1.1.3. Variedad Cacho Buey (Cac)

Pertenece a la variedad amarilla, con colinos gruesos de gran tamaño pecíolos de color rojizo en la parte basal, follaje vigoroso y relativamente resistente a las manchas foliares (Septoriosis y Cercosporosis), produce de 4 - 5 raíces bastantes largas y curvadas (Noguera, 2001). En nuestro caso se apreciaron de 10 - 12 raíces alargadas (Fig. 3).

2.1.1.4. Variedad Bayuelo (Bay)

Es la variedad perteneciente a la variedad amarilla, sus hojas dan la apariencia de ser encrespadas y lanceoladas, pecíolos color verde- amarillo, (Noguera, 2001), colinos pequeños (Fig. 2), produce entre 6 - 9 raíces pueden medir entre 10-13 cm de largo (Fig. 3).

2.1.1.5. Variedad Chamero (Cha)

Esta variedad también pertenece a la variedad amarilla, colinos pequeños con aspecto rectangular (Fig. 3), hojas pequeñas similares a Cacho, Noguera (2001) señala en la variedad Cha la presencia de un gran sistema radicular de gran peso, observado en este estudio, raíces en forma ovoide de 9-11 cm de largo (Fig.3).

2.1.2. Recolección de colinos por variedad

Los colinos de las cinco variedades descritas fueron traídos de la población de El Molino, parroquia Arzobispo Chacón, perteneciente a la región centro occidental del estado Mérida. Los agricultores de la zona comúnmente denominan a los colinos “semillas”, el material que sirve como propagación durante la siembra, presentando la forma de embudo invertido, con un color púrpura-marrón y además está rodeado de entrenudos circúndales o concéntricos, característica descrita por Noguera (2001) y confirmado en este estudio (Fig.2).



Fig 2. Colinos obtenidos en las siembras de las sub-parcelas, Bandera (Ban), Cebollo (Ce), Bayuelo (Bay), Cacho (Cac), Chamero (Cha).

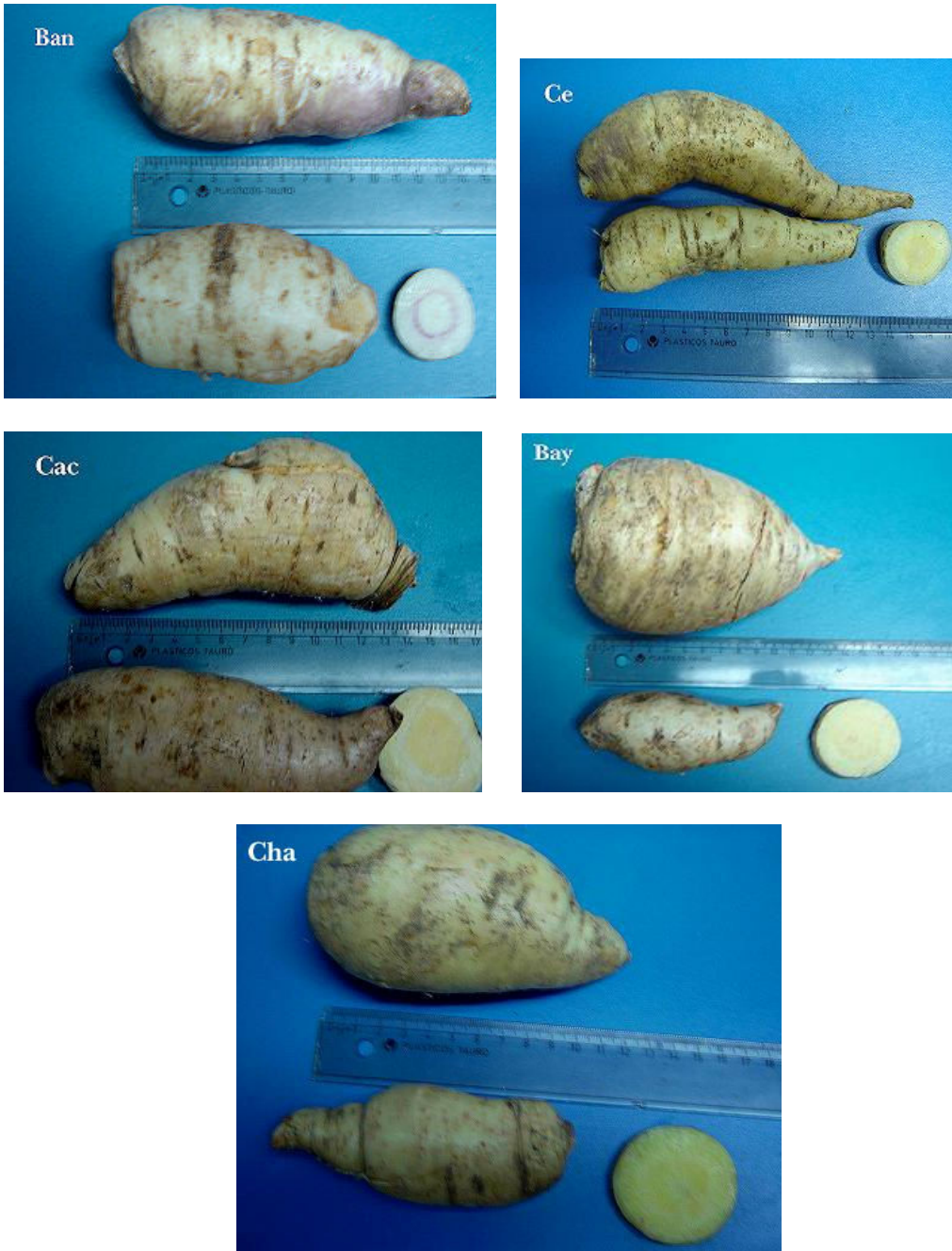


Fig 3. Raíces y cortes transversales de raíces de apio, para las variedades Bandera (Ban), Cebollo (Ce), Cacho (Cac), Bayuelo (Bay) y Chamero (Cha).

2.1.3. Sistema de Plantación

El terreno fue preparado con el sistema de tractor mecanizado y arranque de malezas, este último es recomendado por los agricultores de la zona, con la finalidad de obtener mejores rendimientos (Añez *et al.*, 2001; Noguera, 2001). Posteriormente se realizaron los surcos y se enterraron los colinos colocándolos en posición vertical.

2.1.4. Diseño experimental

El área del terreno utilizado para la siembra de los colinos, presentó una extensión de 187.5 m² y se aplicó un diseño experimental de bloques al azar con 3 réplicas para cada una de las variedades (Fig. 4).

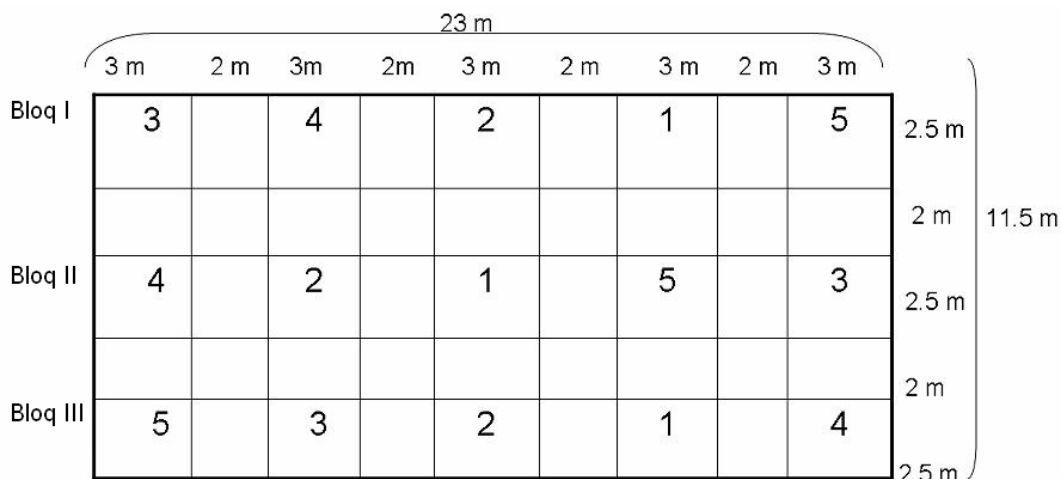


Fig 4. Disposición de las variedades por sub-parcelas en los bloques aleatorios para: 1 Cebollo, 2 Cacho Buey, 3 Chamero, 4 Bayuelo, 5 Bandera.

Se colocaron 42 colinos de 40 g por variedad en cada una de las sub-parcelas, sembrados a una densidad de 50 cm entre plantas y 50 cm entre hileras según recomendaciones de Añez *et al.*, (2002). Los colinos fueron previamente seleccionados y preparados de acuerdo a los aspectos agroindustriales, consiste en separar las raíces de la planta, luego seccionar los colinos de la “Cuinara” en plantaciones fisiológicamente maduras antes de su cosecha y embalar en sacos de 30 a 50 Kg/unidad para ser transportados en galpones y proceder a extender y orear a la sombra de 2 a 8 días. Estas fueron sembradas el 12 de septiembre del 2005 y posterior a los 45 días después de la siembra (dds) se procedió a la aplicación de 40 g de fertilizante por planta de fórmula comercial (12-17-17) de N-P-K, siguiendo recomendación de Añez *et al.*,(2002). Las fertilizaciones, se realizaron a favor de la pendiente del terreno con distribución en forma de semiluna, con la finalidad de evitar el lavado de los nutrientes por las precipitaciones. Las plantas fueron regadas por sistema de aspersión cuando se tenía alrededor de 7 días sin precipitación a fin de evitar un déficit hídrico pronunciado. También se consideró evitar excesos de riego durante el crecimiento de las raíces para prevenir daños producidos por hongos o simplemente daños a las raíces por inundación (aguachinamiento del terreno).

2.2. MEDICIONES EN EL CAMPO

2.2.1. Datos climáticos diarios en la Estación Santa Rosa

Los datos climáticos (precipitación y temperatura) durante el estudio se obtuvieron de la estación climática ubicada en el lugar. Los meses que presentaron las mayores precipitaciones fueron los meses de noviembre (401 mm) y mayo (404 mm), las menores se registraron en los meses de diciembre (77 mm) y marzo (36 mm). En relación a las temperaturas promedios máximas y mínimas fueron 26 °C y 11 °C, respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3. Precipitación (mm) mensual y temperaturas promedios máxima y mínima (°C) en el periodo sep 2004 - ago 2005.

	Año 2004				Año 2005							
	sep	oct	nov	dic	ene	feb	marz	abr	may	jun	jul	ago
Precip Tot (mm)	331	266	401	77	141	108	36	241	404	242	109	125
tmax(°C)	21,4	23,7	23,0	20,4	22,2	21,7	24,4	23,9	23,8	24,7	24,0	26,1
tmin (°C)	15,2	13,2	13,02	12,2	11,9	11,4	12,6	13,3	13,5	13,2	12,9	16

2.2.2. Determinaciones de la diferencia de presión de vapor entre aire y hoja (DPV)

Las plantas centrales fueron utilizadas para las mediciones de temperaturas foliares y temperaturas del aire, humedad relativa. Se determinó la temperatura de aire (°C) y la temperatura foliar con termopares tipo K, colocadas en la cara abaxial de la lámina foliar, estas fueron seleccionadas

de la parte central de la planta. Las mediciones se realizaron a intervalos de 2 horas entre las 8 y 15 -17 h realizando de 2 a 3 mediciones por variedad y para la humedad relativa se utilizó un higrómetro digital (Extech Instruments, Modelo 407445). Estas mediciones fueron realizadas a los 75, 97, 124, 182, 253, 306 dds. A través de estas variables registradas se calculó la diferencia de presión entre la hoja y el aire (DPV), haciendo uso de la fórmula:

$$DPV = p_h - p_a (HR/100)$$

En donde:

p_h = presión de vapor de saturación a la temperatura de la hoja (KPa)

p_a = presión de saturación de vapor a la temperatura del aire (KPa)

HR = humedad relativa.

2.2.3 Intercambio de gases.

Los parámetros de intercambio de gases, tasas de asimilación de CO_2 (A), conductancia estomática foliar (Gs), tasa transpiratoria (E) fueron simultáneamente medidas con las temperaturas foliar, aire y humedad relativa. Estas mediciones se hicieron en 3 hojas completamente expandidas de tres plantas por variedad, efectuándose 3 mediciones por cada hoja. El sistema LCA-4 (ADC Hoddesdon, Reino Unido) operado en modo abierto fue utilizado en estas mediciones (Fig. 5)

2.2.3.1 Para los cálculos de intercambio de gases se utilizaron las fórmulas propuestos por Von Caemmerer y Farquhar (1981):

Conversión de los flujos volumétricos ó de masas de flujos de aire:

$$f = f_v / 1000 * 1 / 22,40 * 273.15 / (273.15 + t) * p / 101.3 * 1 / 60$$

En donde:

f = flujo molar de aire (mol s^{-1})

f_v = flujo volumétrico de aire ($\text{cm}^3 \text{min}^{-1}$)

22,40 = volumen en dm^3 de un mol de aire en condiciones estándar de presión y temperatura.

t($^{\circ}\text{C}$) = temperatura registradas durante la medición

p = presión atmosférica durante la medición (KPa)

Cálculo del área foliar en cm^2

La cámara ADC – Parkinson mide 6,25 cm^2 en área.

Cálculo de la tasa de transpiración (E)

$$E = f / s * (X_o - X_e) / (1 - X_o)$$

En donde:

E = Tasa de transpiración ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

X_o = Fracción molar de vapor de agua a la salida de la cámara (mol.mol^{-1}).

X_e = Fracción molar de vapor de agua a la entrada de la cámara (mol.mol^{-1}).

s = tiempo en segundos.

X_o y X_e son calculados de las presiones de vapor saturado a la temperatura foliar medido dada la humedad relativa (HR):

$$X_o = e_s * HR / (100 * P)$$

Cálculo de la tasa de asimilación de CO_2 (A):

$$A = f / s * \text{dif } C$$

En donde:

dif C= diferencia en las concentraciones de CO₂ entre los Flujos de referencia y análisis (mol.mol⁻¹)

La fórmula mencionada, es corregida por el incremento en el vapor de agua por la transpiración de la hoja:

$$A = f / s * \text{dif } C * [(1-X_e) / (1-X_o)]$$

Cálculo de la conductancia estomática foliar (Gs):

$$G_s = E / X_s - T_i - X_o$$

En donde:

G_s = Conductancia estomática foliar (mmol m⁻² s⁻¹)

X_s = Fracción molar de vapor de agua a la temperatura foliar existente (T_i).

Cálculo de la densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF).

El sensor cuántico de la cámara ADC-Parkinson registra las DFFF simultáneamente a las mediciones de CO₂ y vapor de agua.



Fig 5. Sistema de medida de intercambio de gases (sistema abierto).

2.2.3.2. Asimilación de CO₂ total (A tot)

La A tot fue estimada de la integración de las curvas para cada curso diario en todos los estadios del ciclo de cultivo. Consistió en medir por variedad el área bajo la curva del curso diario de la tasa de asimilación de CO₂ con el medidor Licor 3100 y posteriormente fue transformado en las unidades de medida de A tot, siguiendo la metodología de Rada *et al.*, (1996).

2.2.3.3. Respiración

Para medir la respiración se colocó una caja de cartón en posición invertida cubriendo la planta y por una pequeña abertura, se introdujo el ADC para medir las variables de intercambio de gases. Esta medición se realizó a los 306 dds entre las 10 y 17 h. Con los valores registrados se procedió a realizar la integración de curvas del mismo modo a la asimilación total.

2.2.4. Determinación del potencial hídrico (Ψ_f)

Los potenciales hídricos foliares, se evaluaron usando la bomba de Scholander. La técnica consiste en colocar los pecíolos cortados dentro de la cámara y aplicar una presión progresiva de modo que la presión positiva (tensión) de la columna de agua venza a la presión negativa que se encuentra en el xilema o sistema de conducción de la planta. Se realizaron, las mediciones entre las 9 y las 11 h correspondientes a los 97, 124 dds, (Fig. 6).

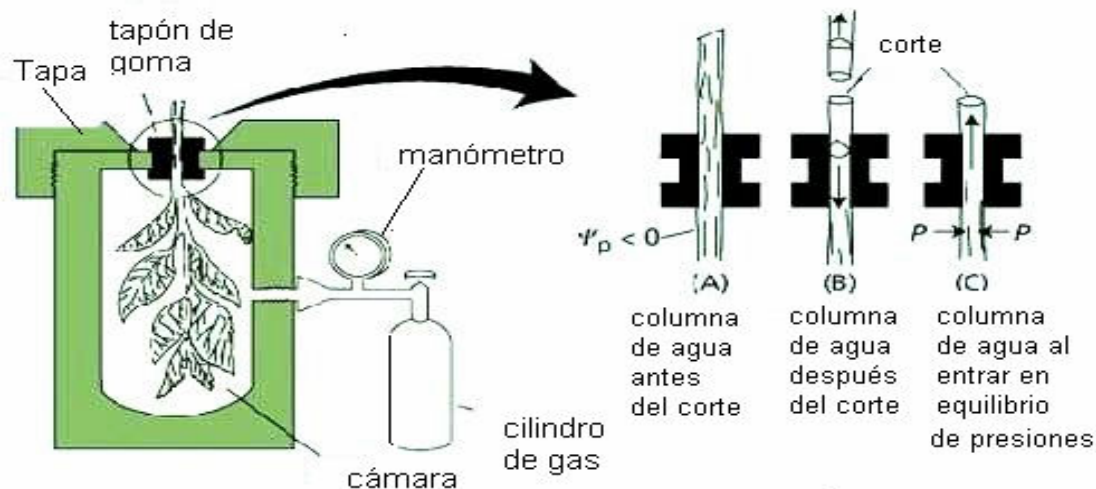


Fig 6. Bomba de Scholander utilizada para medir los potenciales hídricos, con el pecíolo de la hoja invertida. (Fotografía tomada de Taíz y Zaiger, 1998).

2.3. MEDICIONES EN EL LABORATORIO.

2.3.1. Determinación de la producción de raíces y áreas foliares.

Las mediciones para la producción de materia seca de raíces y áreas foliares se realizaron durante los distintos estadios del ciclo de cultivo (75, 124, 182, 253 y 306 dds). En cada estadio se tomaron 6 plantas por variedad de apio (2 de cada bloque) y se procedió a retirar las raíces de la cuinara, se lavaron para luego ser llevadas al horno a una temperatura de 70° C por una semana. Para la determinación de la producción de materia fresca, cosecha final (306 dds) se seleccionaron cuatro plantas de cada sub-parcela, correspondiente a cada uno de los bloques para un total de 12 plantas por variedad y luego se midió el peso fresco (Fig.4).

Para medir el crecimiento en las raíces de apio se usaron los índices: tasa de crecimiento relativo de raíces (TCR) y tasa de crecimiento absoluto (TCA) propuesta por Hunt (1978):

Tasa de crecimiento relativo (TCR)

$$\text{TCR} = (\log W_2 - \log W_1) / (T_2 - T_1)$$

En donde:

W = Peso seco.

T = Tiempo (días).

Log = Logaritmo natural.

Tasa de crecimiento absoluto (TCA)

$$\text{TCA} = (W_2 - W_1) / T_2 - T_1.$$

T = Tiempo (días).

W = Peso seco.

2.3.2. Área foliar (AF, cm²): Se midieron todas las láminas foliares de la planta en un medidor de área foliar LI-3100 marca LICOR en el laboratorio del Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE) de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes, correspondiente a cada variedad. (Fig.7).

2.3.3. Área foliar específica (AFE, cm² g⁻¹): Después de haber medido el AF, se colocaron las láminas foliares en bolsas de papel para un posterior secado al horno, a una temperatura de 70 °C durante un periodo de 1

semana y determinar su peso seco con el uso de la balanza. La fórmula propuesta por Hunt (1978) para determinar el AFE es:

$$\text{AFE} = \text{Área foliar} / \text{Peso seco foliar}$$



Fig 7. Medidor del área foliar Licor 3100.

2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.

Se realizó un análisis de varianza, y se aplicó la prueba de Tukey ($P < 0,05$) para evaluar las diferencias entre medias entre las diferentes variedades para las variables de producción de raíces y tasas de asimilación de CO_2 .

3. RESULTADOS

3.1. Distribución de la Precipitación en el Sector Santa Rosa

En la Figura 8 se muestran los valores de precipitación para el Sector Santa Rosa, registrados durante el período del ensayo. En la zona de estudio se diferencian dos períodos secos de aproximadamente 25 días (entre 98 -123 y 179-205 dds), y los periodos de lluvia fueron desde los 75 a los 98 dds con precipitaciones promedio por debajo de 10 mm, con excepción de los 76 dds donde se registró 98 mm de precipitación. Un segundo período comenzó con lluvias desde los 123 a los-179 dds, con la mayor precipitación de 85 mm a los 130 dds y las mínimas promedio llegaron a 0 mm en dds. Entre los 207-306 dds hubo una gran variabilidad en las precipitaciones, las mayores precipitaciones ocurrieron a los 215 y 250 dds con precipitaciones de 63 y 97 mm, respectivamente. Como se aprecian las mediciones de intercambio se realizaron tanto en periodos secos donde hubo riegos, como en medianas y altas precipitaciones.

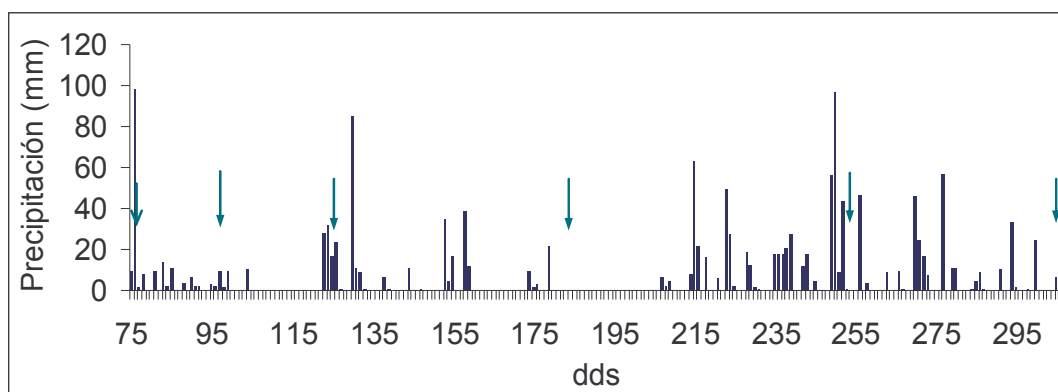


Fig 8. Distribución de las precipitaciones para el período (2004-2005), en días después de la siembra (dds) del Sector Santa Rosa (Datos reportados por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias I.I.A.P). Se indican los momentos de las mediciones (↓)

3.2 Cursos diarios de Intercambio de gases y DPV

De los 6 cursos diarios de mediciones de intercambio de gases y temperatura foliar, temperatura del aire y humedad relativa, se escogió el realizado a los 97 dds, perteneciente al mes de diciembre, como curso diario representativo para la discusión. Los otros cursos diarios son mostrados en los anexos; los cuales muestran tendencias muy similares.

En la Figura 9 se presenta el curso diario para Bandera. El patrón de curso diario de DFFF, E y A son similares, presentando las máximas a las 10:30 h con valores de $1.979 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $5,79 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. En este momento se alcanzó la conductancia estomática foliar (Gs) máxima ($162,9 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (Fig. 9 c) y luego descendió en horas de la tarde, siendo también apreciable semejante disminución de los Ci/Ca. Los DPV se mantuvieron relativamente constantes (2,5 KPa) hasta las 12:30 h, en horas de la tarde disminuyeron a valores de 1 KPa debido a la disminución de la radiación. Esta tendencia fue similar para la medición de las otras variedades (Fig 9e-13e) así como los otros cursos diarios (anexos).

En la variedad Cebollo, se encontró la tendencia de tasas constantes de A hasta las 12:30 h y posteriormente disminuyeron durante el resto de la tarde a $6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. La Gs y E, presentaron los valores máximos a la 10:30 h con valores de $190 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y $4 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente. El Ci/Ca disminuyó a valores de 0,47 KPa, respectivamente (Fig.10).

En la variedad Cacho (Fig.11), la DFFF presentó tendencias similares a Bandera. La máxima tasa de asimilación de CO₂ (14 μmol m⁻²s⁻¹) fue obtenida a las 10:30 h. Las tasas transpiratorias fueron cercanas y similares a las obtenidas en la variedad Cebollo (Fig.10 d). Las menores Ci/Ca se encontraron en el momento de las mayores tasas de asimilación de CO₂.

Para la variedad Bayuelo (Fig.12), la A presentó cierta tendencia a mantenerse constante entre las 8:30 y 12:30 h con valores cercanos a 12 μmol m⁻²s⁻¹ y posteriormente se observó una disminución progresiva a lo largo del día. La DFFF fue coincidente con las mayores Gs de las 10:30 h, alcanzando para este momento una E de 3 mmol m⁻²s⁻¹. El Ci/Ca aumentó en el transcurso de la tarde.

En la variedad Chamero (Fig. 13), se observó una tendencia similar en el comportamiento de las curvas de DFFF, A, Gs y E. A las 10:30 h se alcanzaron las máximas DFFF con un valor de 1494 μmol m⁻²s⁻¹, y tasas de asimilación cercanas a 16 μmol m⁻²s⁻¹. Es de apreciar que ocurrieron incrementos progresivos de las Ci/Ca a lo largo del día alcanzando valores de 0,6 KPa a las 15:30 h.

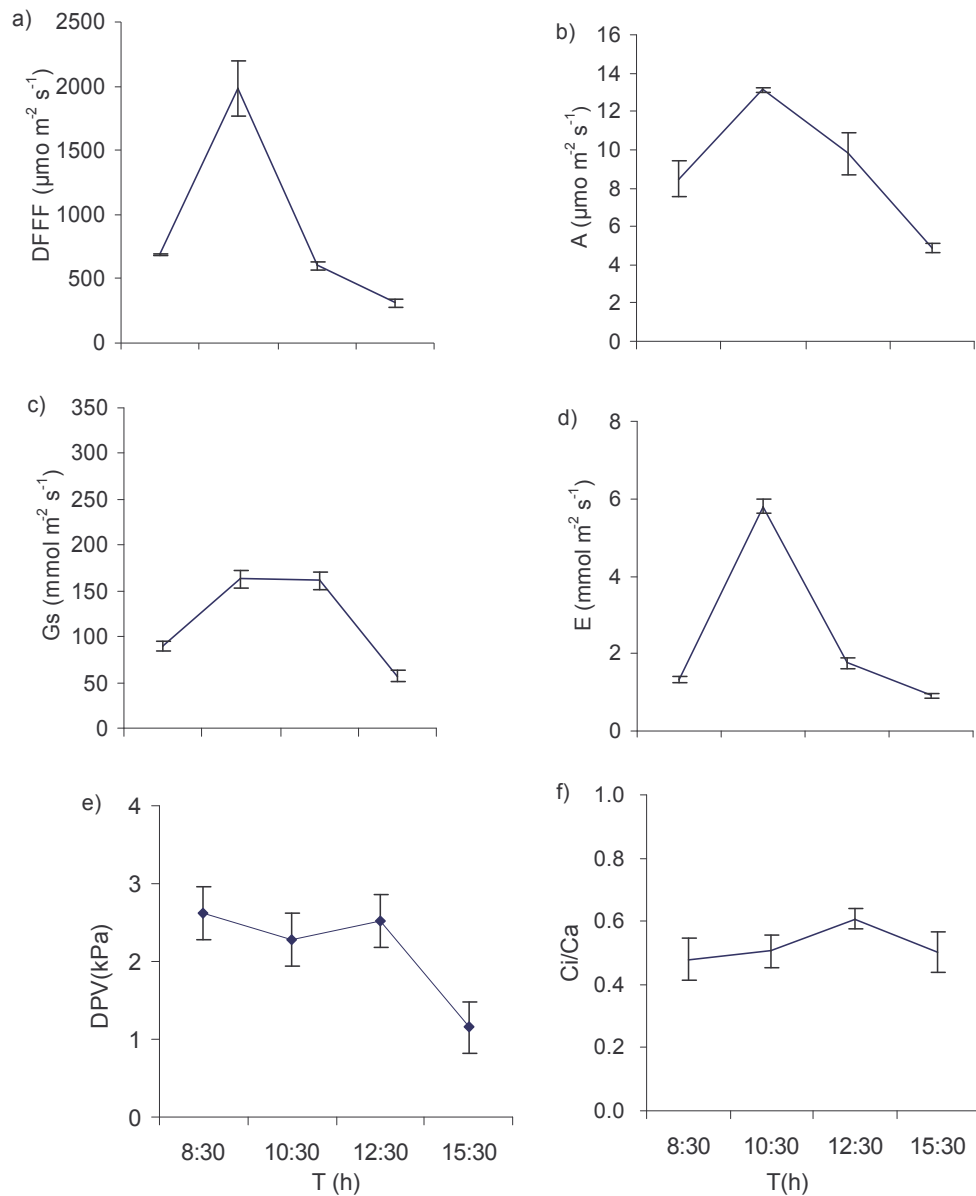


Fig 9. Cursos diarios de a) Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF) b) Tasa de asimilación de CO_2 (A), c) Conductancia estomática foliar (Gs), d) Tasa Transpiratoria (E), e) Diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire (DPV), f) Relación entre concentración interna y externa de CO_2 (Ci/Ca) para la variedad Bandera a los 97 días después de la siembra (dds). Las barras indican los errores estándar.

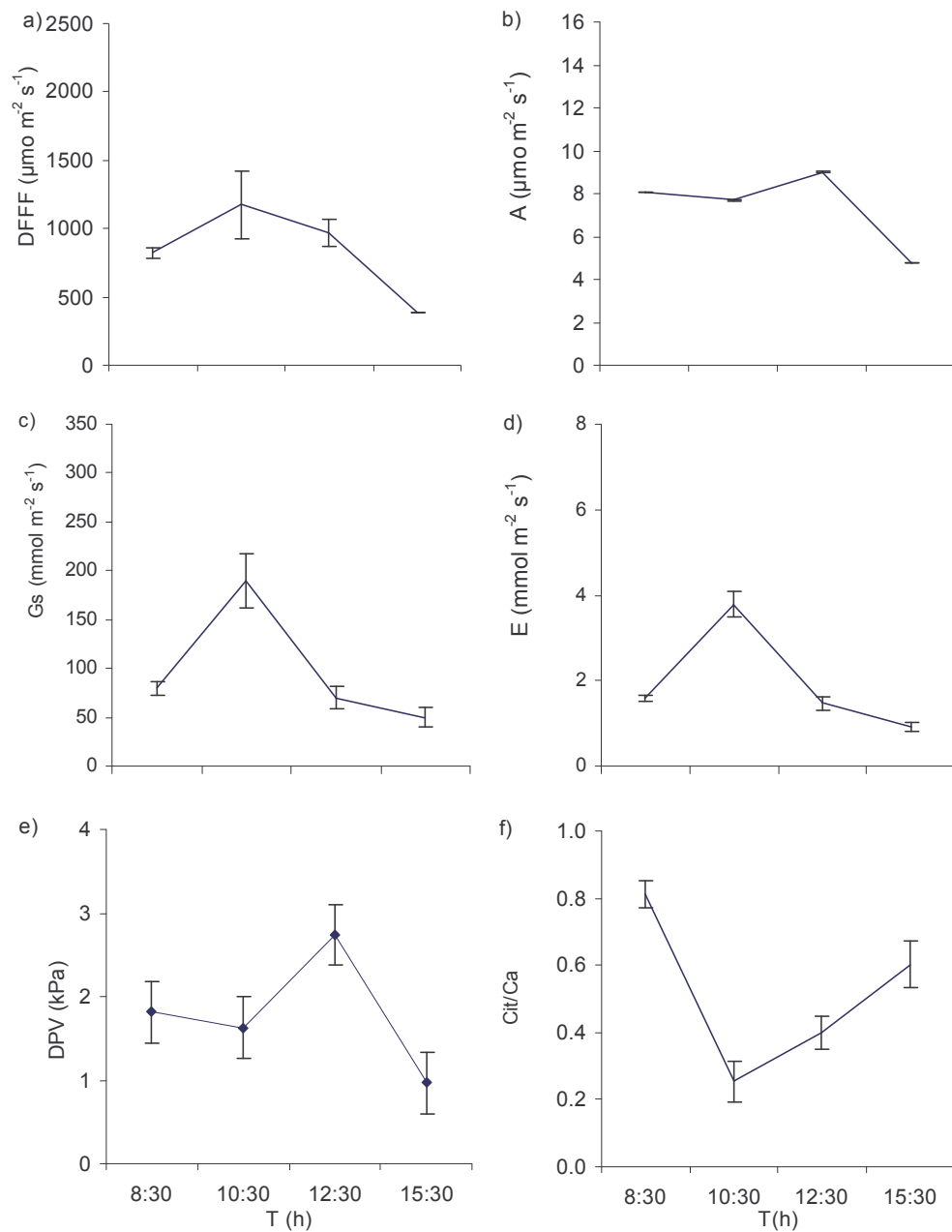


Fig 10. Cursos diarios de a) Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF) b) Tasa de asimilación de CO_2 (A), c) Conductancia estomática foliar (Gs), d) Tasa Transpiratoria (E), e) Diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire (DPV), f) Relación entre concentración interna y externa de CO_2 (Ci/Ca) para la variedad Cebollo los 97 días después de la siembra (dds). Las barras indican los errores estándar.

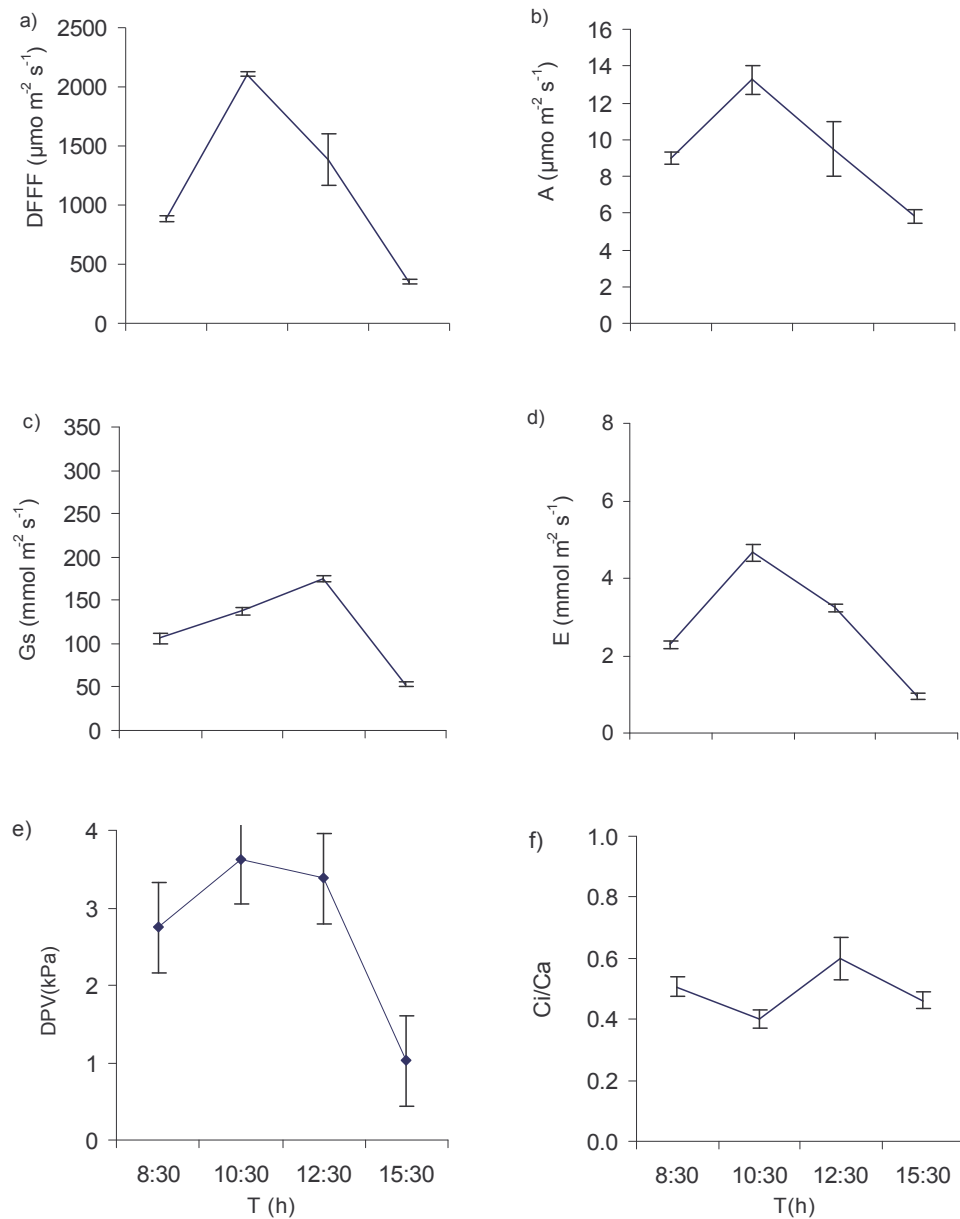


Fig 11. Cursos diarios de a) Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF) b) Tasa de asimilación de CO_2 (A), c) Conductancia estomática foliar (Gs), d) Tasa Transpiratoria (E), e) Diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire (DPV), f) Relación entre concentración interna y externa de CO_2 (Ci/Ca) para la variedad Cacho a los 97 días después de la siembra (dds). Las barras indican los errores estándar.

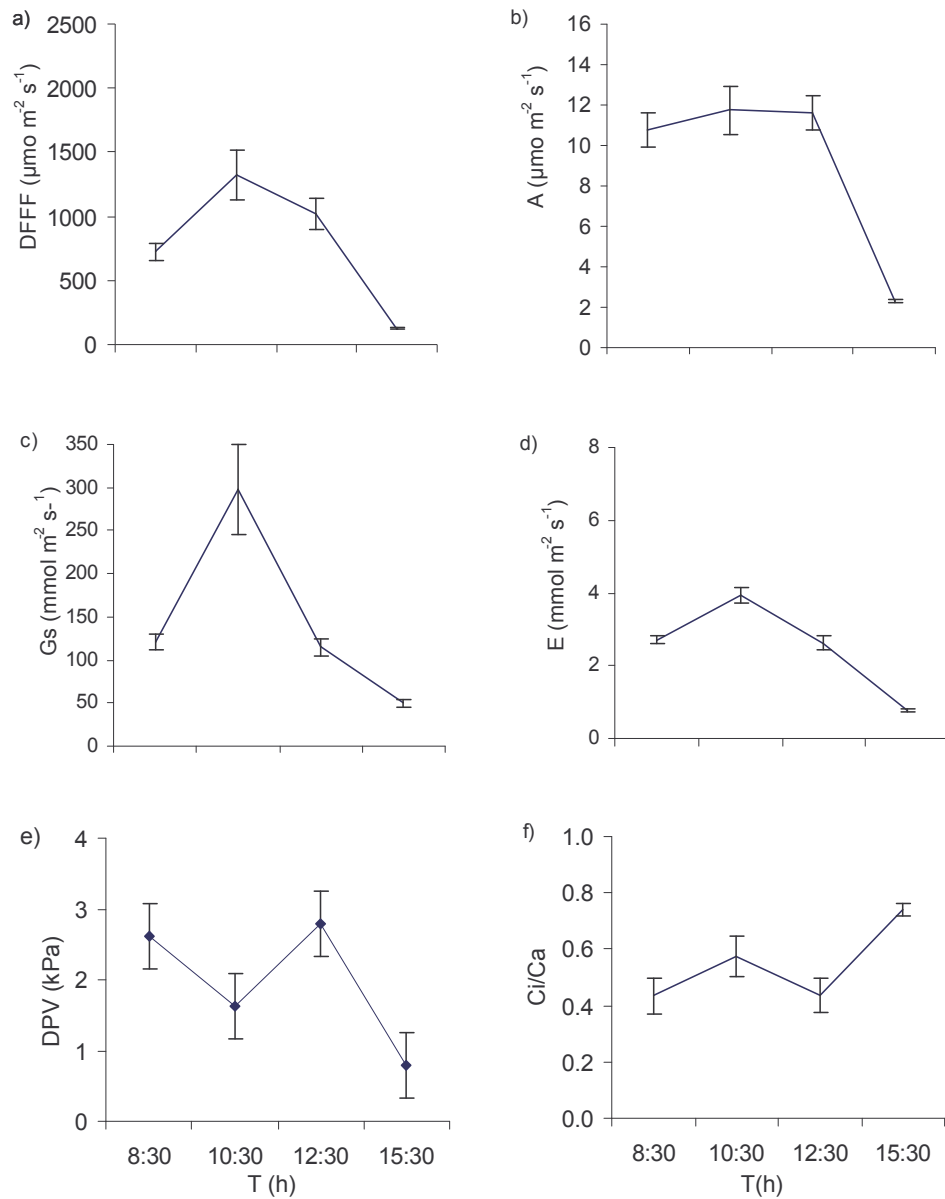


Fig 12. Cursos diarios de a) Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF) b) Tasa de asimilación de CO_2 (A), c) Conductancia estomática foliar (Gs), d) Tasa transpiratoria (E), e) Diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire (DPV), f) Relación entre concentración interna y externa de CO_2 (Ci/Ca) para la variedad Bayuelo a los 97 días después de la siembra (dds). Las barras indican los errores estándar.

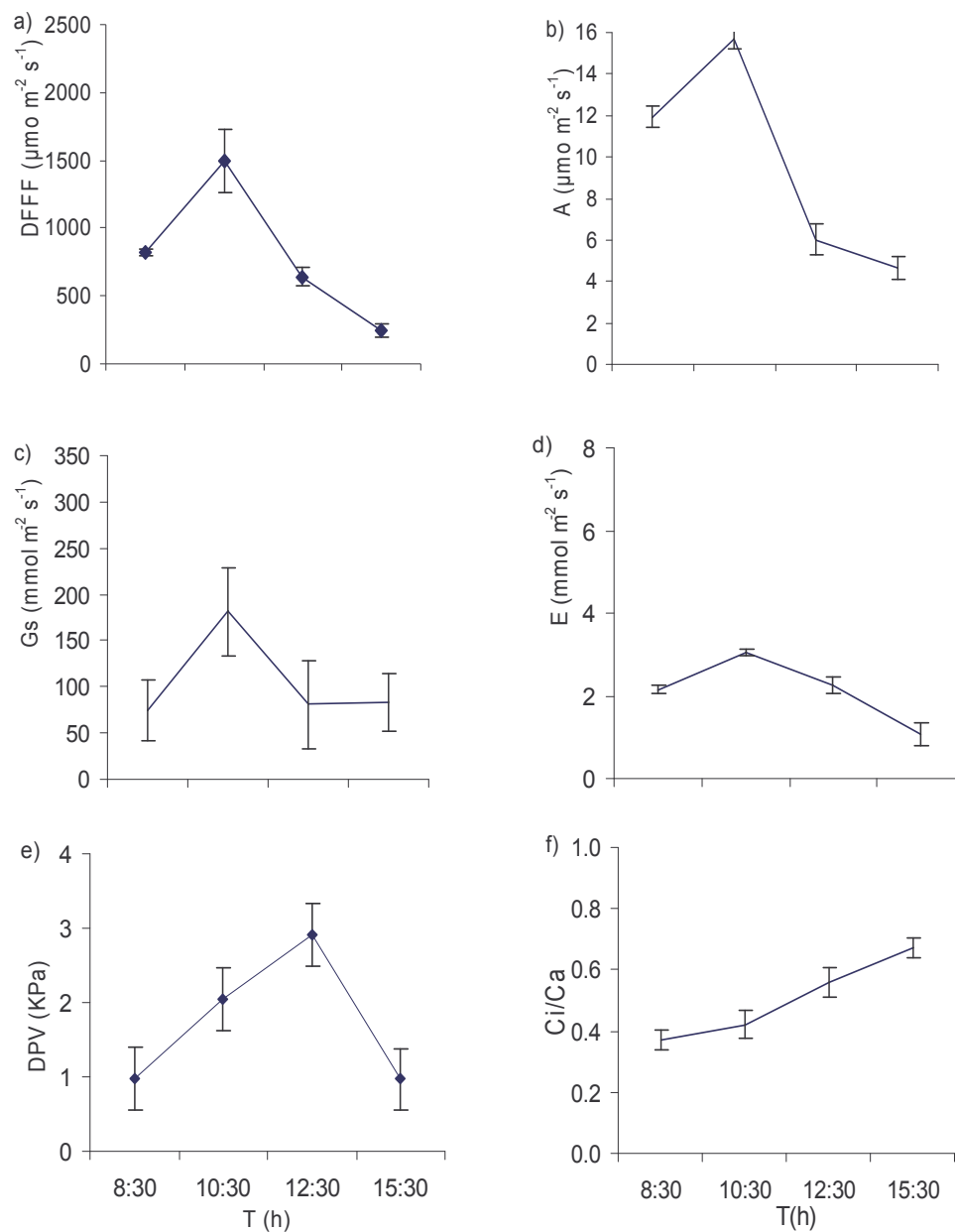


Fig 13. Cursos diarios de a) Densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF) b) Tasa de asimilación de CO_2 (A), c) Conductancia estomática foliar (Gs), d) Tasa transpiratoria (E), e) Diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire (DPV), f) Relación entre concentración interna y externa de CO_2 (Ci/Ca) para la variedad Chamero a los 97 días después de la siembra (dds). Las barras indican los errores estándar.

En las Figuras (14 a, b, c, d) se observa los valores promedios diarios de A, E, Gs y Ci/Ca de los distintos estadios del ciclo de cultivo. Las más altas tasas de asimilación se encontraron a los 75 dds con valores de 11.23, 10.97, 12.39 y 11.96 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para las variedades Ban, Cac, Bay y Cha, respectivamente (Fig.14 a) y entre los 97,124,182 dds las tasas de asimilación de CO₂, para todas las variedades de apio se mantuvieron relativamente constante, la variedad Ce presenta A menores (8.13 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) durante todo el ciclo de vida. Por otro lado, las menores tasas de asimilación de CO₂ fueron obtenidas para el momento de la cosecha final. Las tasas transpiratorias fluctuaron durante los distintos estadios del ciclo de cultivo entre 2 y 4 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Fig 14 b).

Las conductancias estomáticas foliares fueron relativamente similares durante los 75 -124 dds, con la tendencia de disminuir a los 182 (Fig 14 c).

Se obtuvieron comportamientos similares entre las relaciones de Ci/Ca de todos las variedades de apio (Fig. 14 d), con la tendencia de encontrarse los valores máximos en el momento de la cosecha final donde existen disminuciones en las tasas de asimilación de CO₂ (A).

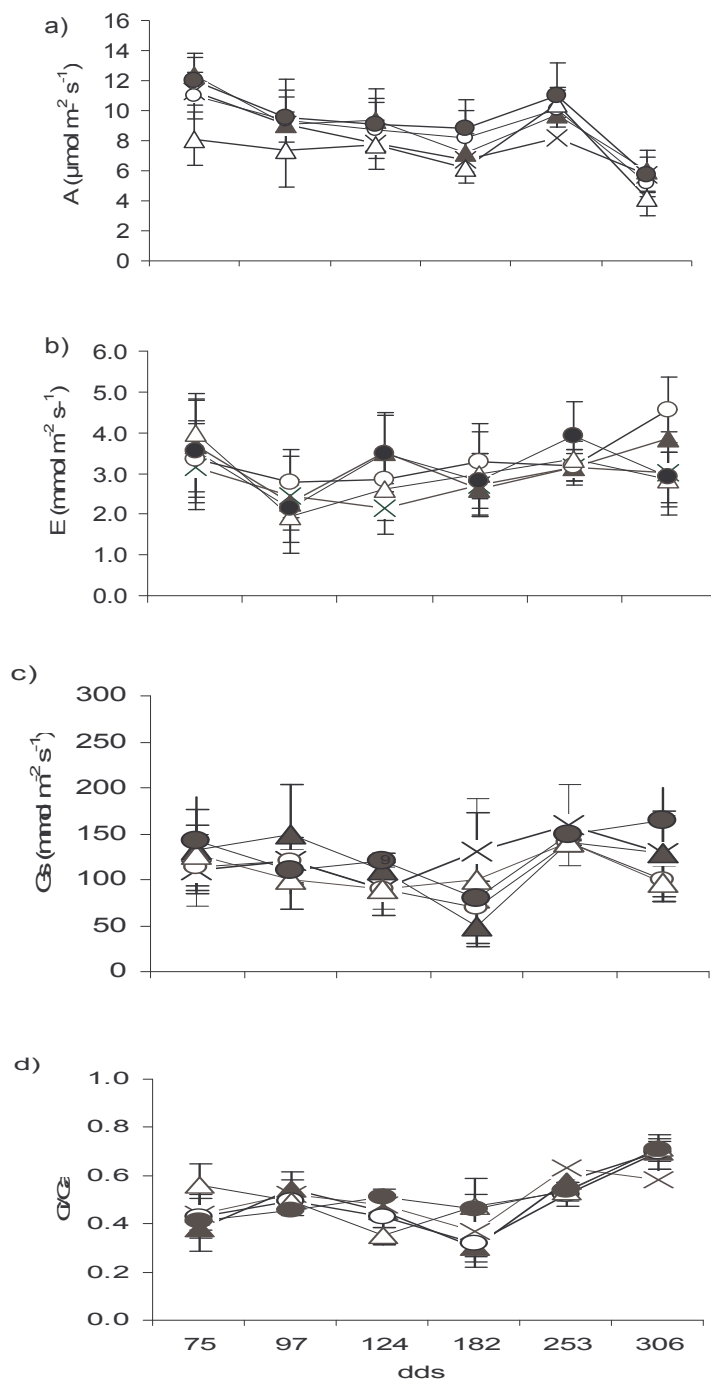


Fig 14. Promedios diarios de intercambio de gases para las cinco variedades de apio: x Ban, △Ce, ○ Cac, ▲ Bay, ● Cha. a) Tasa de asimilación de CO₂ (A), b) Conductancia estomática foliar (Gs), c) Tasa transpiratoria (E), d) Relación entre concentraciones internas externas de CO₂ (Ci/Ca) Las barras indican los errores estándar.

La correlación entre A y C_i/C_a , fue baja para todas las variedades, la relación es inversamente proporcional como lo indica la ecuación de regresión, Al incrementar la A disminuye la C_i/C_a (Tabla 4).

Tabla 4. Relación entre la tasa de asimilación de CO_2 (A) y las concentraciones internas y externas (C_i/C_a) de CO_2 para las diferentes variedades de apio.

Variedades	Ecuación de Regresión	R^2
Bandera	$Y = -0.0008x + 0.50$	0.0003
Cebollo	$Y = -0.0122x + 0.62$	0.04
Cacho	$Y = -0.029x + 0.78$	0.26
Bayuelo	$Y = -0.0236x + 0.70$	0.22
Chamero	$Y = -0.0213x + 0.78$	0.24

Las variedades Cha, Cac y Bay presentaron los mayores valores promedios y máximos promedios de las tasas de asimilación de CO_2 con relación a las otras dos variedades y en la Gs máximo promedio más alta se alcanzó para Bay sin apreciarse diferencias para las otras variedades. En relación a las tasas transpiratorias no hubo diferencias entre promedios y máximos entre las variedades (Figs.15 a, b, c).

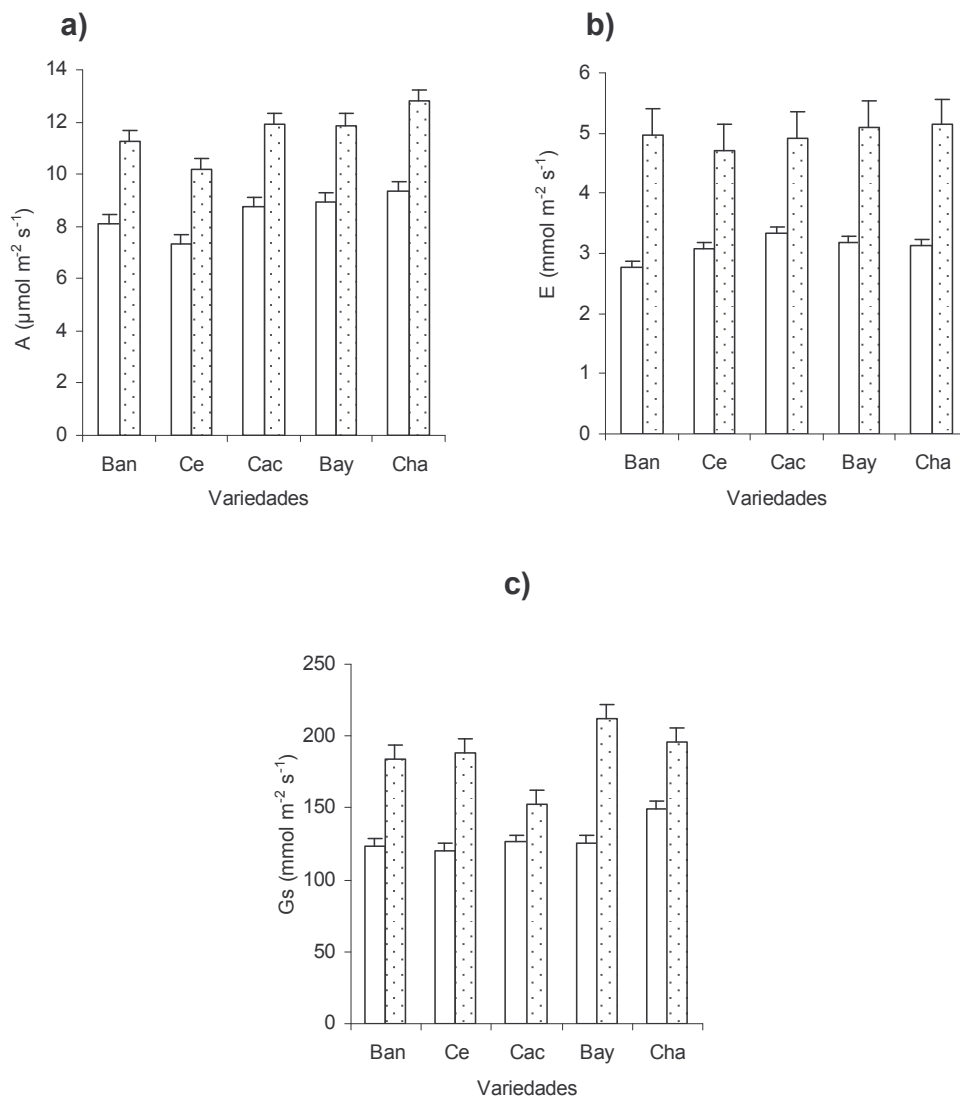


Fig 15. Promedios (□) y máximos promedios (▨) de todo el ciclo de cultivo. a) Tasas de asimilación de CO_2 , (A) (b) Tasas transpiratorias (E), c) Conductancias estomáticas foliares (Gs) para las variedades de apio criollo: Bandera (Ban), Cebollo (Ce), Cacho (Cac), Bayuelo (Bay) y Chamero (Cha). Las barras indican los errores estándar.

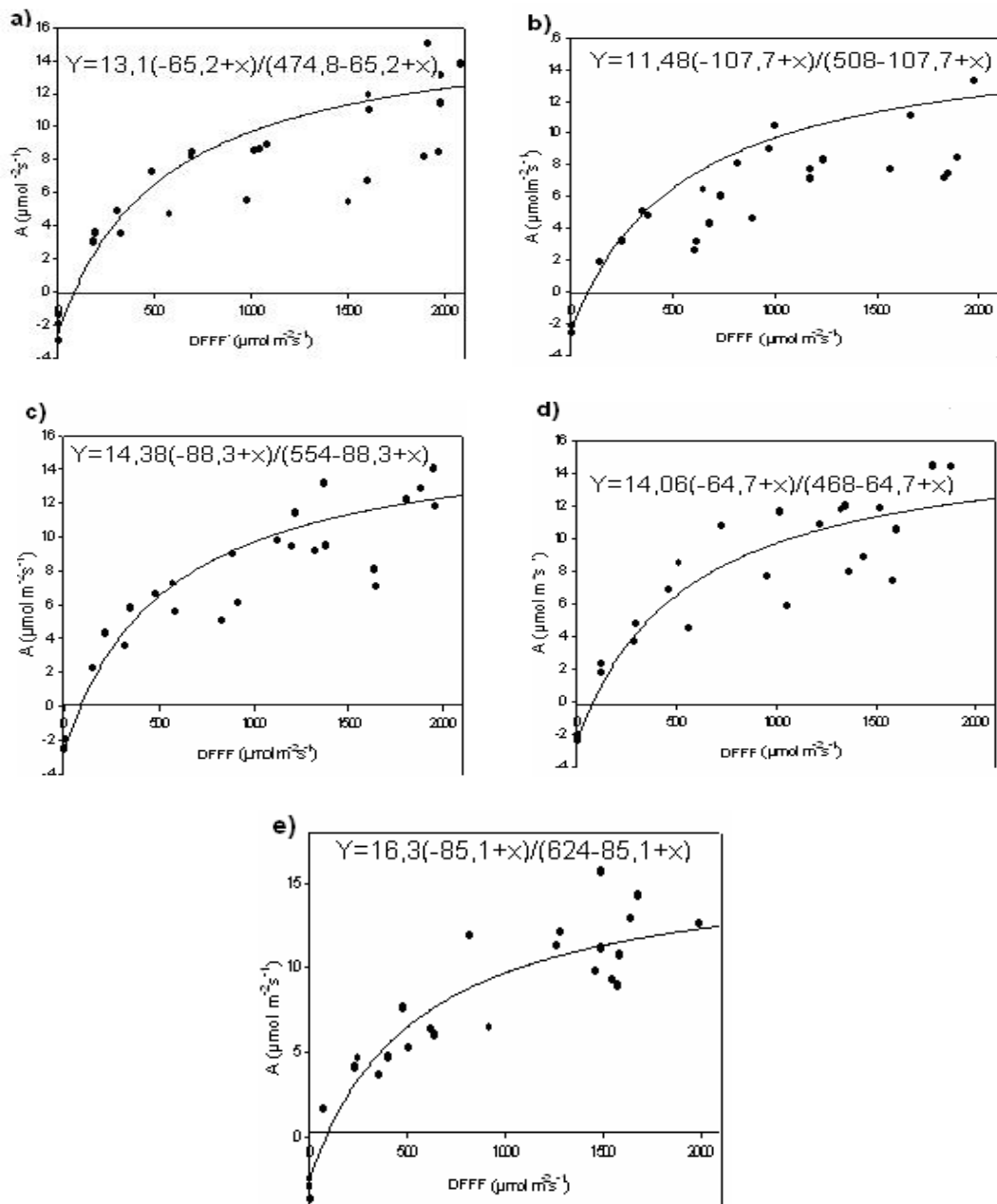


Fig 16. Relación entre la tasa de asimilación de CO₂ (A) y densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF) para las variedades a) Bandera, b) Cebollo, c) Cacho, d) Bayuelo, e) Chamero. Los puntos señalan las medias de todos los cursos diarios. La ecuación de la curva corresponde a una hipérbola rectangular.

3.3. Relación entre la tasa de asimilación de CO₂ (A) y densidad de flujo fotónico fotosintético (DFFF)

De la relación A vs DFFF (Figs.16 a, b, c, d, e). Se obtuvieron tasa de asimilación máximas de CO₂ (A máx) y puntos de compensación de luz (Pc) (Tabla 5). Correlaciones positivas fueron observadas en todas las variedades de apio, las mayores la presentó la variedad Cha con un R² = 0.87 y A máx de 16,3 μmol m⁻² s⁻¹. Sin embargo, Cac, Cha, Bay no difieren significativamente en sus valores de Amáx sus valores son próximos. En Ce fue estimado la menor A máx a 11,48 μmol m⁻² s⁻¹. Los puntos de compensación para las variedades de apio, oscilaron entre 64,7 y 107,7 μmol m⁻²s⁻¹.

Tabla 5. Tasa de asimilación máxima relativa (A máx), punto de compensación de luz (Pc), correlaciones (R²) para las variedades de apio andino: Bandera (Ban), Cebollo (Ce), Cacho (Cac), Bayuelo (Bay) y Chamero (Cha).

Variedades	Amáx (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Pc (μmol m ⁻² s ⁻¹)	R ²
Bandera	13,1 ± 0,67	65,2	0,79
Cebollo	11,48 ± 0,56	107,7	0,81
Cacho	14,38 ± 0,68	88,3	0,85
Bayuelo	14,06 ± 0,75	64,7	0,81
Chamero	16,3 ± 0,79	85,1	0,87

3.4. Asimilación total de CO₂ (A tot)

Las variedades Ban, Cac, Bay y Cha no presentaron diferencias significativas en las A tot, estas variedades difieren de la variedad Ce que presenta el valor mínimo de A tot (167 mmol m⁻²dia⁻¹) (Tabla 6).

Tabla 6. Asimilación total de CO₂ (A tot) valores con diferentes letras indica diferencias significativas de (P< 0,05)

Variedades	A tot (mmol.m ⁻² dia ⁻¹)
Bandera	200 ± 21,6 a
Cebollo	167 ± 7,8 b
Cacho	215 ± 12,7 a
Bayuelo	211 ± 20,6 a
Chamero	225 ± 16,2 a

3.5. Relación entre la tasa de asimilación de CO₂ (A) y conductancia foliar estomática (Gs).

Fueron encontradas correlaciones similares y bajas entre las tasas de asimilación de CO₂ y Gs, para las variedades de apio (Fig. 17).

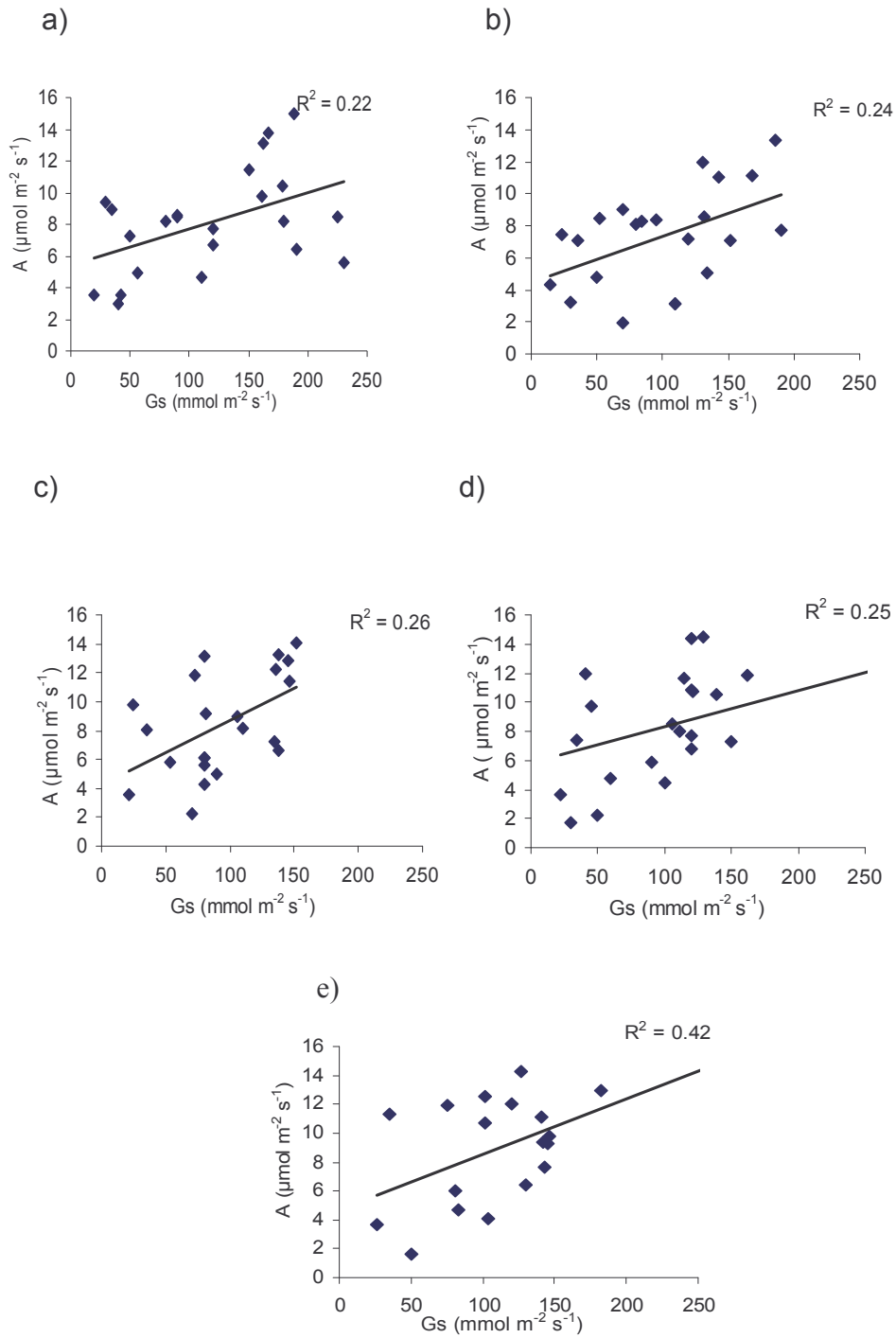


Fig 17. Relación entre la tasa de asimilación de CO₂ y conductancia foliar estomática (Gs) para las variedades a) Bandera, b) Cebollo, c) Cacho, d) Bayuelo, e) Chamero.

3.6. Potenciales hídricos foliares (Ψ_f)

Los potenciales hídricos disminuyeron para todas las variedades, a las 12:30 y 13:16 h a los 97 y 124 dds, respectivamente (Fig.18), sin existir diferencias significativas entre variedades. Se apreció entre las 9 y 10 h a los 124 dds una disminución por debajo de -1.00 MPa en potenciales foliares, en contraste con los 97 dds (Fig.18 a, b).

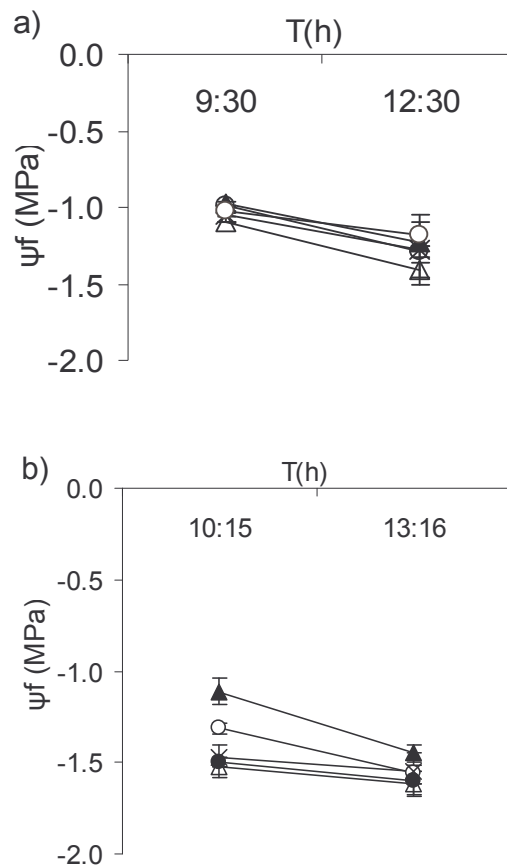


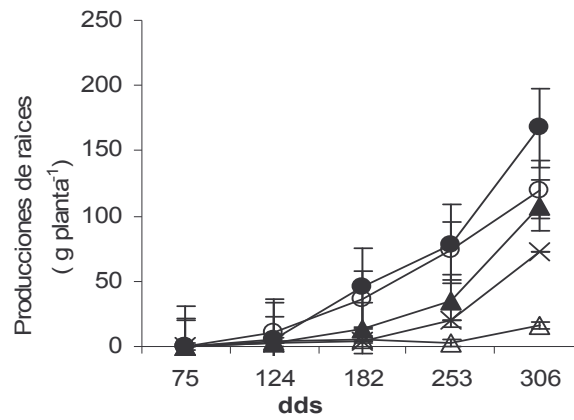
Fig. 18. Potenciales hídricos (Ψ_f) para las cinco variedades de apio criollo: x Ban, Δ Ceb, \circ Cac, \blacktriangle Bay, \bullet Cha .a) 97 dds, b) 124 dds.

3.7. Producción de raíces e Índices de crecimiento de raíces.

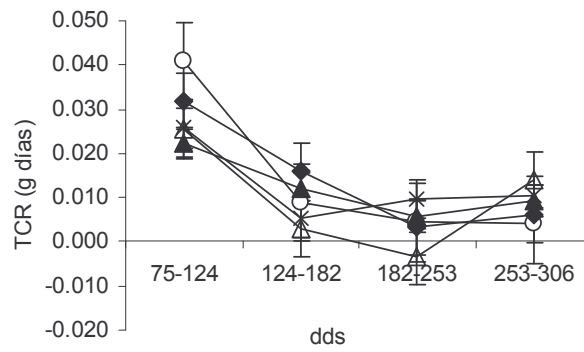
Entre los 75-124 dds existe similitud en la producción entre las variedades de apio, manifestando diferencias en el crecimiento de raíces a partir de los 182 dds. Al finalizar el tiempo de cosecha 306 dds Chamero presenta la máxima materia seca de raíces con $167,59 \text{ g planta}^{-1}$ con relación a las otras variedades (Fig 19 a, b).

Se diferenciaron 4 etapas del ciclo de cultivo (75-124, 124-182, 182-253, 253-306) para las variedades de apio con relación a las tasas de crecimiento relativo y absoluto. En el crecimiento relativo de raíces (Fig. 19 b) se observó un aumento en la primera etapa del ciclo de cultivo (75-124 dds), con una disminución en las siguientes fases del cultivo sin existir diferencias significativas entre ellas. En el primer estadio (75-124) los fotoasimilados de las hojas son destinados hacia las raíces y al transcurrir el tiempo los fotoasimilados de la producción de raíces posiblemente ocurran a una velocidad relativamente baja. La tasa de crecimiento absoluto mayor para todas las variedades fue obtenido para el último periodo de la cosecha. (Fig. 19 c)

a)



b)



c)

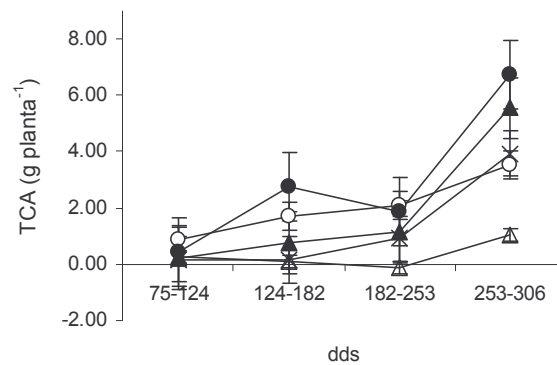


Fig 19. (a) Producción de materia seca de raíces, b) Tasa de crecimiento relativo (TCR) y (c) Tasa de crecimiento absoluto (TCA) en distintos estadios del ciclo de cultivo para las variedades: x Ban, △Ce, ○Cac, ▲ Bay, ● Cha. Las barras indican los valores estándar.

La mayor producción de materia fresca de raíces fue obtenida para las variedades Cacho (400,96 g planta⁻¹); Bayuelo (159,95) y Chamero (308,20 g planta⁻¹), respectivamente. No existieron diferencias significativas entre estas tres variedades (Tabla 7).

Tabla 7. Producción de materia fresca de raíces para las cinco variedades de apio, valores con diferentes letras indica diferencias significativas (P< 0,05).

Variedades	Producción (g planta ⁻¹)
Bandera	82,20 b ± 34,0
Cebollo	67,37 b ± 46,5
Cacho	400,96 a ± 106,3
Bayuelo	159,95 a ± 116,9
Chamero	308,20 a ± 156,8

Correlaciones altas con un $R^2 = 0.66$ se observó para las variedades de apio en relación a la producción de materia seca y fresca, presentando la más baja para Cebollo y la más alta para Chamero y Cacho (Fig. 20)

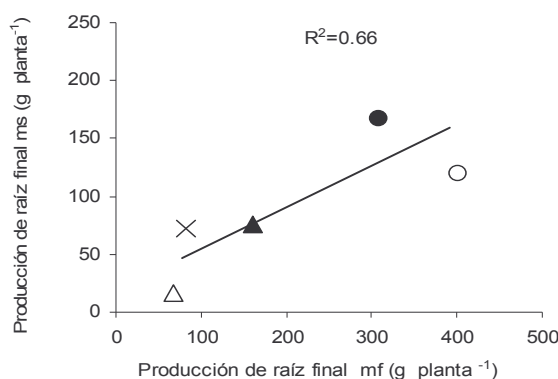


Fig 20. Relación entre producción de materia seca (ms) y materia fresca (mf) de raíces para las variedades: x Ban, △Ce, ○ Cac, ▲ Bay, ● Cha.

3.8. Relaciones entre tasas de asimilación de CO₂: asimilación promedio (A prom), máximos promedios (A máx. prom), asimilación máximo relativo (A máx) y totales (A tot) con la producción de materia (seca y fresca) de raíces.

Durante la última fase de crecimiento (306 dds), se obtuvieron altas correlaciones de producción de materia seca y fresca de raíces con relación a la tasa de asimilación de CO₂ para las variedades de apio. Para la producción de materia seca de raíces, los valores de R² en relación a las A prom, A máx prom, Amáx, A tot, fluctuaron entre 0,79 – 0,95 (Fig. 21 a, b, c, d). Para la producción de materia fresca de raíces los valores de R² fluctuaron entre 0,68- 0,70.

3.9. Relación entre el área foliar específica (AFE) y la producción de materia seca de raíces.

Todas las variedades presentaron tendencia similares en su comportamiento. A los 124 dds se registraron las máximas AFE con valores alrededor de 240 cm² g⁻¹ para todas las variedades de apio, lo cual indica el máximo crecimiento de la lámina foliar, posteriormente disminuyeron las AFE hasta la cosecha final (306 dds) (Fig. 22 a). Se apreciaron altas correlaciones de AFE y producciones de materia seca de raíces en la última (R²=0,92) y penúltima cosecha (R²=0,91). En las anteriores cosechas se apreció la tendencia de presentarse correlaciones medias, como en el caso de la antepenúltima cosecha (182 dds) (Fig. 22 b) mientras en la primera cosecha la relación fue más débil (R²= 0.33).

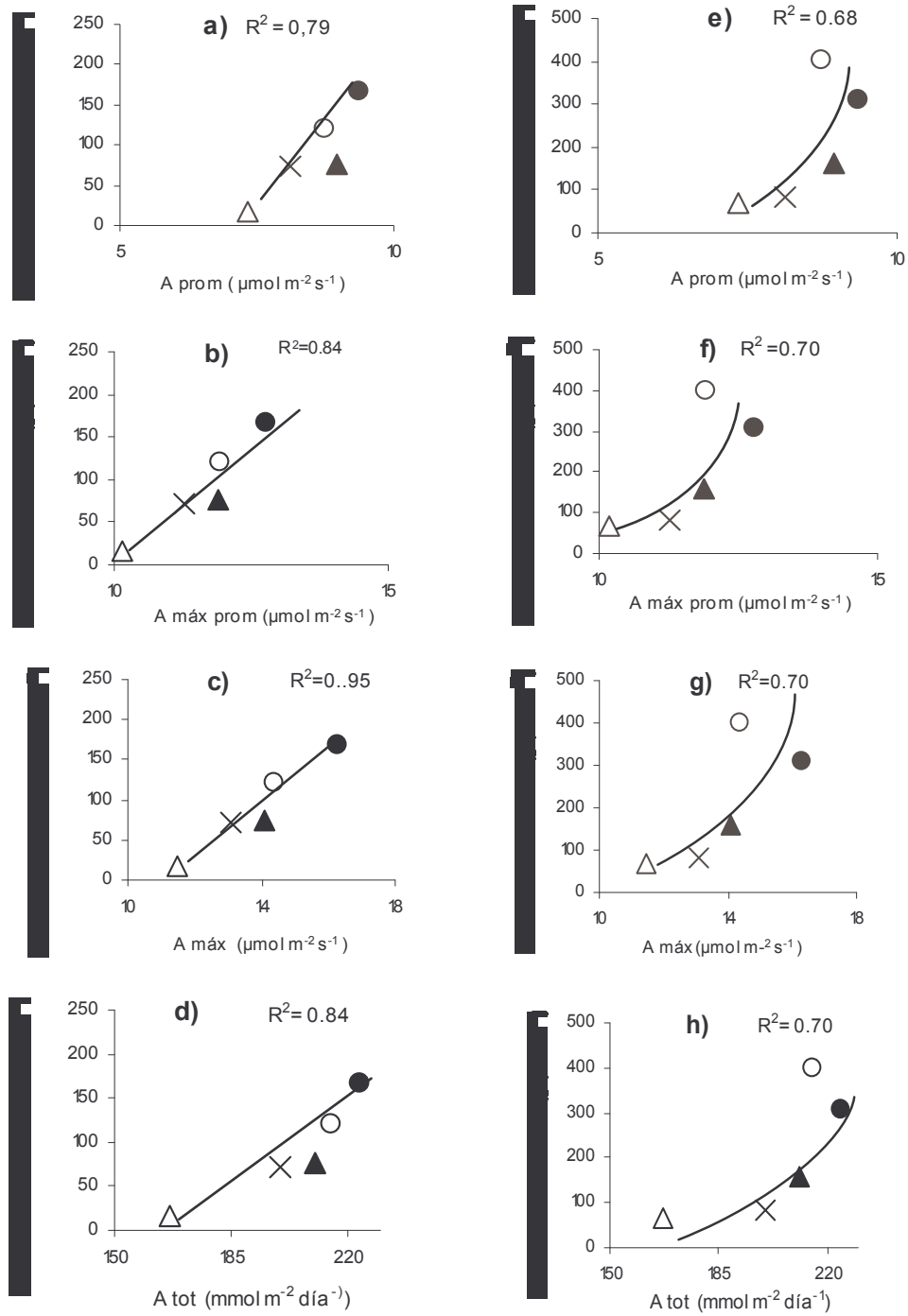


Fig 21. a - d) materia seca, e - h) materia fresca final. Relación de Asimilación promedio (A prom) A máximo promedio (A máx prom), A máx relativo (obtenido de la curva A vs DFFF), Asimilación total (A tot), con producción de materia de raíces, para las variedades: x Bandera, △Cebollo, ○ Cacho, ▲ Bayuelo, ● Chamero.

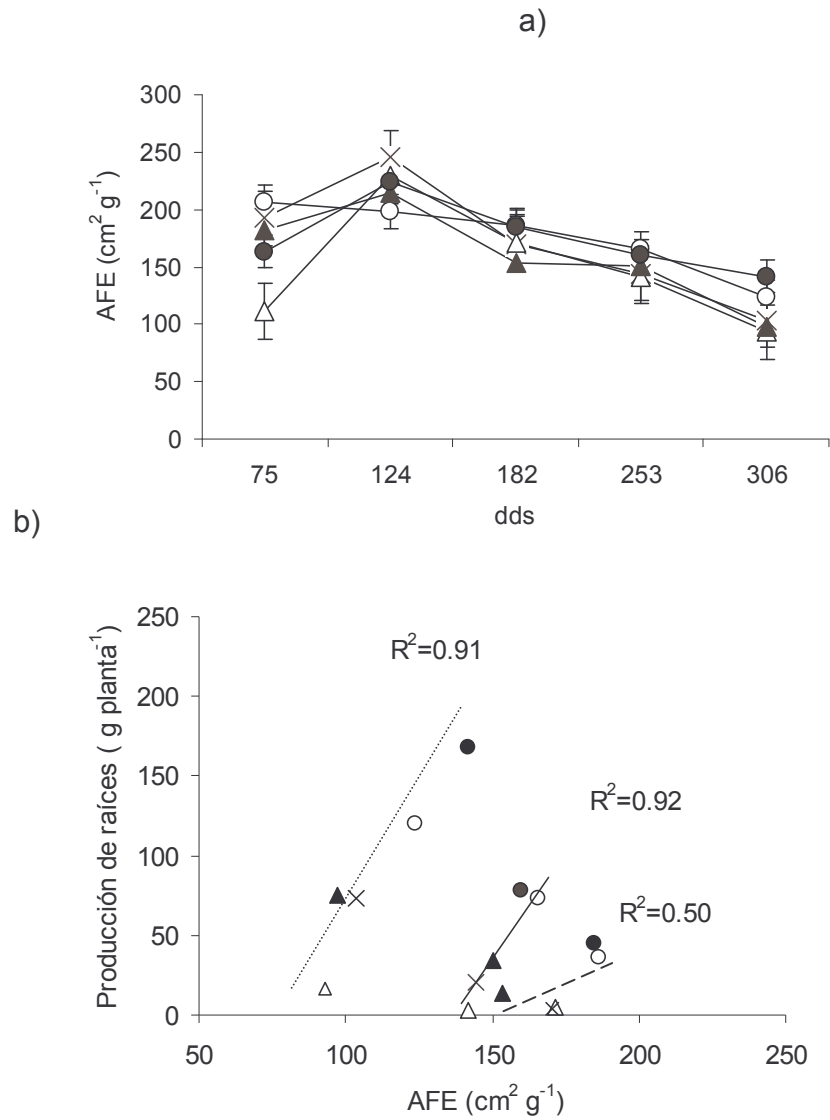


Fig. 22. a) Áreas foliares específicas (AFE) en distintos estadios del ciclo de cultivo, b) Relación de AFE y producción de materia seca de raíces para la última cosecha 306 dds (...), penúltima cosecha 253 dds (—), antepenúltima cosecha 182dds (- -) para las cinco variedades de apio: x Ban, △Ceb, ○ Cac, ▲ Bay, ● Cha.

3.10. Relación ente las tasas respiratorias totales (R tot) y Asimilación total (A tot) en las cinco variedades de apio.

No existen diferencias en A tot, A tot / R tot para todas las variedades de apio. Es de apreciar que las R tot de Bandera y Bayuelo son las más bajas (30.2 - 33 mmol m⁻² día⁻¹) comparado con las otras variedades (Tabla 8).

Tabla 8. Relaciones entre las tasas respiratorias totales (R tot) y Asimilación total (A tot) de la última cosecha (306 dds) para las cinco variedades de apio: Bandera, Cebollo, Cacho, Bayuelo y Chamero.

Variedades	R tot mmol m ⁻² s ⁻¹	A tot mmol m ⁻² día ⁻¹	A tot/ R tot
Bandera	30,2	98,8	3,3
Cebollo	45,4	81,0	1,8
Cacho	40,5	73,3	1,8
Bayuelo	33,0	106,5	3,2
Chamero	42,9	100,1	2,4

4. DISCUSIÓN

Para cultivares de apio se encontraron correlaciones bajas entre las A y Gs, así como lo registrado en los cursos diarios donde se apreciaron similares tendencias. Esto parece indicar que en apio, al existir una buena condición hídrica, es decir una alta disponibilidad de agua en el suelo, como en efecto ocurrió durante todo el cultivo, el A responde a cambios de DFFF, más que a la Gs. Se debe acotar que a un momento de poca disponibilidad en los períodos secos se mantuvo riegos por aspersión, lo que indica que las plantas no estuvieron bajo un déficit de agua severo que disminuyera la conductancia estomática. Faville *et al.*, (1999) reportaron en cultivares de espárragos correlaciones altas entre las Amáx y Gs, lo que parece indicar que las diferencias de las Gs de las variedades contribuye significativamente a la variación de la Amáx. Un aspecto probablemente no evaluado en apio es diferenciar las respuestas entre cultivares en condiciones de limitaciones hídricas y sus efectos en la producción de raíces. Por lo tanto, quedan abiertas las investigaciones orientadas en estas áreas. Los pocos valores obtenidos para los potenciales hídricos del ensayo no permiten inferir sobre la presencia ó ausencia del estrés hídrico en las plantas de apio, a pesar de la aplicación de riegos y lluvias.

Investigaciones demuestran que las menores tasas fotosintéticas y de conductancia estomática foliar bajo el estrés hídrico correspondan probablemente a la mayor resistencia al intercambio gaseoso a nivel del

estoma, sin que encuentren afectados los procesos a nivel celular (Filgueira *et al.*, 1998).

Sánchez y Aguirreolea (2000a) hacen referencia a las conductancias estomáticas foliares varían en proporción con las tasas de asimilación de CO₂, la señal proveniente del mesófilo permite el control en la abertura estomática, bajas concentraciones de C_i a nivel del mesófilo inducen a una abertura estomática y viceversa. En el caso del apio se encontraron muy bajas correlaciones entre la relación de A y C_i/C_a, pareciera que las conductancias tampoco están respondiendo a la concentración interna de CO₂.

De acuerdo a los resultados, la relación A vs DFFF entre las variedades de apio muestran correlaciones altas. Es de apreciar en las variedades Cacho Chamero, probablemente presenten una adaptación del aparato fotosintético a las mayores intensidades de luz. Relación significativa fue encontrada para el espárrago cultivar Karapiro, con alta producción, alta tasa de asimilación máxima relativa (5.1 μmol m⁻² s⁻¹) y DFFF (1400 μmol m⁻² s⁻¹), en relación a los cultivares UC-157 (2,1 μmol m⁻² s⁻¹) y Jersey Giant (2,9 μmol m⁻² s⁻¹) con igual DFFF obtenido para Karapiro. (Faville *et al.*, 1999).

En el AFE no se detectaron diferencias entre variedades de apio. Por otro lado, la disminución de la tasa de asimilación de CO₂ es explicado por el proceso senescente. Similar resultado fue reportado por Guo y Turnbull

(2002) en cultivares de espárragos ASP-69 y ASP-03. Se encontraron en plantas de algodón las máxima AFE presentes durante las primeras fases de crecimiento de la planta que tiende a declinar conforme avanza la edad de cultivo, dicha respuesta se debe que en las primeras fases de crecimiento las plantas invierten la mayor parte de los fotoasimilados en el establecimiento de su aparato fotosintético, cantidad que va disminuyendo gradualmente a medida que la planta acumula una mayor cantidad de carbohidratos en otros órganos de la planta, en especial de los reproductivos (Palomo *et al.*,2004). Similar tendencia fue encontrada en yuca (Fernández *et al.*,2002).

El AFE representa el costo energético para la formación de la superficie foliar. La cantidad de materia seca producida por una planta individual es un indicador de la capacidad de utilización de los recursos disponible para el crecimiento vegetal (Páez *et al.*, 2000). Las variedades de apio presentaron altas correlaciones con relación a la producción de raíces, por lo que el AFE también pudiera ser un indicativo de plantas con altas producciones de raíces de apio criollo, lo cual resulta importante, por ser una variable de fácil medición y no requiere de alta inversión en equipos. Un aspecto a resaltar es que el AFE puede medirse a partir de los 6 meses, aunque son bajas ($R^2=0.50$), con mayor precisión a los 8 meses ($R^2=0,92$) es una variable de alta confiabilidad para ser utilizados en la selección de variedades de alta producción.

No sólo la fotosíntesis afecta la producción, sino también la tasa respiratoria, esta ha sido separada funcionalmente por los componentes de mantenimiento y crecimiento, siendo relacionados con la síntesis de los

nuevos tejidos y tasa de recambio. Las disminuciones en las tasas respiratorias por unidad de materia seca puede ser un factor selectivo para contribuir al incremento de la productividad (Lawlor, 1995). En caso de disminuir los costos respiratorios de mantenimiento, las plantas pueden optimizar las ganancias del carbono al crecimiento con el fin de mejorar la economía del carbono. Se ha demostrado en diferentes genotipos de un cultivar que existe una relación inversa entre crecimiento y respiración, indicando en genotipos con bajas tasas respiratorias por mantenimiento crecen más rápidos (Rivas y González, 2000), esta tendencia no se presentó para las variedades de apio. Es preciso aclarar que es necesario realizar mediciones de respiración en otras etapas del crecimiento ya que los resultados preliminares sólo corresponden a medición de los 306 dds. Se ha encontrado comúnmente en las fases de crecimiento vegetativo de los cultivos el 80% de la respiración total con disminución en la fase de crecimiento reproductivo, por ejemplo un 20 % corresponde al llenado de granos de los cereales (Lawlor, 1995).

Se detectaron diferencias de producción de materia seca de raíces. La variedad Cac presentó la producción más alta, mientras la variedad Ce la más baja. Se observó una correlación positiva entre producción y asimilación de CO₂ de ($R^2=0,85$). Dicha tendencia fue también reportada para dos cultivares de espárragos (Guo y Turnbull, 2002), papa (Miglietta *et al.*, 2000).

Chandra *et al.*, (1985) señalan que el incremento de materia seca puede ser usado como un indicador de los potenciales de la más alta producción,

manifestado principalmente por una fase específica del desarrollo de cultivo. En los genotipos de Blackgraman (*Vigna mungo* L) se correspondieron correlaciones altas y significativas ($R^2=0,58$) de A de CO₂ y producción de materia seca en el temprano desarrollo de las vainas, semejante tendencia se apreció en las variedades de apio antes que las plantas completaran su estado de madurez con el inicio de florecimiento. De acuerdo a los aspectos agroclimáticos, los apiocultores de la zona andina recomiendan cosechar las plantas de apio antes de la floración, por que las raíces pierden su propiedad de acumular más carbohidratos y además pierden su sabor característico y aromático que caracteriza a la familia de las Umbelíferas, presentando como una de las mayores limitantes las altas tasa respiratorias que generan su rápida descomposición (Hermann, 1992; Mazón *et al.*, 1996; Noguera, 2001)

De acuerdo a Noguera (2001), la producción de raíces es variable en cuanto al piso climático y cultivar, considerando también la densidad de siembra, área, inclinación y fertilidad del terreno. En la zona de los pueblos del Sur del estado Mérida, para una densidad entre planta y planta 45 a 65 cm y de hilera a hilera de 55 a 75 cm (promedio de 20.000 plantas por hectárea), se ha reportado en producción de materia fresca de raíces por planta 622 g. Este valor supera a lo obtenido para las variedades en estudio en el sector Santa Rosa a densidad de 50 cm entre plantas y 50 cm entre hileras. Añez *et al.*, (2002). Los valores encontrados fueron inferiores, presentando un máximo de 400,96 g y mínimo de 82,20 g.

Los rendimientos de raíces, obtenidos son similares comparados a los obtenidos para los Pueblos del Sur, del estado Mérida, zona de gran producción comercial a nivel nacional. Según los informes, encuestas y estadística realizados a los apiocultores por Noguera (2001), la variedad Chamero y Cacho presentaron los rendimientos más altos, mientras las otras variedades sus valores son similares e inferiores. (Tabla 9).

Tabla 9. Rendimientos del Pueblo del sur (Ps) y sector Santa Rosa (SSR).

Variedades	Rendimientos (Kg/ Ha) Ps	Rendimientos (Kg/ Ha) SSR
Bandera	7.000	3.280
Cebollo	6.000	2.680
Cacho	15.000	16.000
Bayuelo	5.500	6.380
Chamero	16.000	12.300

La alta correlación de A máx relativo, Amáx, A máx prom, A tot y DFFF, en Cacho y Chamero, seguido de la variedad Bayuelo, es indicativo de alto rendimiento en estas variedades de apio en las condiciones que se trabajó, con la máxima expansión de su lámina foliar en relación a su peso (AFE), en donde existe la máxima intercepción de la DFFF. Obtener máximos valores en los parámetros A, AFE y DFFF, garantiza un incremento en la producción y rendimiento para la selección de variedades de apio.

Es recomendable hacer ensayos de siembra con las mismas variedades para otros ambientes de la zona de los Andes, con la finalidad de validar nuestros resultados, aunque Jaimez *et al* (2003) encontraron similares

resultados en la población de Capurí, lo que quiere decir que es probable que este comportamiento se de en otras condiciones agroecológicas. Son varios los aspectos que pudieran abordarse como son hacer marcaje de isótopo de carbono a las hojas seleccionadas y ver hacia que parte de la planta se localiza este isótopo y si existe o no alguna correlación con la distribución de asimilados. Además de medir la tasa de asimilación de CO₂, determinar la edad de la hoja y proseguir su crecimiento hasta finalizar el tiempo de cosecha y correlacionar estos factores. En *Arracacia xanthorrhiza* Bancr, por tratarse de una plantas con altos potenciales y propiedades medicinales, industriales, todavía están las puertas abiertas hacia la investigación.

5. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos y la discusión realizada se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- 5.1. La hipótesis propuesta, fue comprobada existe una relación alta de las tasas de asimilación del CO_2 (A) con la producción de raíces en las variedades de apio. Esta variable puede ser usado como criterio para la selección de cultivares de alto rendimiento.
- 5.2. Las variedades de apio presentaron diferencias significativas en la producción de materia fresca de raíces al final de la cosecha a los 306 días después de la siembra.
- 5.3. Para la selección de variedades puede ser usado el área foliar específica como criterio de selección.
- 5.4. Las variedades Chamero, Cacho presentan una mayor fijación de CO_2 a una mayor cantidad de DFFF. Obteniéndose la más alta producción de materia seca de raíces.

6. REFERENCIAS

Anónimo. 1990. I Foro Internacional para el fomento de Cultivos y Crianzas andinos, 12-15 Noviembre 1990. In: *Situación, perspectiva y bases para un programa de promoción de cultivos y crianzas andinos*. Lima junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC), p22.

Añez B., Espinoza W., Vázquez J. 2001. Las Variaciones de población provocadas por las distancias entre hileras afectan el rendimiento del apio andino. Instituto de investigaciones Agropecuarias. I.I.A.P .U.L.A., Mérida, Venezuela. pp11.Manuscrito.

Añez B., Espinoza W., Vázquez J. 2002. Producción de apio andino en respuesta al suministro de fertilizantes. Revista Forestal Venezolana. 46(2): 39-45.

Azcón B., Fleck I., Aranda X., Xambó A. 2000. Fotosíntesis en un ambiente cambiante In: *Fisiología vegetal*. Azcón Bieto J., Manuel T (Ed).Madrid. McGraw-Hil. p 32.

Balbinio J., Prezotti L.C., Fornazier M.J., Costa H., Holzfilho F.1990. Cultura de batata- baroa. Viltoria.Es., Emcapa. Manual de Cultura 2. p 9-27.

Berdahl J., Rasmusson D., Moss D.N. 1972. Effect of leaf area photosynthetic rate, light penetration and grain yield in Barley. Crop Science 12:177-180

Cedeño L. 1984. El apio criollo. Boletín Divulgativo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. I.I.A.P. ULA., Mérida Venezuela. p 3.

Chandra B., Srinivasan R.S., Natarajaratnam N., Rangasamy S. 1985. Relationship between leaf photosynthetic rate and yield in Blackgram [*Vigna mungo* (L). Hepper] Genotypes. *Photosynthetica* 19(2):159-163.

Chongo G., McVetty P. 2001. Relationship of physiological characters to yield parameters in oilseed rape (*Brassica napus* L). *Canadian Journal of Plant Science* 81:1-6

Chowhury S.R. 1998. Characteristics of dry matter production and partitioning in edible yam (*Dioscorea spp.* cultivars) *Tropical Agriculture*. 75 (4):435-439.

Del Valle G., Caroní J.B., Santiago C. 1989. Sensory evaluation of Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) Cultivares in Puerto rico. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*. 73(3): 291:292.

Faillace G., De Nieto T., Dávila C., Pérez P., Romero D. 1972. El apio Andino. Corporación de los Andes. Documento N°2. Mérida - Venezuela. 91p.

Faville M., Silvestre W.B., Green T.G.A., Jenmyn W. 1999. Photosynthetic characteristics of thee asparagus cultivars differing in yield. *Crop Science* .39:1070-1077.

Fernández M.D., Zara W., Renfijo E., Herrera A. 2002. Lack of down regulation of photosynthesis in a tropical root crop, Cassava, grown under an elevated CO₂ concentration. *Plant Biology*.29:805-814.

Filgueira R.R., Sali G.O., Jarmiliansky J.R., Fournier L.L., Gour S.I. 1998. La superficie específica foliar en genótipos de género *Triticum* y su relación con el intercambio gaseoso. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. 103 (2): 177-184.

Guo J., Turnbull M.H. 2002. Diurnal and seasonal photosynthesis in two asparagus cultivars with contrasting yield. Crop Science. 42:399–405,

Hall D.O., Rao K.K. 1983. Fotosíntesis .Cuadernos de Biología. Ediciones Omega, Barcelona .p 12.

Hermann M. 1992. Raíces y tubérculos andinos. Centro internacional de la papa. Lima- Perú. 20-24.

Hunt R. 1978. Plant growth analysis. The Institute of Biology's Studies in Biology, London. pp 61

Jaimez R., Castro F., Alizo P. 2001. Promedios mensuales de precipitación, temperatura máxima y mínima y evaporación registrados en la Estación Climatológica Santa Rosa (1967-2000). Boletín divulgativo I.I.A.P. ULA, Mérida-Venezuela. 28-29.

Jaimez R., Añez B., Vásquez J. 2003. Tasa de asimilación de CO₂ en cultivares de apio andino (*Arracacia xanthorrhiza* Bancr) In: Congreso Venezolano de Botánica. 57 p.

Lawlor D. 1995. Photosynthesis, productivity and environment. Journal of Experimental Botany. 46: 1449-1461.

Manrique L.A. 1990. Leaf area development and dry matter production of Cassava. Agronomy Journal. 82: 887-891.

Manrique L.A; Bartholomew D.P .1991.Growth and yield of potato grown at three elevations in Hawaii: II dry matter production and efficiency of partitioning. Crop science. 31:367-372.

Marín D, 1996 a. Comparación ecofisiológica de los cultivares Tovar Yaracuy de *Canavalia ensiformis* (L.) DC., sembrados en dos localidades I. Análisis de crecimiento. Agronomía Tropical.46 (1):5-29.

Marín D, 1996 b. Comparación ecofisiológica de los cultivares Tovar Yaracuy de *Canavalia ensiformis* (L.) DC., sembrados en dos localidades II. Acumulación de nutrimentos y otras variables. Agronomía Tropical.46 (1):31-48.

Mazón N., Castillo R., Hermann., Espinosa P. 1996. La zanahoria blanca ó Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Brancoft) en el Ecuador. Instituto Nacional Autóctono de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) 41 p.

Miglietta F., Bindi M., Vaccari F., Shapendonk A.H.C.M., Wolf J., Butterfield R.E. 2000. Crop ecosystems responses to climatic change: Root and tuberous crops. In: Climate change and global crop production. K.P. Reddy and H:F. Hedges (Eds). CABI Publishing, Wallingford Oxon UK, New York, USA. pp 18 -210.

Milthorpe F.L., Moorby J. 1979. Introducción de la fisiología de cultivos. School of Biological Sciences, Macquarie University y Glasshouse. Crops Research Institute, Littlehampton. p 102-138.

Montaldo A. 1991. Cultivos de raíces y tubérculos tropicales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. p 297-304.

Noguera L. 2001. El Apio Andino (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) y su cultivo en Capurí, Río Negro y el Molino. Mérida, Venezuela. bioPIANET. Corporación Agroindustrial venezolana C.A. pp 162.

Ochse J.J., Soule M.J., Dijkman M.J., Wehlburg C. 1976. Prácticas de cultivo, mejoramiento de las plantas, consideraciones económicas y valor alimenticio de los productos agrícolas. In: Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales. Editorial Limusa. México. p 359.

Ortega C.E., Bentancourt J., Carrero I. 2000. El apio Criollo: Las oportunidades para la producción. FONAIAP. Divulga. 67:18-20

Páez A., Paz V., López J.C. 2000. Crecimiento y respuestas fisiológicas de plantas de tomate CV. Río Grande en la época mayo- julio. Efecto del sombreado. Revista. Facultad Agronomía (Luz). 17:173-184.

Palomo G., Orozco V., Gutiérrez D.R., Espinoza B., Rodríguez H. 2004. Análisis de crecimiento en variedades de algodón transgénicos y convencionales. In: Resultados de proyectos de Investigación. Universidad autónoma Agraria Antonio Narra. Saltillo, Coahuila, México. 125-130.

Potenciales agrícolas. 1999. Unidad Estatal del desarrollo agropecuario. División de planificación y Estadística Mérida, Venezuela.

Potenciales agrícolas. 2000. Unidad Estatal del desarrollo agropecuario. División de planificación y Estadística Mérida, Venezuela.

Potenciales agrícolas. 2001. Unidad Estatal del desarrollo agropecuario. División de planificación y Estadística Mérida, Venezuela.

Potenciales agrícolas. 2002. Unidad Estatal del desarrollo agropecuario. División de planificación y Estadística Mérida, Venezuela.

Potenciales agrícolas. 2003. Unidad Estatal del desarrollo agropecuario. División de planificación y Estadística Mérida, Venezuela.

Potenciales agrícolas. 2004. Unidad Estatal del desarrollo agropecuario. División de planificación y Estadística Mérida, Venezuela.

Prieto A. 1996. Relaciones hídricas y de carbono en plantas epífitas de una selva nublada tropical. La Mucuy. Estado Mérida. Trabajo Especial de grado. Facultad de Ciencias Universidad de Los Andes. C.I.E.L.A.T. Mérida, Venezuela.

Rada F., Azocar A., Briceño B., González J., Garcia Nuñez C. 1996. Carbon and water balance in *Polylepis sericea*. Tropical Tree/limb species Trees. 10: 218-222.

Rivas C., González M. 2000. Fisiología de la respiración de las plantas En: *Fisiología vegetal*. Azcón Bieto J., Manuel T (Ed).Madrid. McGraw-Hill 217:232.

Sánchez D., Aguirreolea J. 2000 a. Movimientos estomáticos y transpiración
In: *Fisiología vegetal*. Azcón Bieto J., Manuel T (Ed).Madrid. McGraw-Hill
31:43.

Soil Survey Staff. 1975. Soil taxonomi. Agric. Handbook 436.S.C.S.-U.S,
D,A. 754 p.

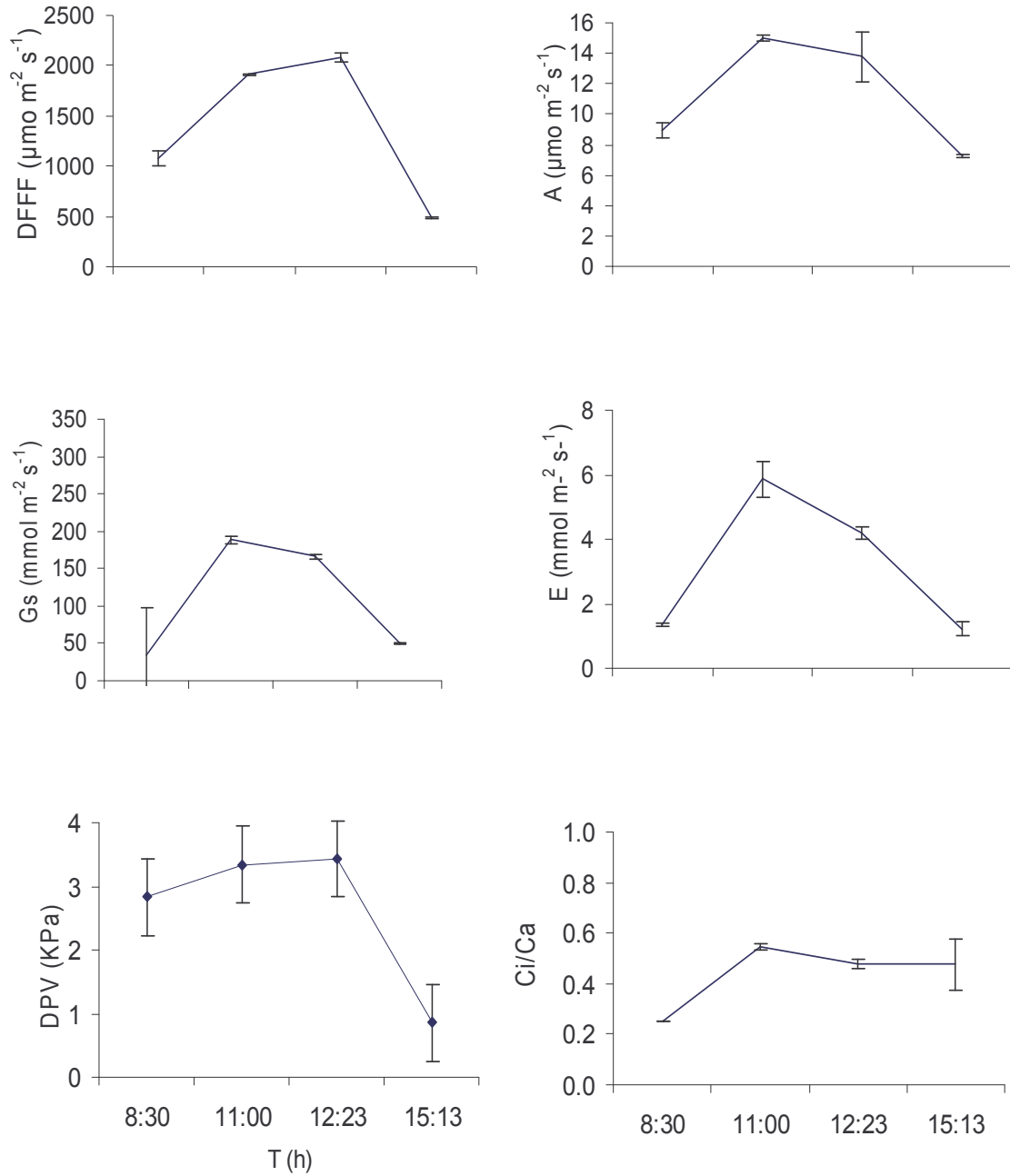
Taíz L., Zaiger E. 1998. Plant Physiology. 2ed. Massachusets. Sinauer
Associates, inc.Publishers. p 73.

Tekaligu T., Hammes P.S. 2005. Growth and productivity of potato as
influenced by cultivar and reproductive growth. I.stomatal conductance, rate
of transpiration net photosynthesis, and dry matter production and allocation,
Scientia Horticulture.105: 13-27

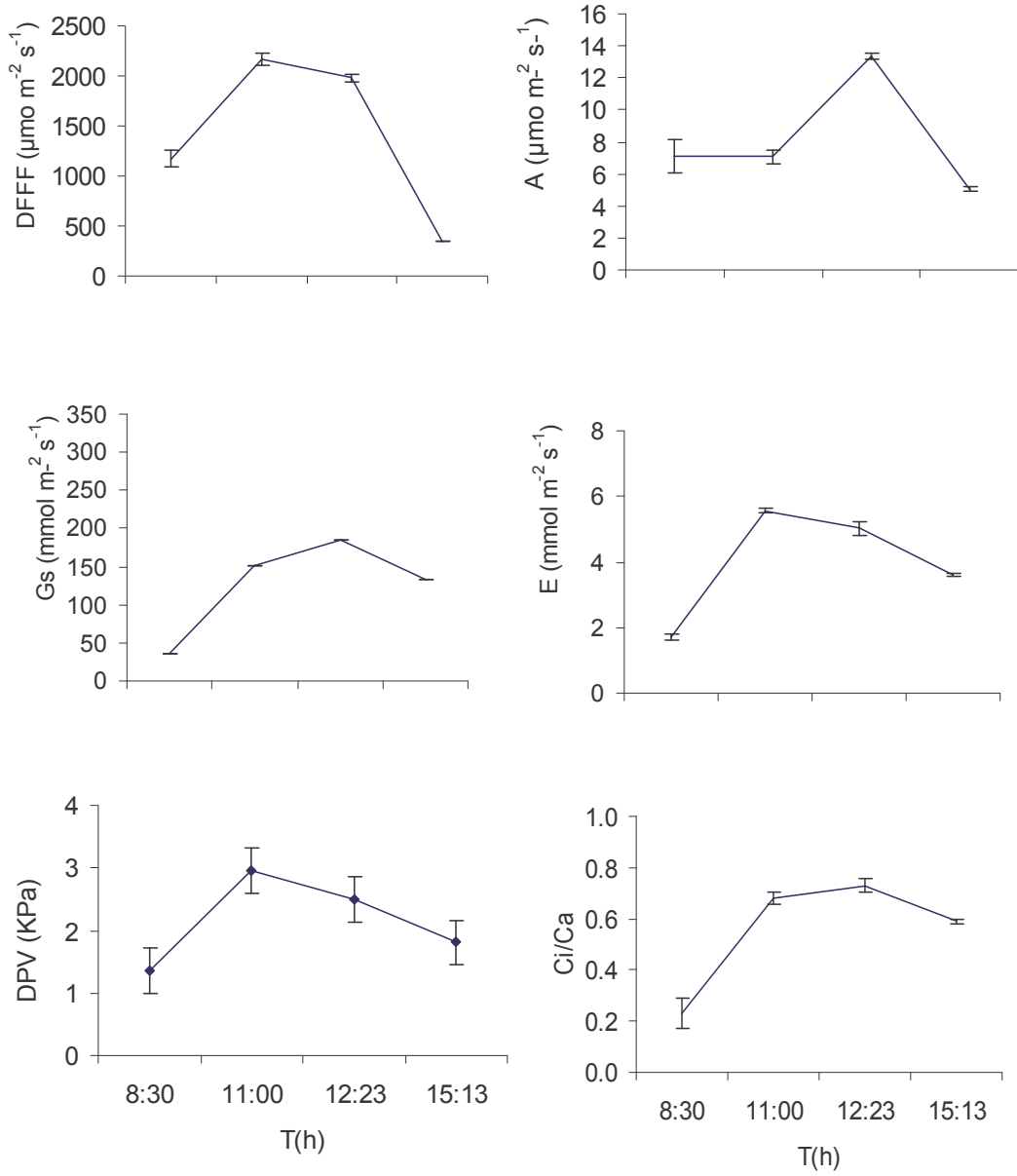
Von Caemmerer S., Farquhar G.D. 1981. Some relationship between the
biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Plant*
153:376-387.

**Zhai H., Shuqing C., Jinnmin W., Rovaxion Z., Wei L., Liang B.C.,
Kwang T., Min S.K., Zhu D., Chang S. 2002.** Relationship between leaf
photosynthetic function at grain filling stage and yield in super high yielding
hybrid rice (*Oriza sativa*) *Science in China- Seves* 45(6): 646-677

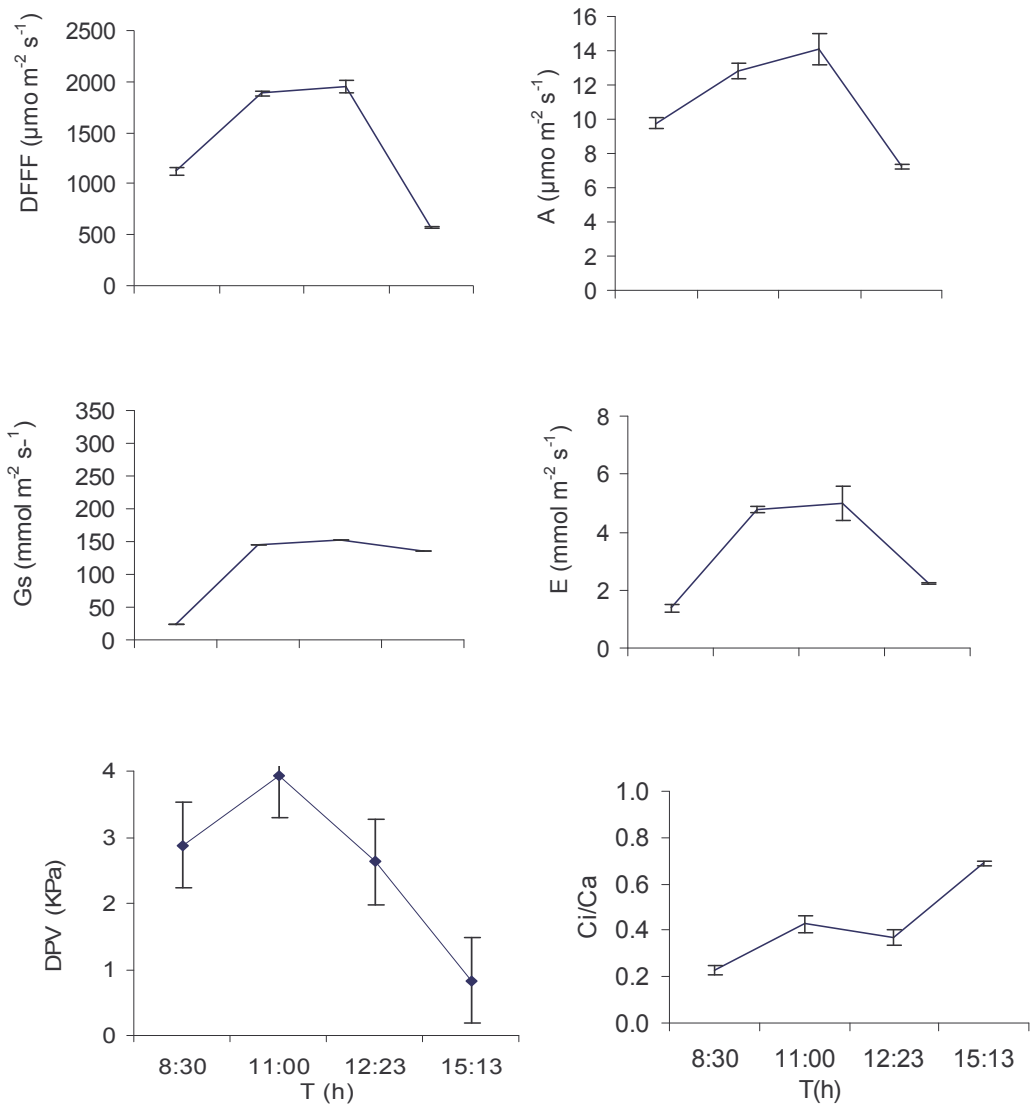
ANEXOS



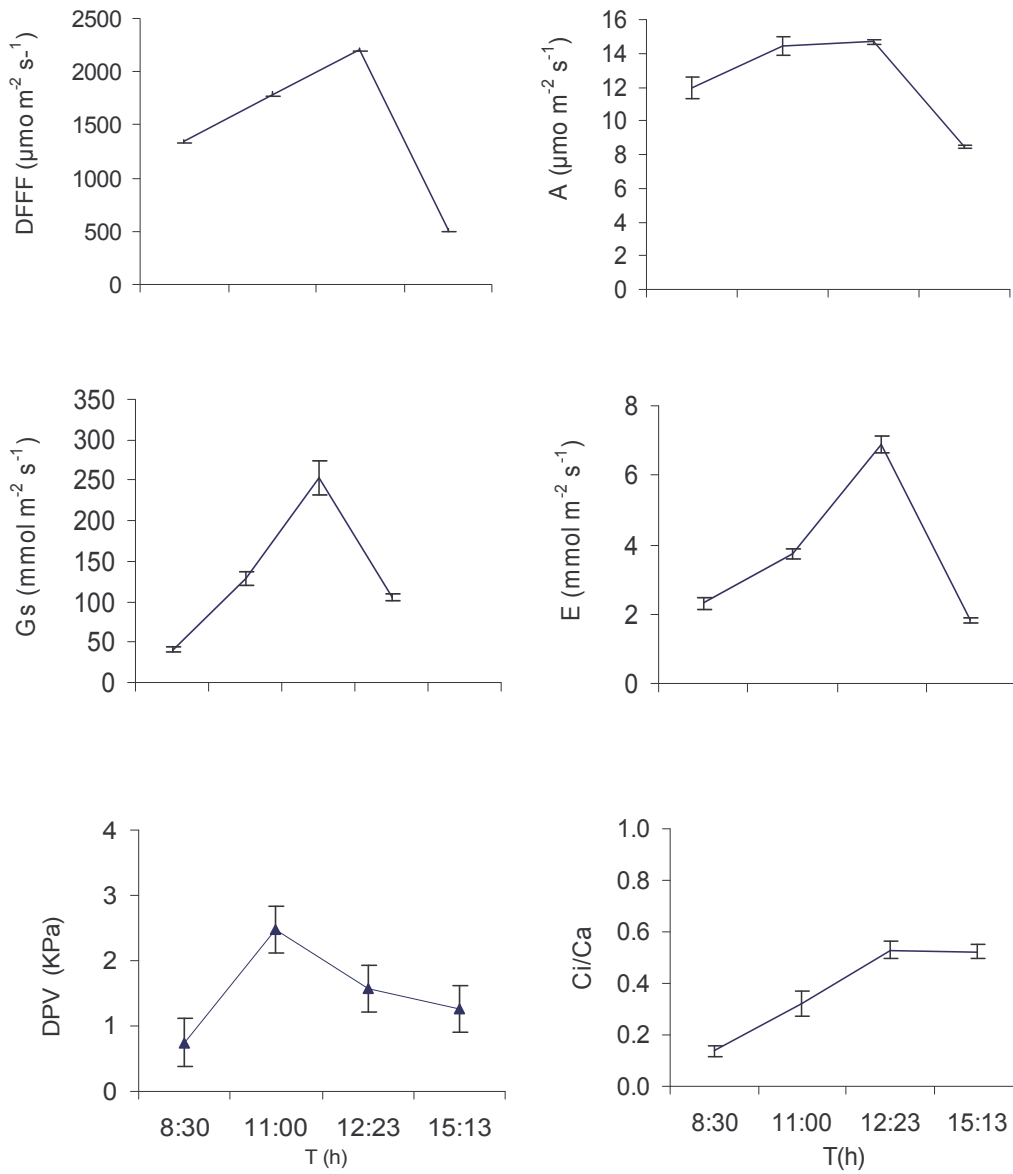
1.1: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Bandera a los 75dds



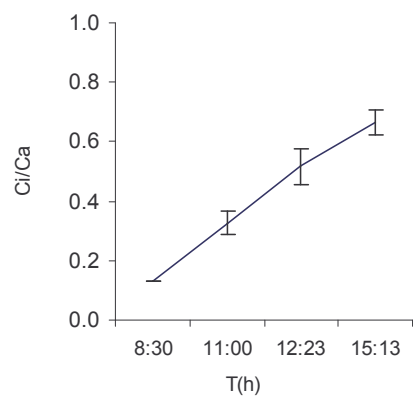
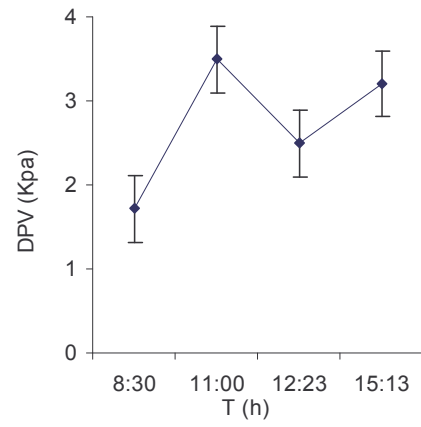
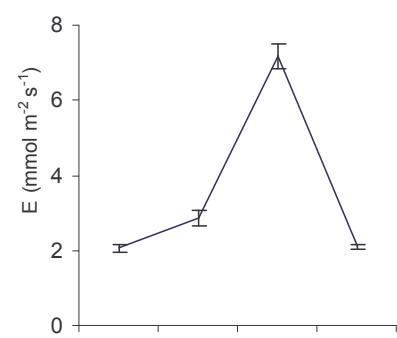
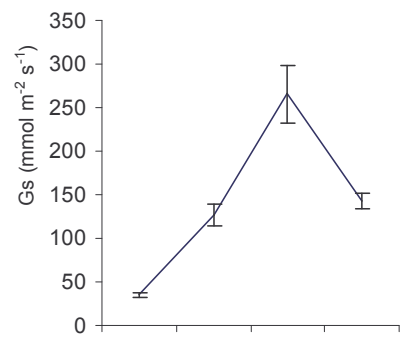
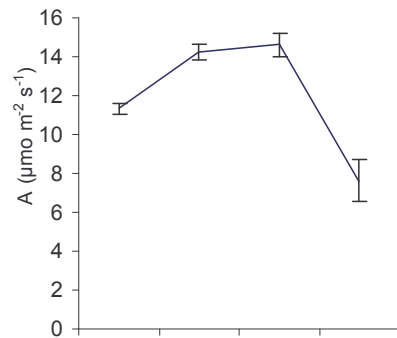
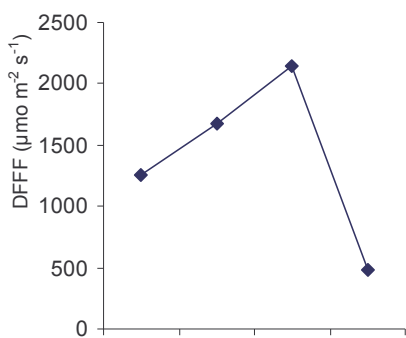
1.2: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Cebollo a los 75dds



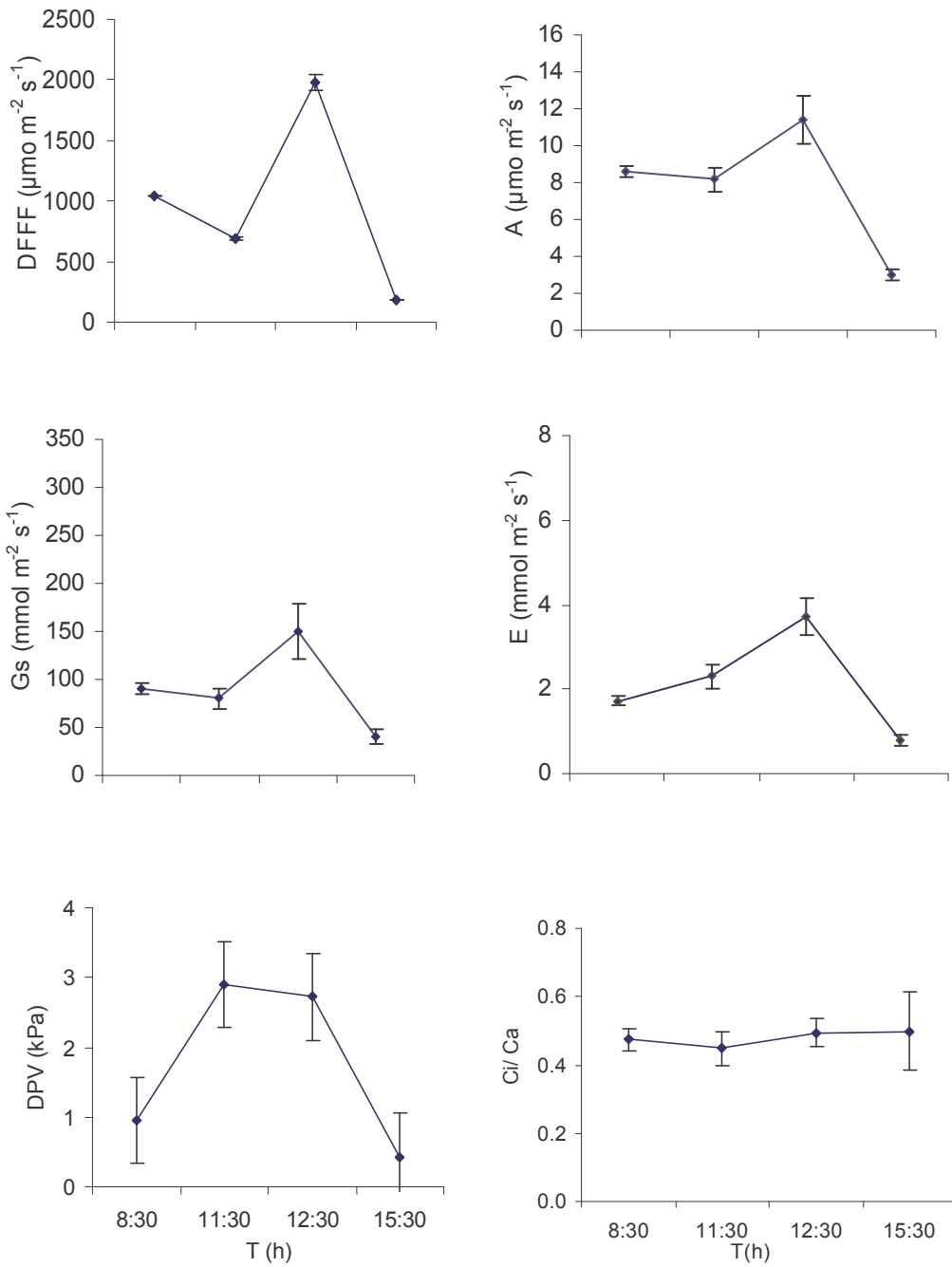
1.3: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Cacho a los 75dds



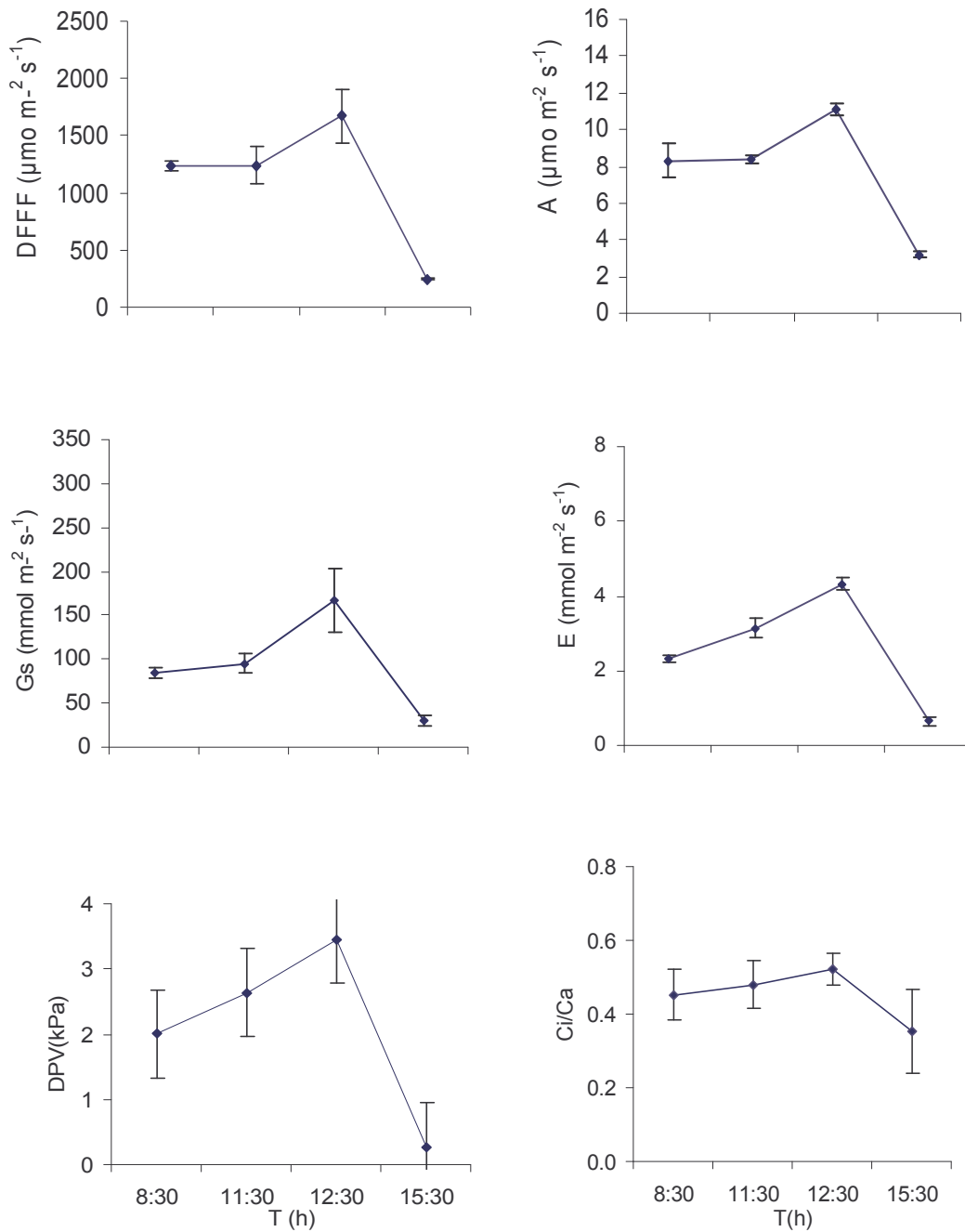
1.4: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Bayuelo a los 75dds



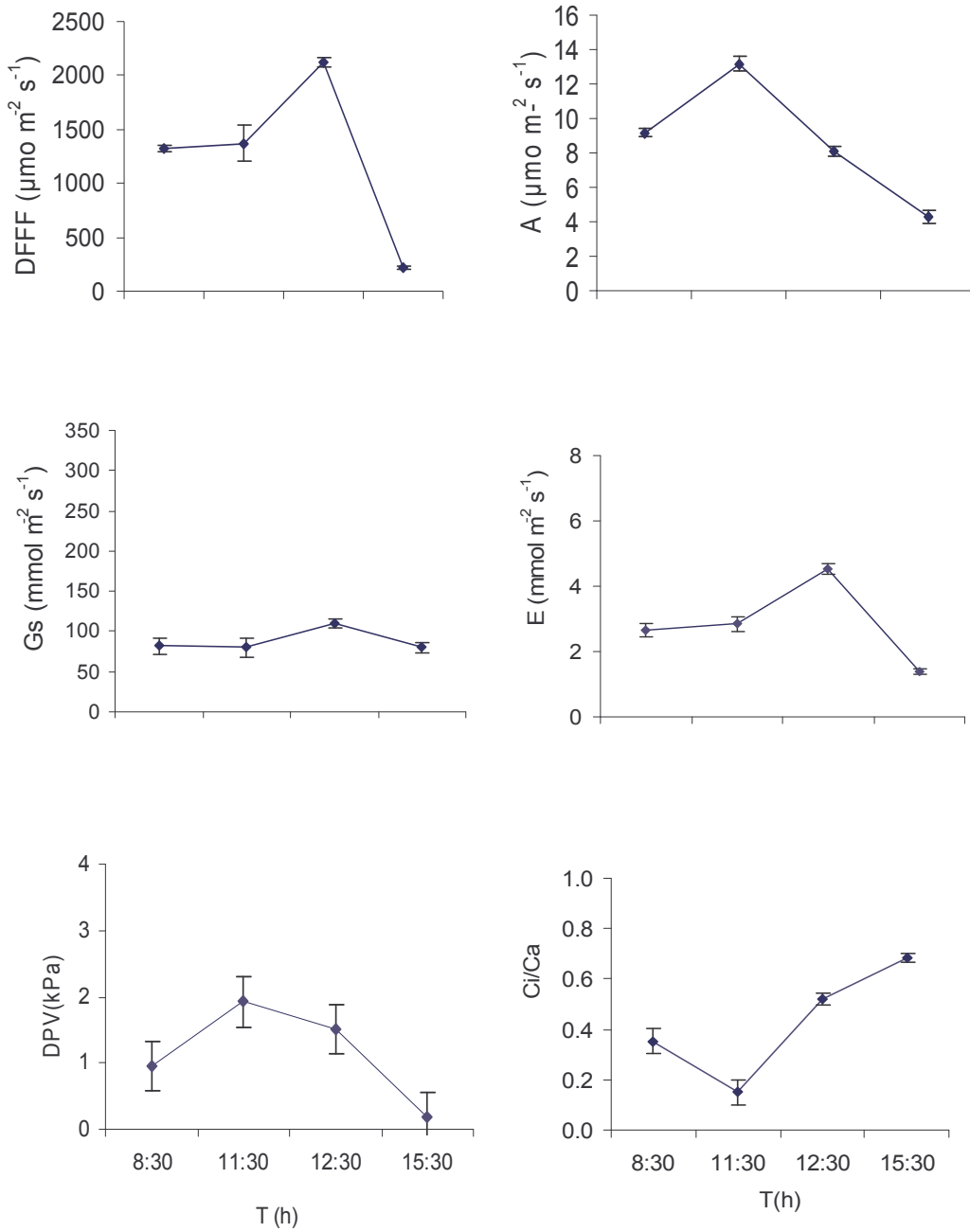
1.5: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Chamero a los 75dds



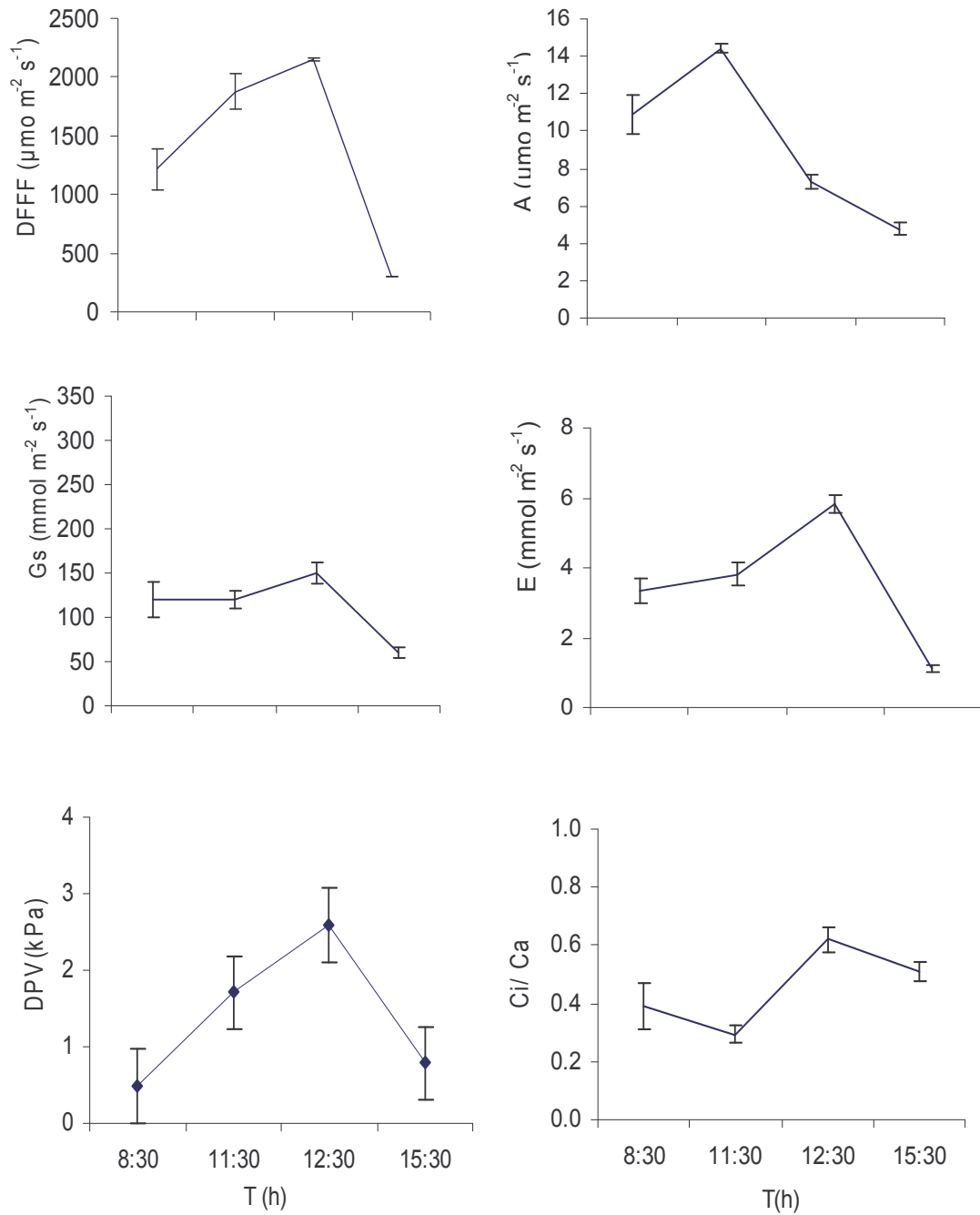
2.1 Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Bandera (124 dds)



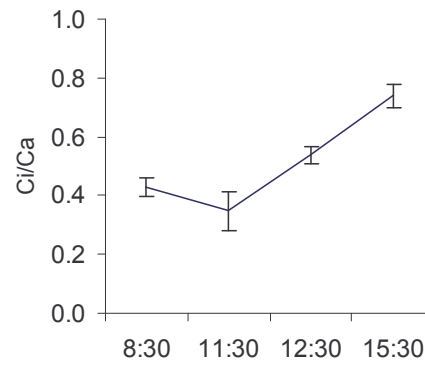
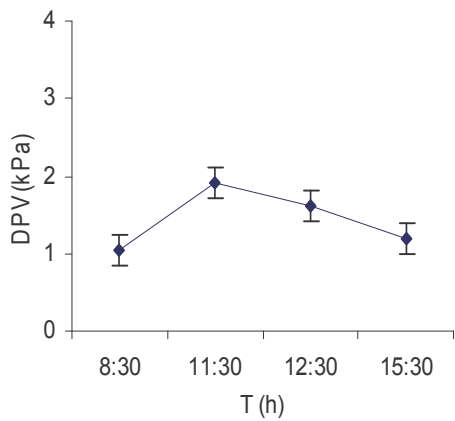
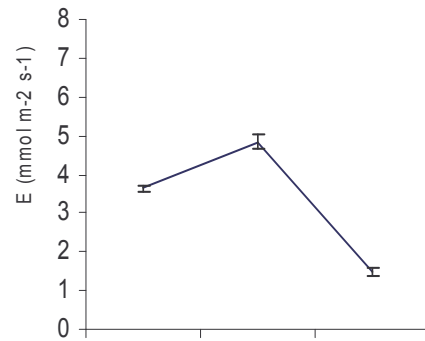
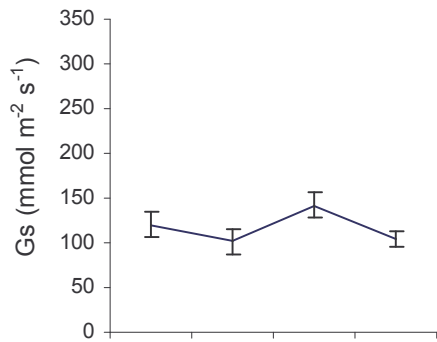
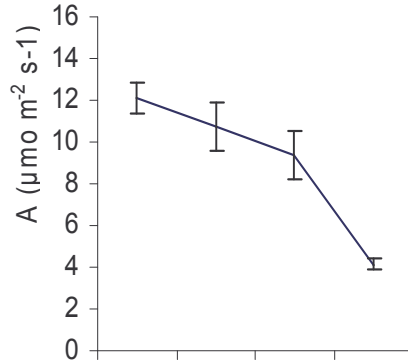
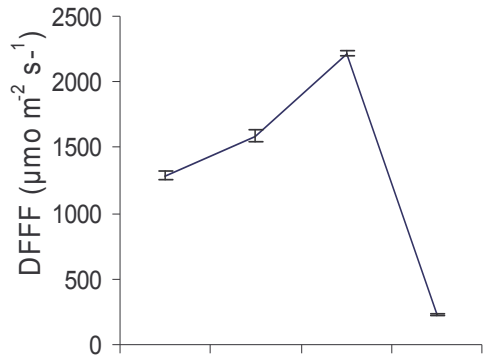
2.2: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Cebollo (124 dds)



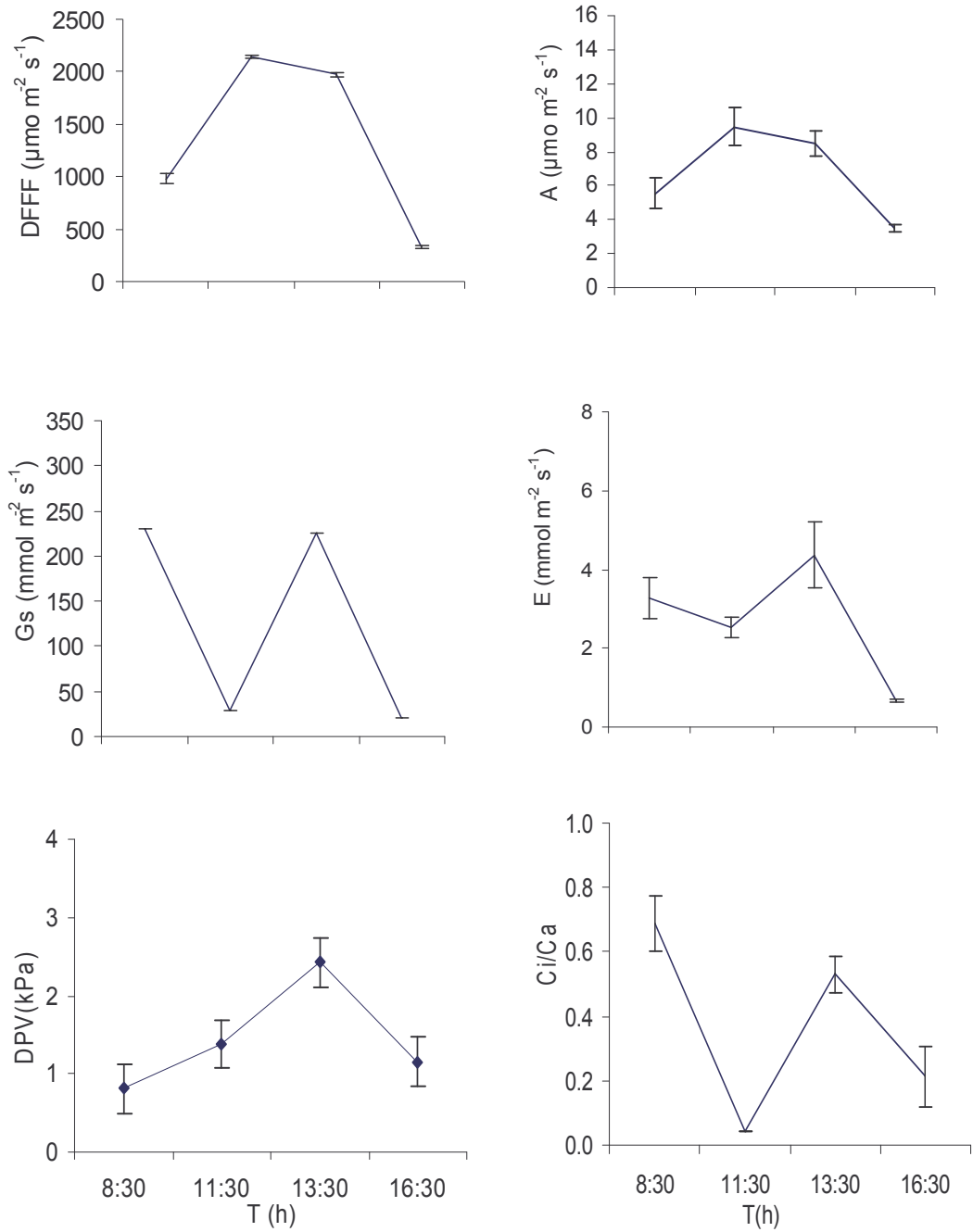
2.3: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Cacho (124 dds)



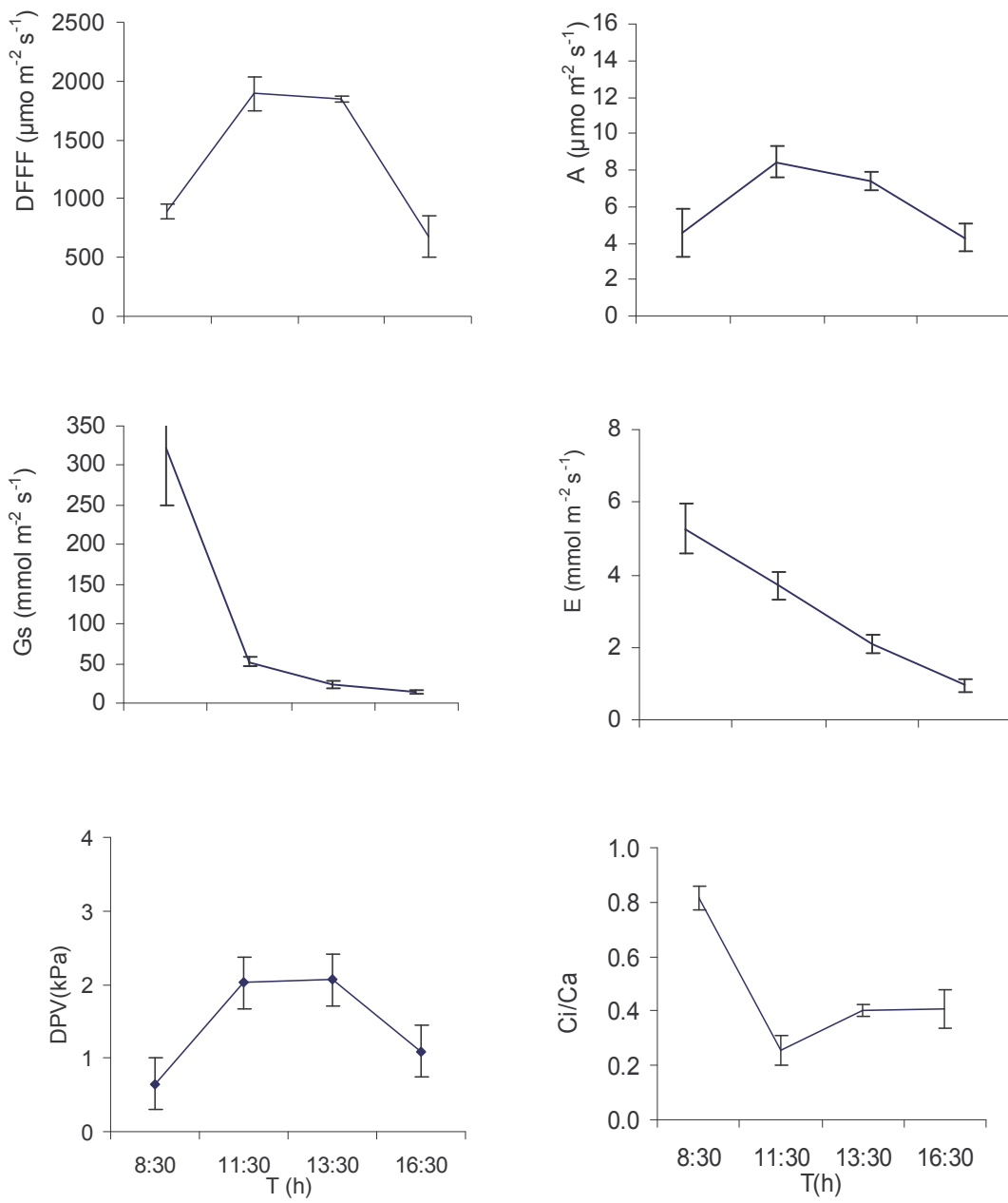
2.4 : Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Bayuelo (124 dds)



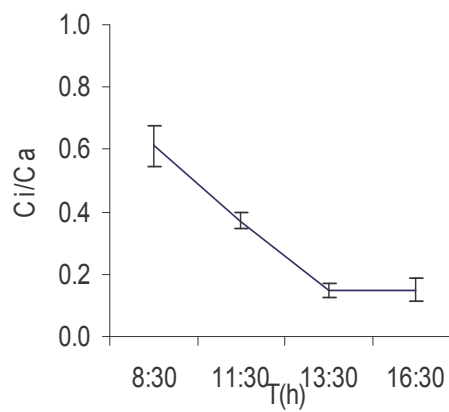
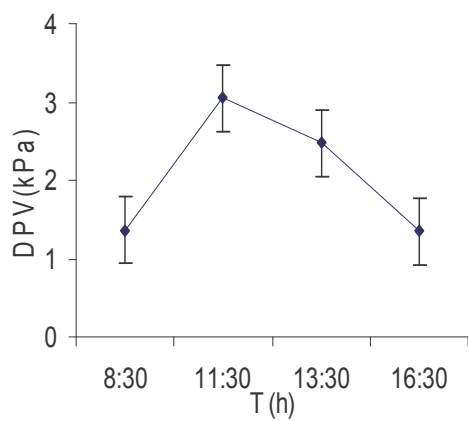
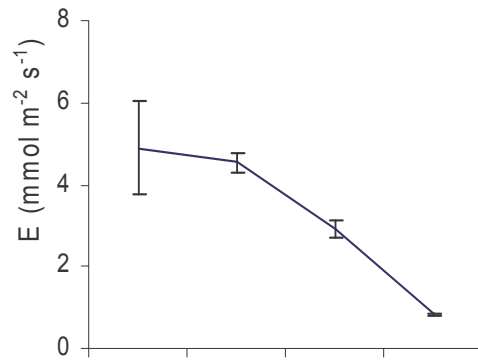
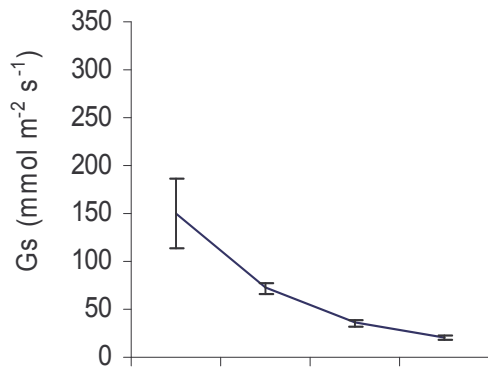
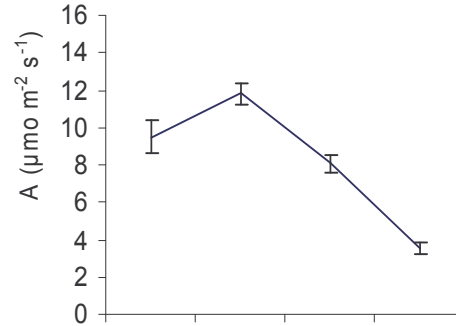
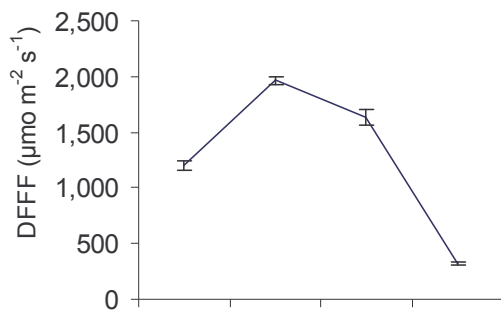
2.5: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Chamero (124 dds)



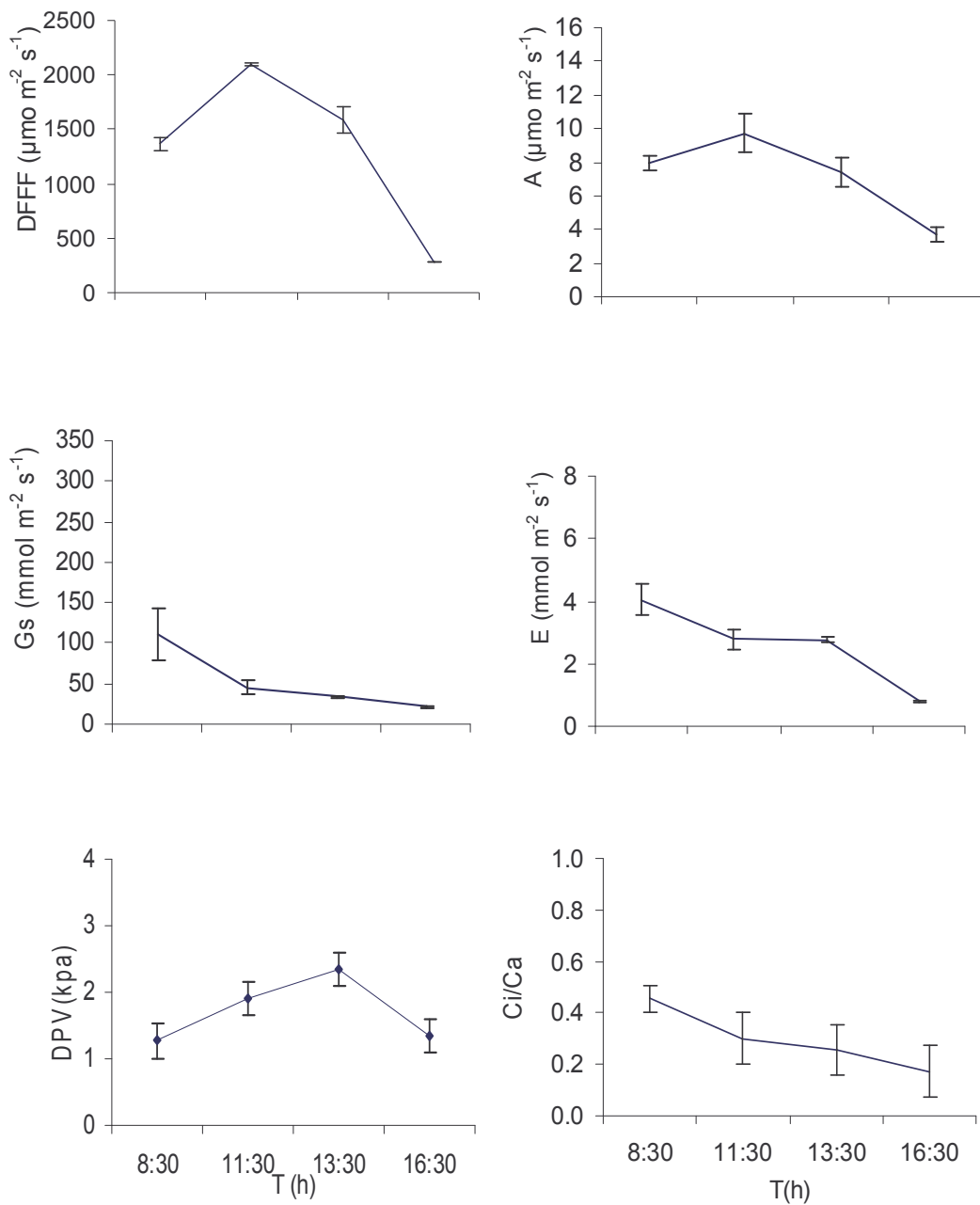
3.1: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Bandera (182 dds)



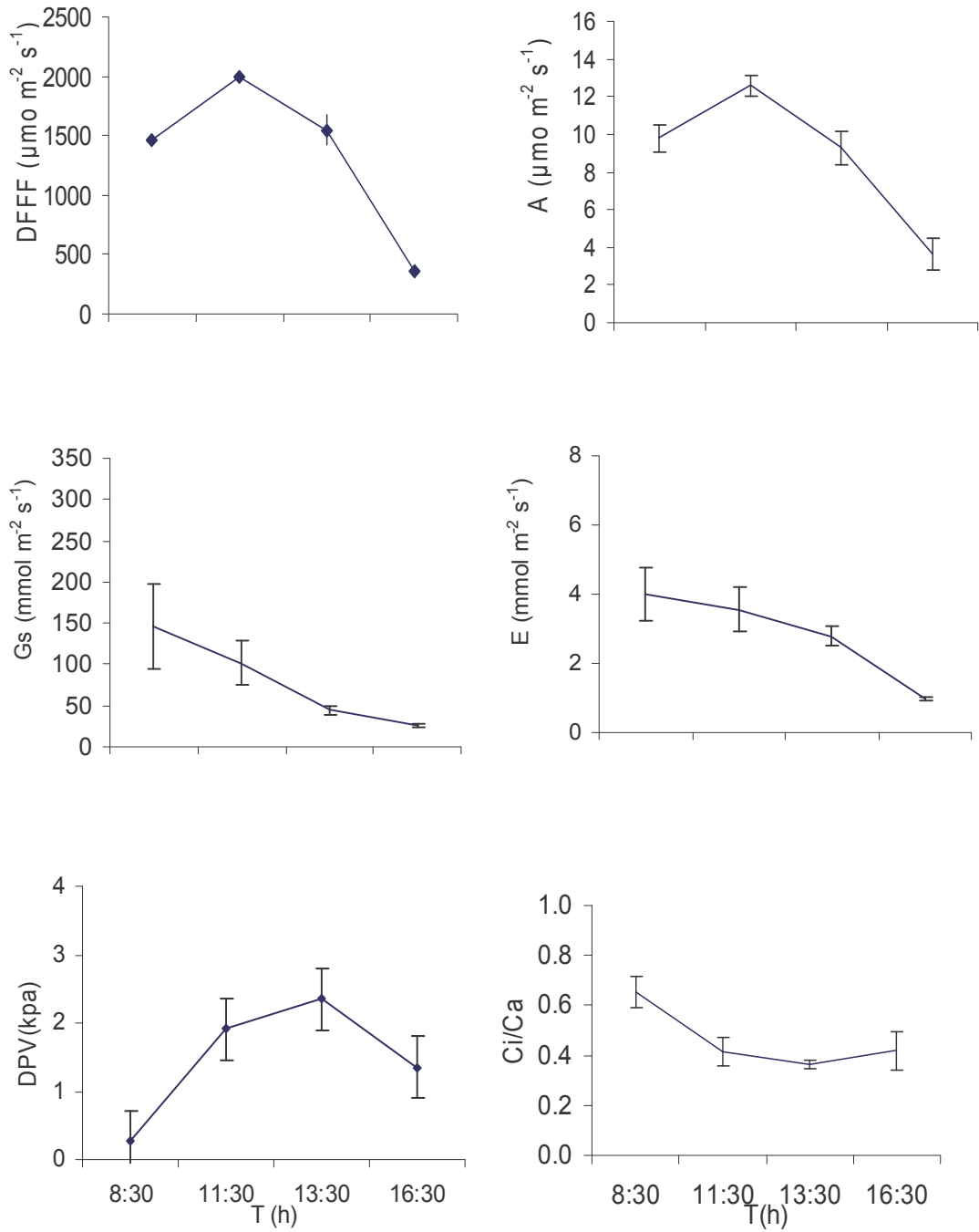
3.2: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Cebollo (182 dds)



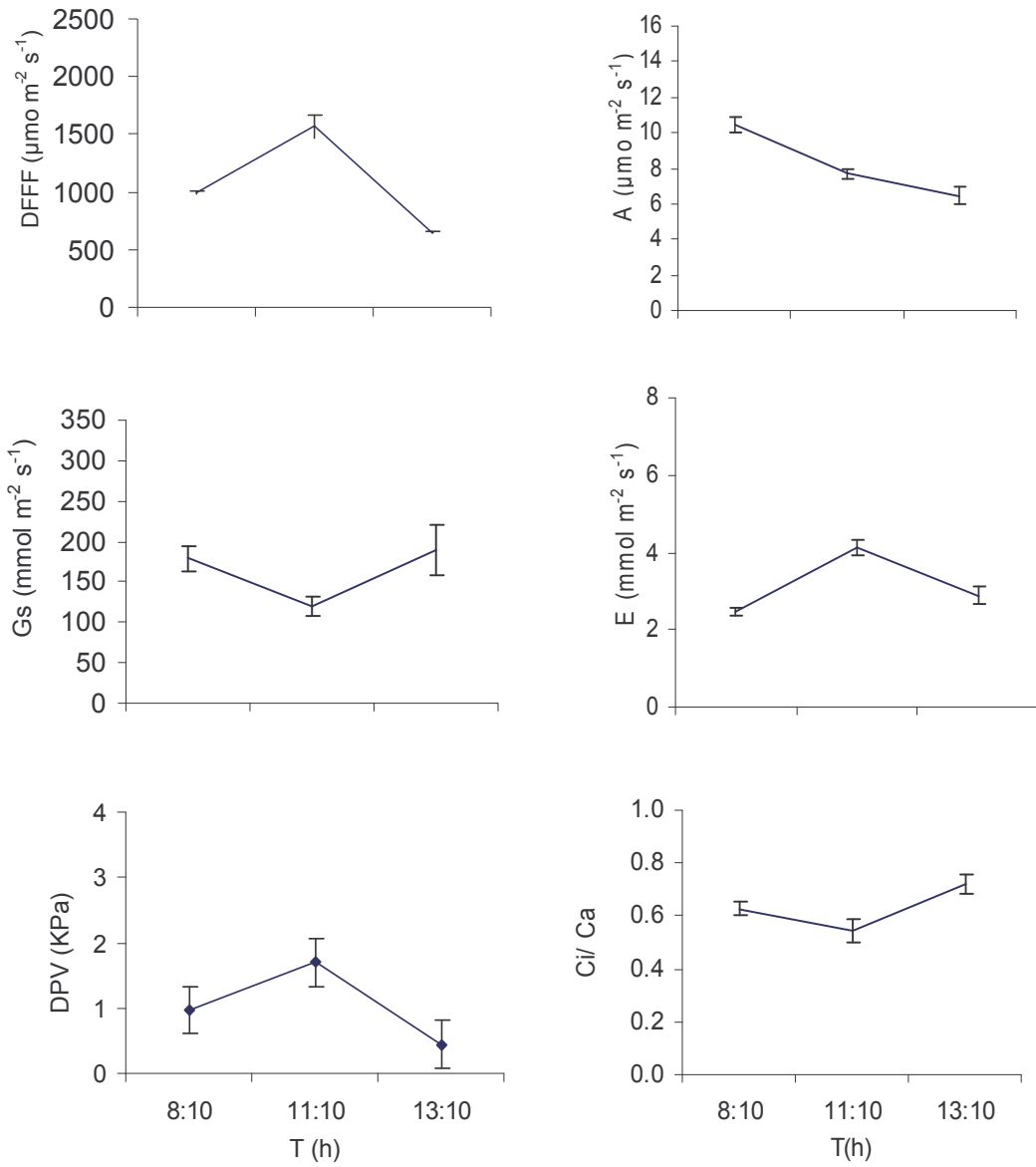
3.3: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Cacho (182 dds)



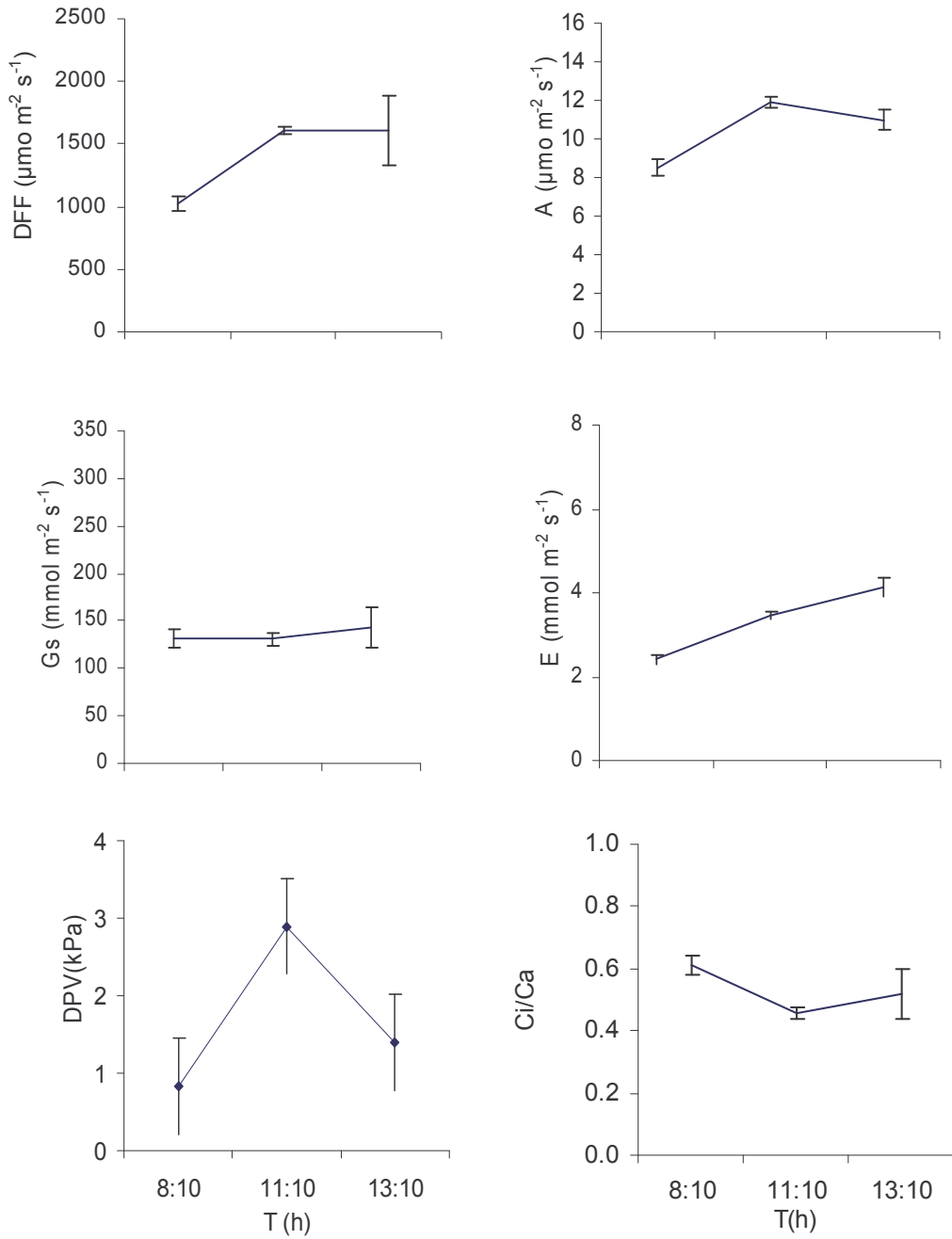
3.4: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Bayuelo (182 dds)



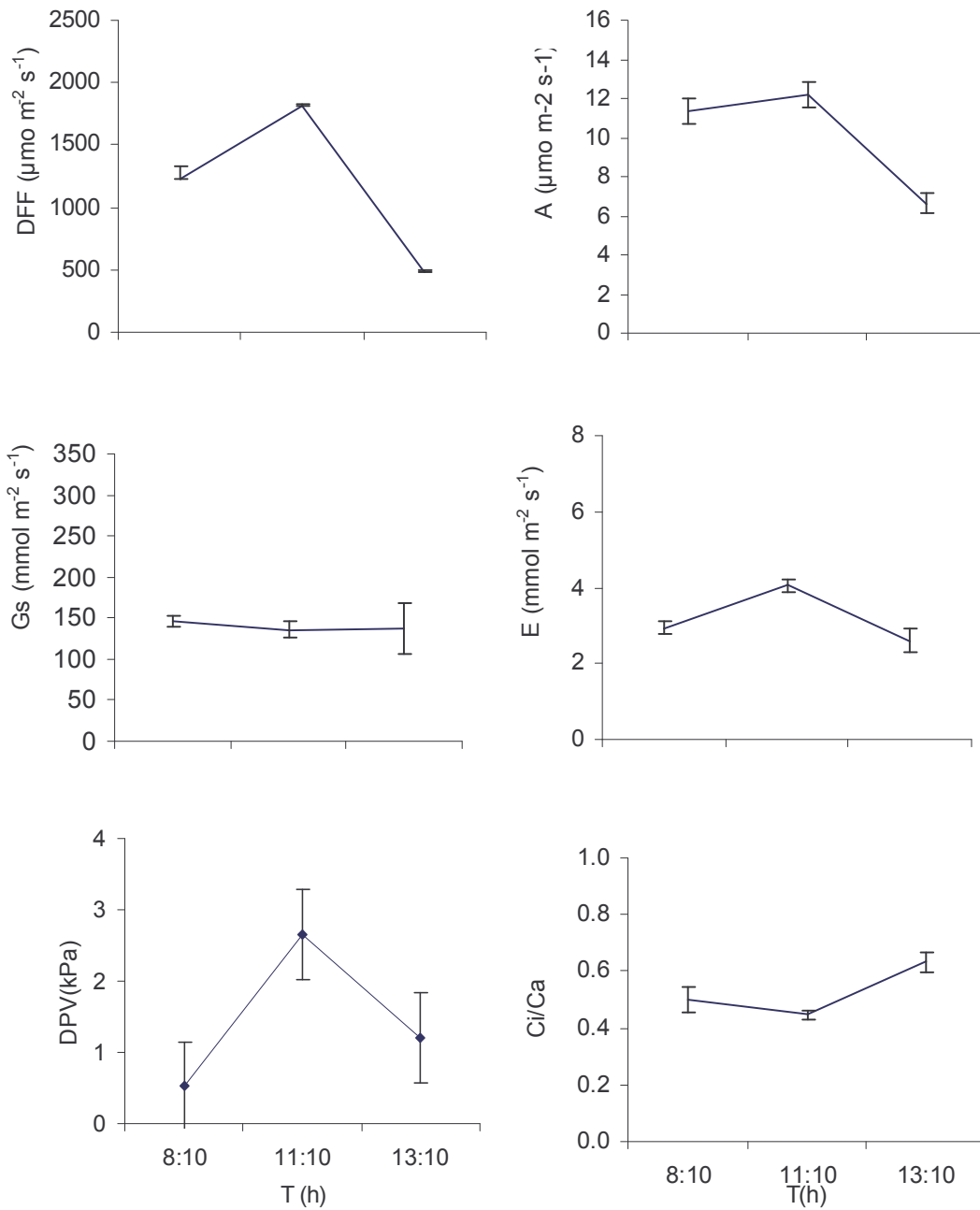
3.5: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Chamero (182 dds)



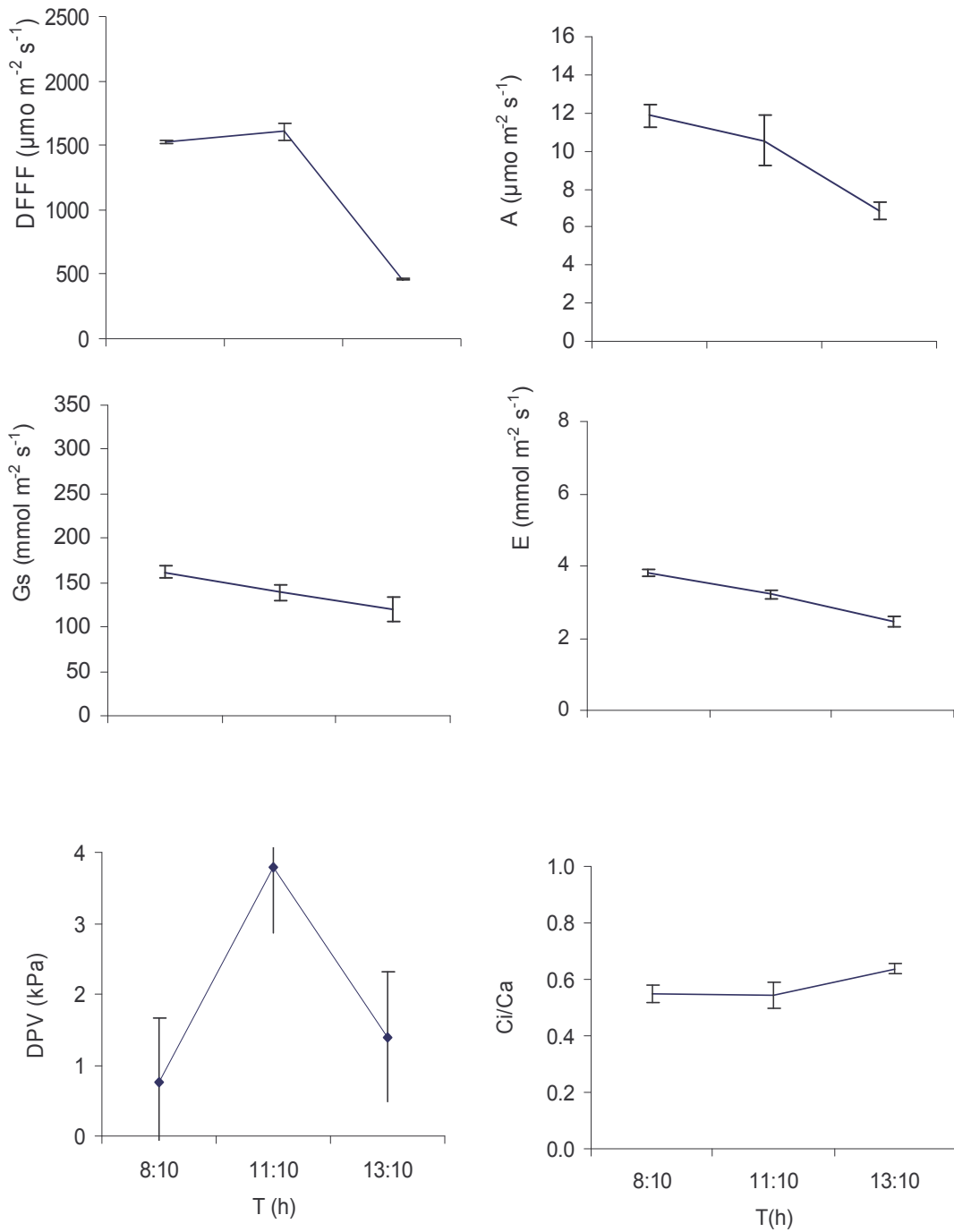
4.1: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Bandera (253 dds)



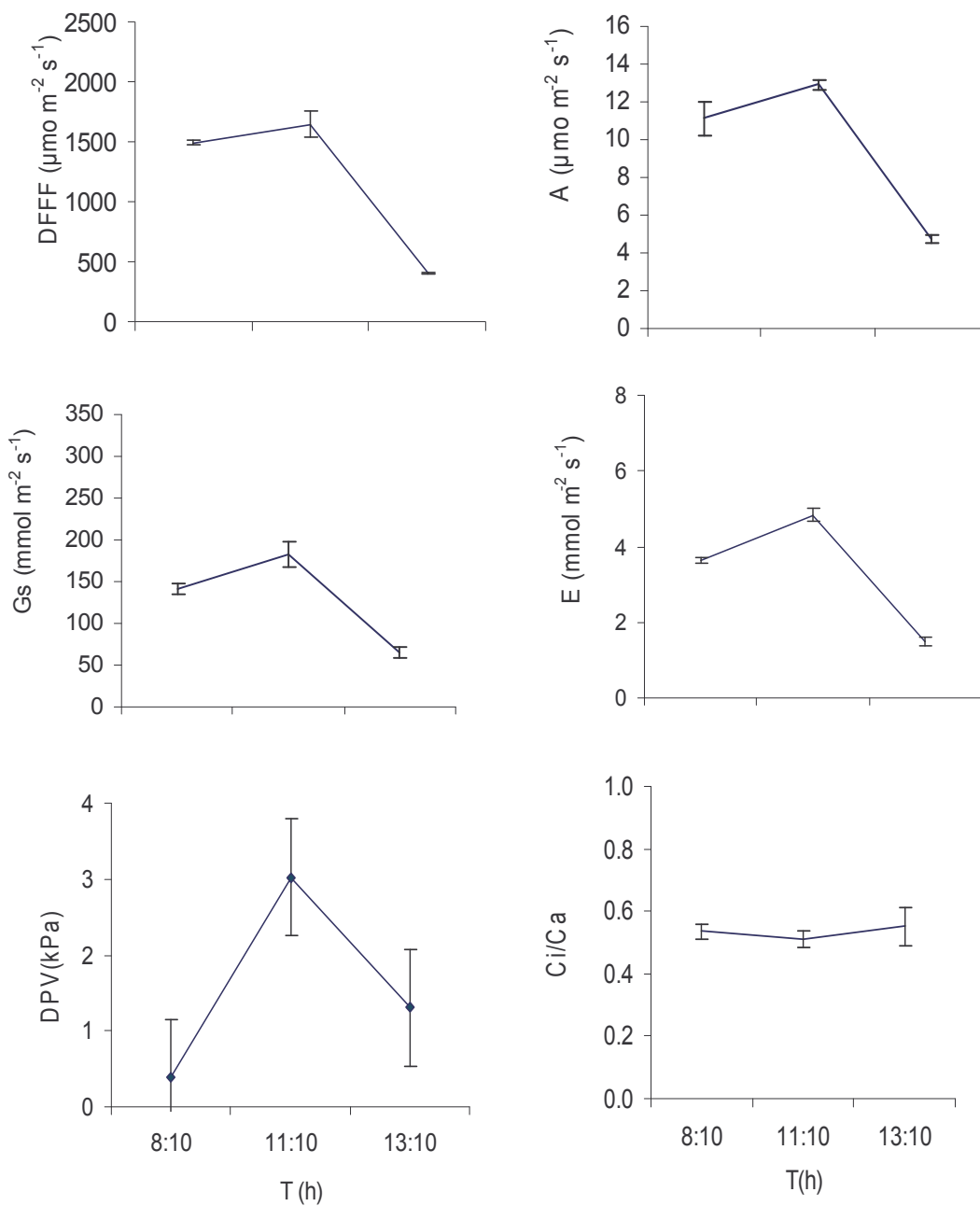
4.2: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Cebollo (253 dds)



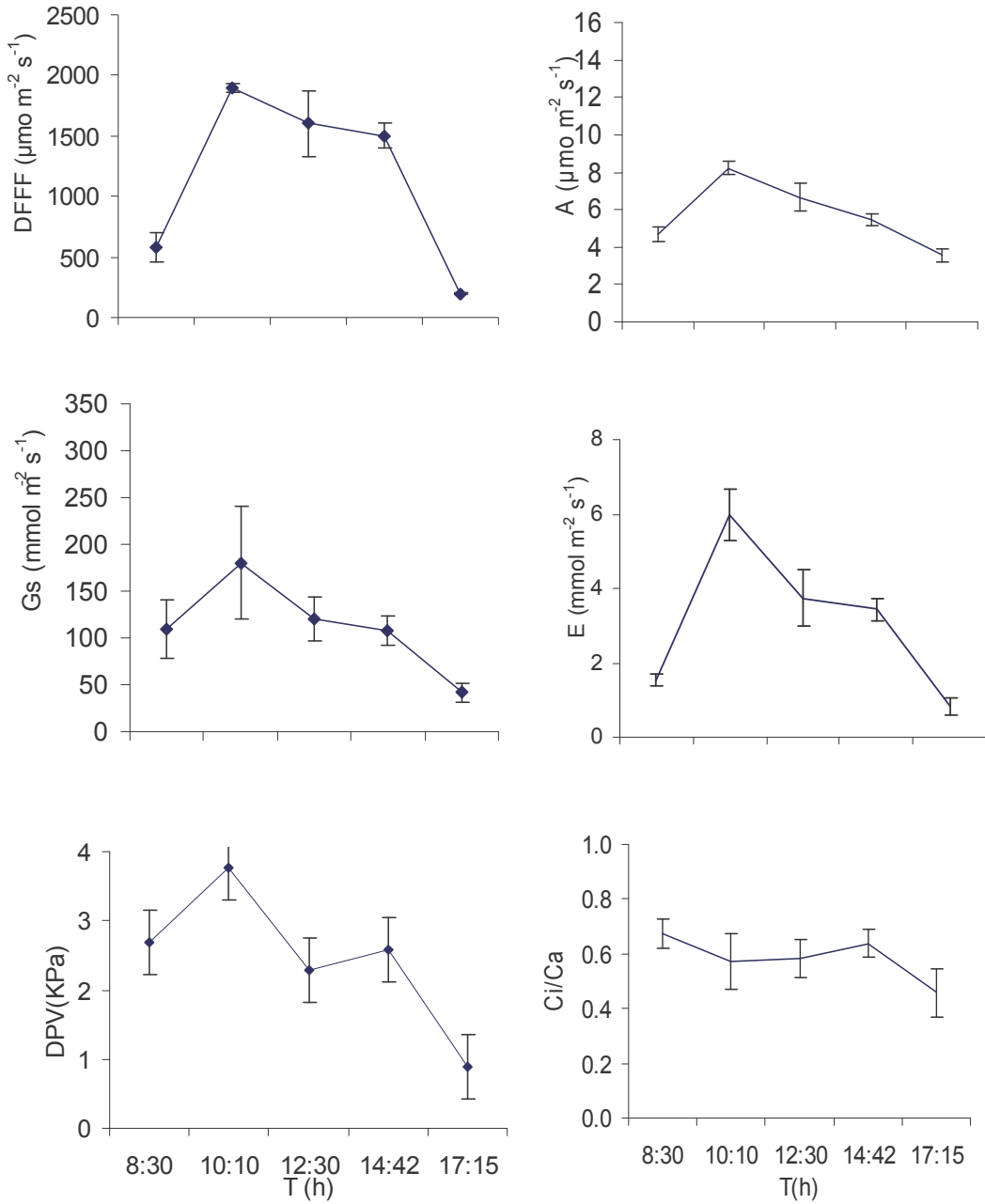
4.3: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Cacho (253 dds)



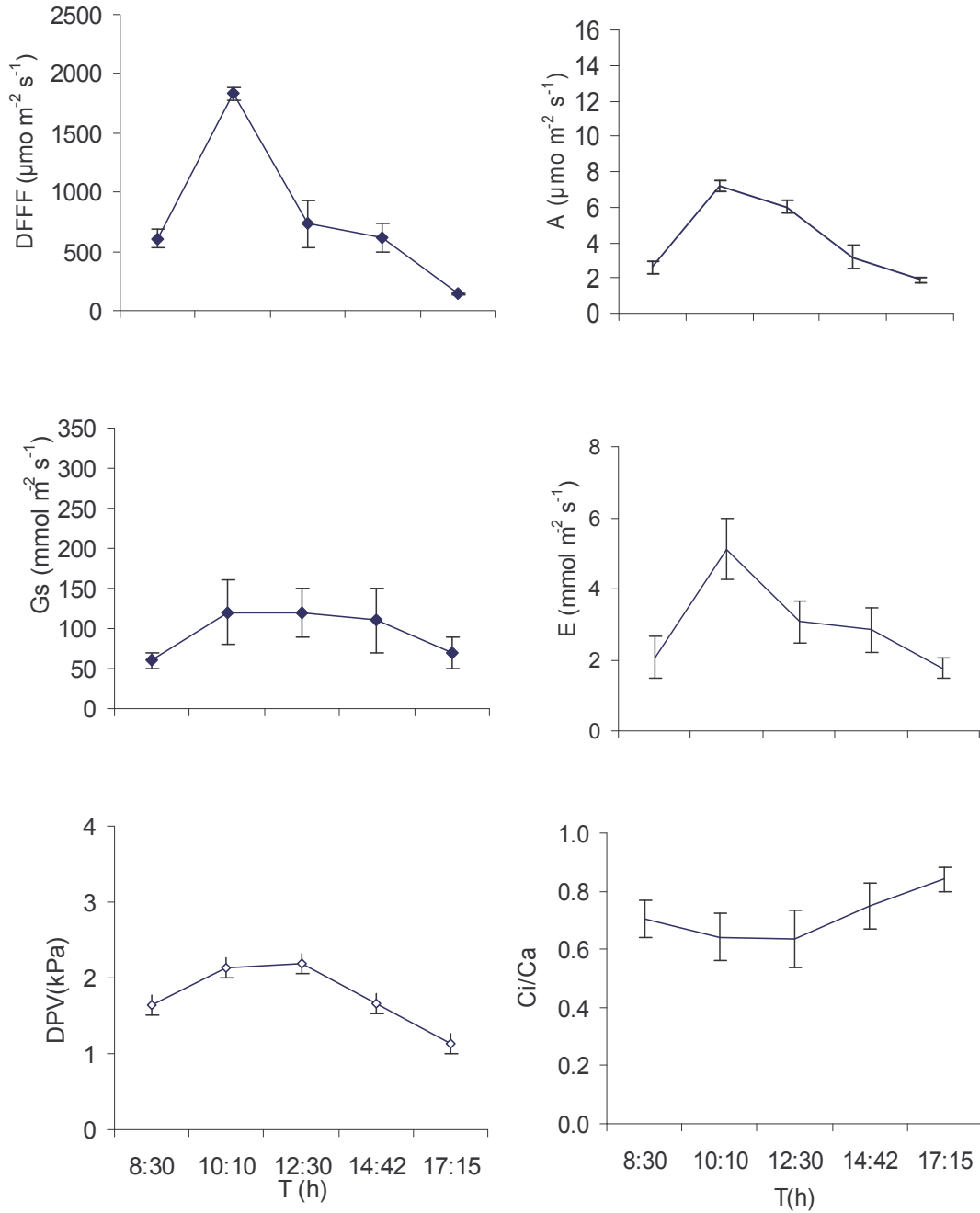
4.4: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Bayuelo (253 dds)



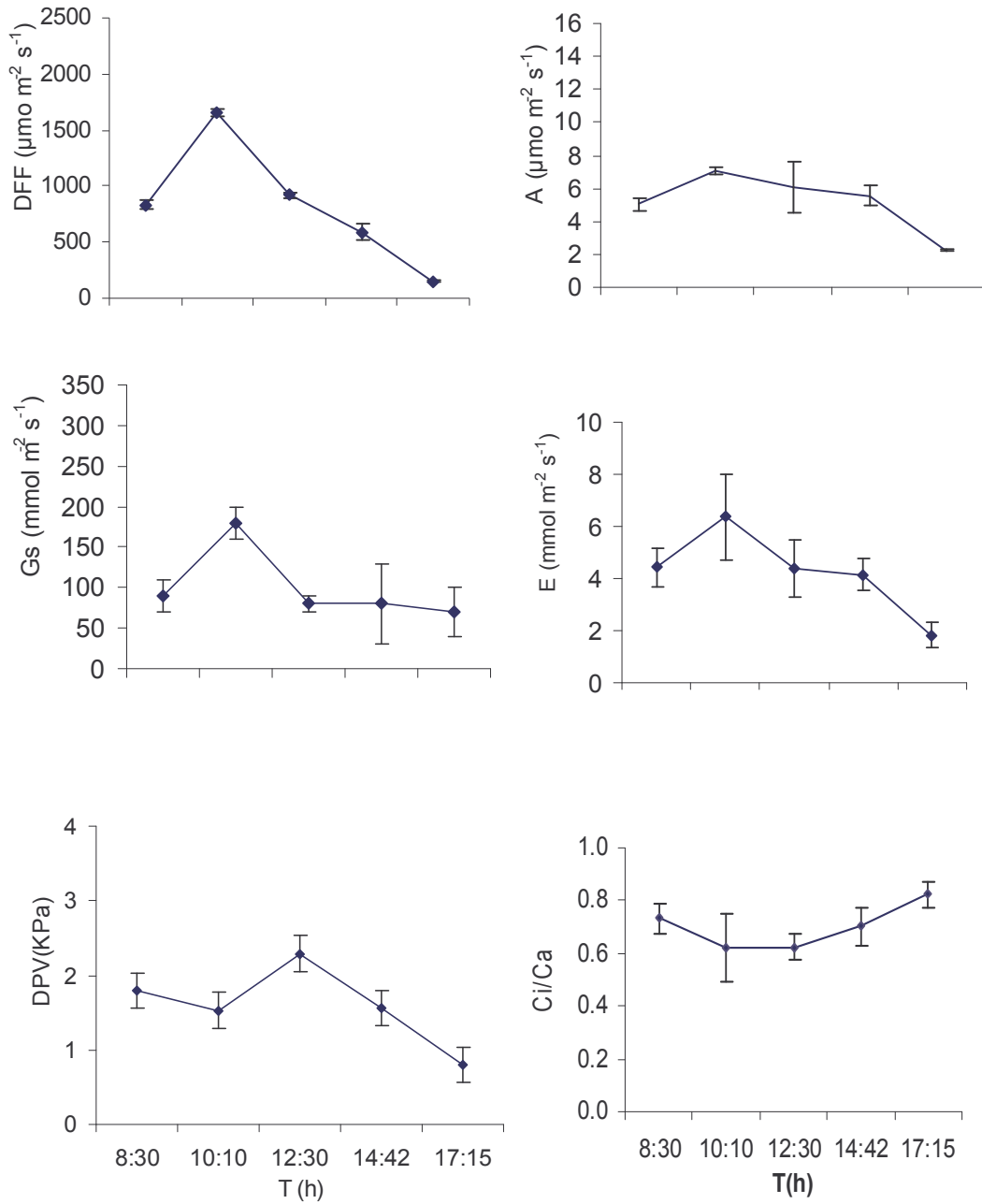
4.5: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Chamero (253 dds)



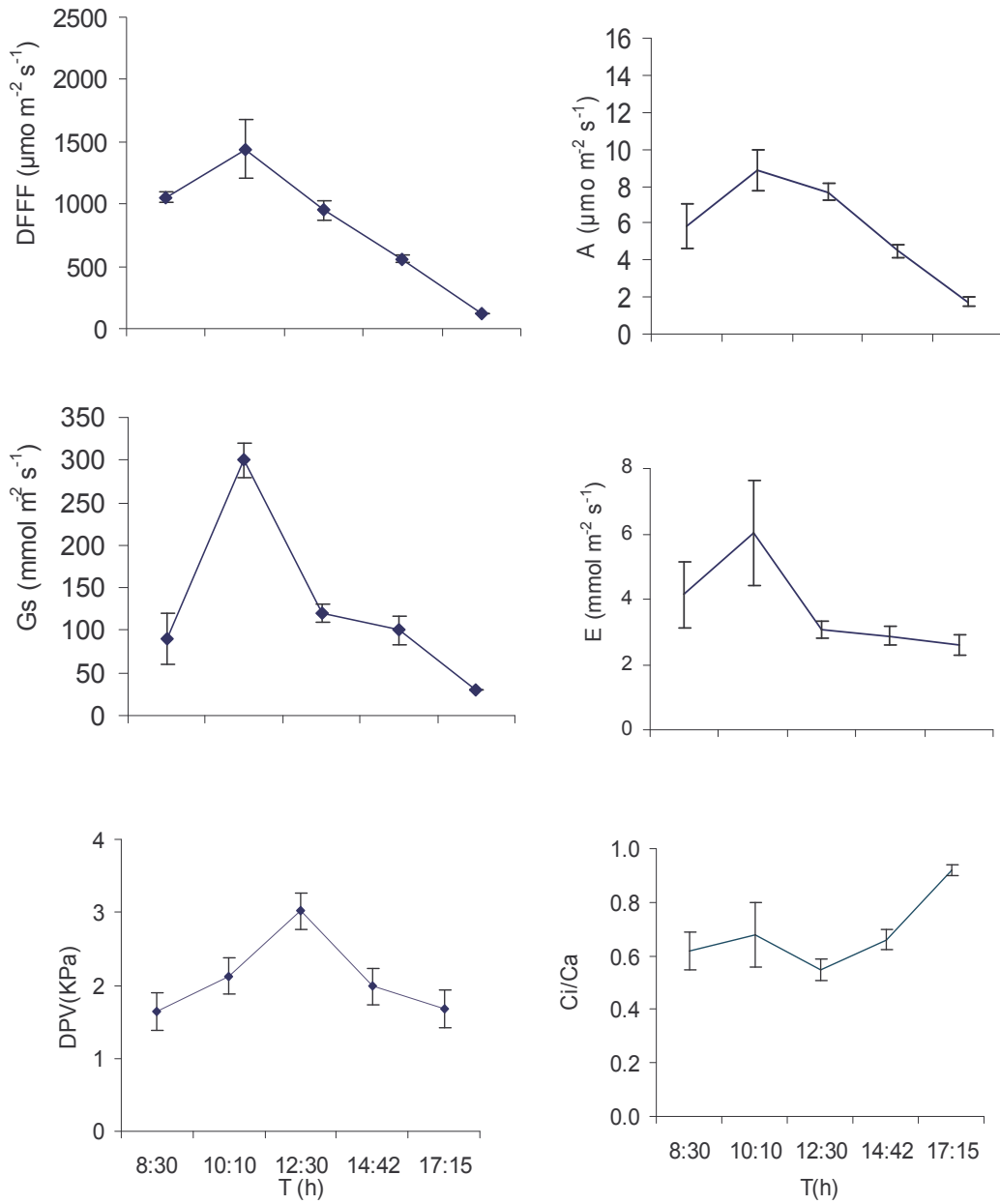
5.1: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Bandera (306 dds)



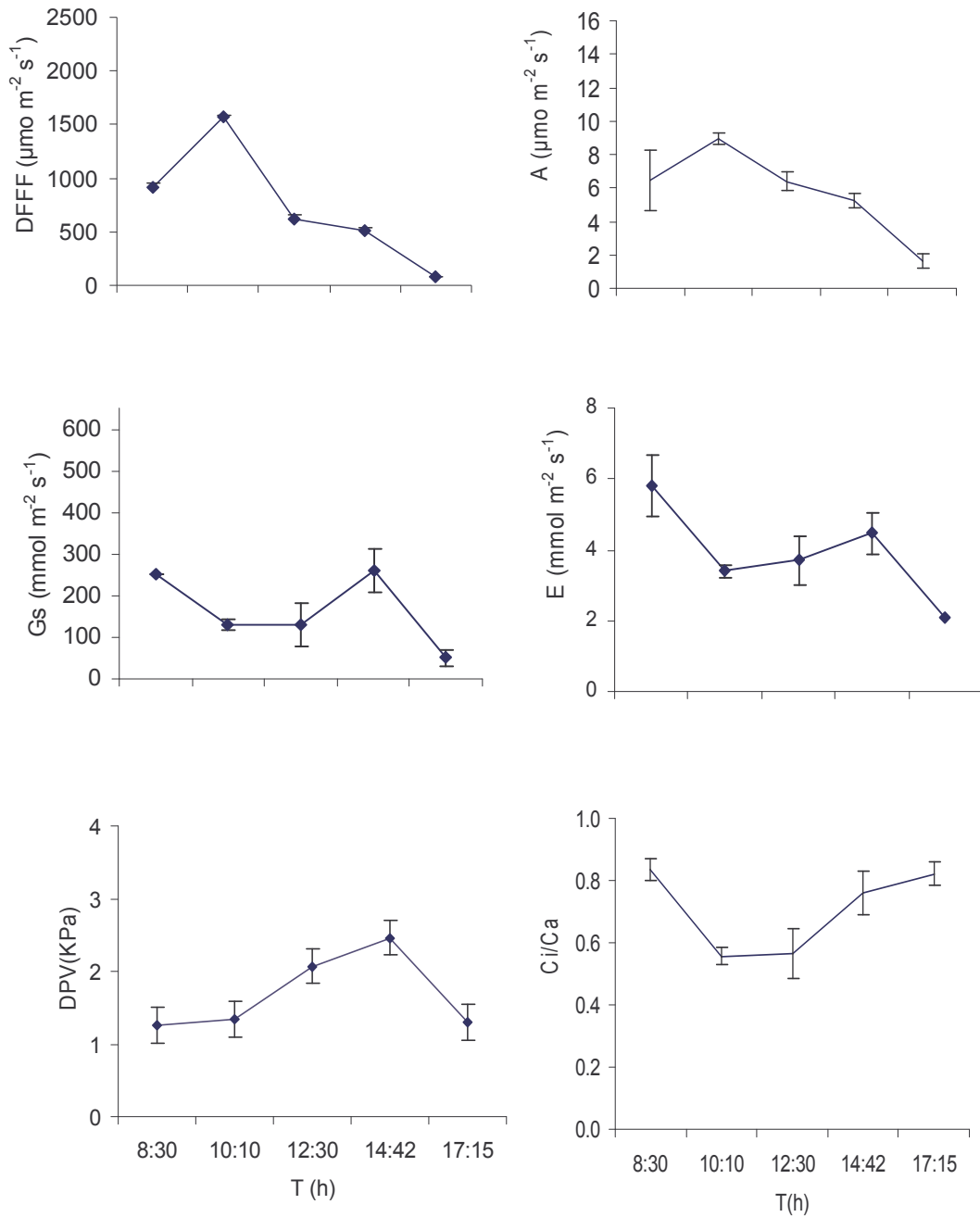
5.2: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Cebollo (306 dds)



5.3: Cursos diarios de intercambio de gases para la Variedad Cacho (306 dds)



5.4: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Bayuelo (306 dds)



5.5: Cursos diarios de intercambio de gases para la variedad Chamero (306 dds)