

**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**Memoria de Título**

**Título**

**EFFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA APLICACIÓN DE LOS HERBICIDAS  
BENTAZON Y FOMESAFEN EN DOS CULTIVARES DE POROTO VERDE  
PARA CONGELADO**

**Claus Eberhard Handwerck Feliú**

**Santiago, Chile**

**2006**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**Memoria de Título**

**Título**

**EFFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA APLICACIÓN DE LOS HERBICIDAS  
BENTAZON Y FOMESAFEN EN DOS CULTIVARES DE POROTO VERDE  
PARA CONGELADO**

**Claus Eberhard Handwerck Feliú**

**Santiago, Chile**

**2006**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**Título**

**EFFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA APLICACIÓN DE LOS HERBICIDAS  
BENTAZON Y FOMESAFEN EN DOS CULTIVARES DE POROTO VERDE  
PARA CONGELADO**

Memoria para optar al Título Profesional de  
Ingeniero Agrónomo  
Mención: Fitotecnia

**Claus Eberhard Handwerck Feliú**

	Calificaciones
Profesores Guías	
Sr. Claudio Pastenes V. Ing. Agr. Ph. D.	7,0
Sra. Cecilia Baginsky G. Dr. Ing. Agr.	7,0
Profesores Consejeros	
Sr. Ricardo Pertuzé C. Ing. Agr. Ph. D.	6,7
Sra. Verónica Díaz M. Ing. Agr. M. S.	6,5

Santiago, Chile

2006

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
RESULTADOS.....	12
DISCUSIÓN.....	15
CONCLUSIONES.....	19
BIBLIOGRAFÍA.....	31

**ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS**

Cuadro 1.....	20
Cuadro 2.....	21
Figura 1.....	22
Figura 2.....	23
Figura 3.....	24
Figura 4.....	25
Figura 5.....	26
Figura 6.....	27
Figura 7.....	28
Figura 8.....	29
Figura 9.....	30

“EFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA APLICACIÓN DE LOS HERBICIDAS  
BENTAZON Y FOMESAFEN EN DOS CULTIVARES DE POROTO VERDE  
PARA CONGELADO”

Claus Eberhard Handwerck Feliú

**RESUMEN**

Dos cultivares de poroto verde para congelado (Hystyle (H) y Summit (S)) fueron cultivados a nivel de campo para determinar la magnitud del daño fisiológico producido por los herbicidas bentazon y fomesafen y su efecto en el rendimiento y calidad de las vainas. Ambos herbicidas fueron aplicados en los estados de segunda hoja trifoliada (E1) y prefloración (E2). Se procedió a medir la tasa de permeabilidad relativa, el contenido total de clorofilas, la temperatura foliar, la luz incidente, el ángulo de hoja, el rendimiento, diámetro de vainas, longitud de vainas y número de vainas curvas y deformes. Bentazon en ambos estados afectó en mayor magnitud los parámetros medidos, siendo E1 el que presentó un mayor daño en el cultivo. Además bentazon y fomesafen disminuyeron la capacidad del poroto de realizar movimientos paraheliotrópicos, por lo que las hojas recibieron mayor radiación y aumentaron su temperatura foliar. Se observó que la aplicación de bentazon produjo en Hystyle y Summit una disminución promedio en el rendimiento de 34% y 26% respectivamente. A su vez fomesafen produjo en Hystyle y Summit una disminución promedio en el rendimiento de 23% y 20% respectivamente. Bentazon y fomesafen causaron un aumento significativo de las vainas curvas y deformes. En general el cultivar Summit presentó una mayor tolerancia a la aplicación de bentazon y fomesafen.

Palabras claves: poroto, herbicidas, bentazon, fomesafen, rendimiento, daño fisiológico, movimientos paraheliotrópicos.

“PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF THE APPLICATION OF BENTAZON AND FOMESAFEN HERBICIDES IN TWO GREEN BEAN CULTIVARS FOR FREEZING”

Claus Eberhard Handwerck Feliú

**ABSTRACT**

Two green bean cultivars (Hystyle (H) y Summit (S)) were field grown in order to determine the magnitude of physiological injury produced by the herbicides bentazon and fomesafen, and their effect in the yield and pods quality. Both herbicides were applied in second trifoliolate leaf state (E1) and preflowering state (E2). It was come to measure relative permeability rate, total chlorophyll content, foliar temperature, incident light, leaf angle, yield, pods diameter, pods length and number of curved and deformed pods. In both stages bentazon affected in greater magnitude the measured parameters, being E1 the state that presented greater crop injury. In addition bentazon and fomesafen diminished the capacity to make paraheliotropic movements, reason why the leaves received greater radiation and increased their foliar temperature. It was observed that bentazon produced 34% and 26% average yield reduction in Hystyle and Summit respectively. Fomesafen produced as well, a 23% and 20% average yield reduction in Hystyle and Summit respectively. Bentazon and fomesafen caused a significant increase of the curved and deformed pods. In general Summit presented greater tolerance to the application of both herbicidas.

Key words: beans, herbicides, bentazon, fomesafen, yield, physiological injury, paraheliotropic movements.

## INTRODUCCIÓN

El poroto o fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), es un cultivo de gran importancia a nivel mundial, especialmente como fuente proteica. Pese a esto, los rendimientos en poroto para cualquiera de sus usos, son afectados significativamente por la competencia con malezas, y en especial, con las malezas anuales de hoja ancha (Bailey *et al.*, 2003; Bellinder *et al.*, 1998). Esta disminución en los rendimientos está directamente relacionada con la densidad de malezas y la competencia por luz, agua y nutrientes que éstas generan. En este sentido, se han observado pérdidas en los rendimientos de poroto de hasta un 45% (Sweet, 1986; Shepps y Ashley, 1985, citados por Bailey *et al.*, 2003). En el poroto es común que se presenten niveles importantes de enmalezamiento. Entre las causas probables pueden citarse el lento crecimiento inicial de las plantas una vez emergidas, la baja altura que estas alcanzan, las amplias distancias generalmente empleadas en el cultivo, la no utilización de herbicidas o el insuficiente espectro de control de aquellos que se pueden usar, el atraso en el control y la ineficiencia de los controles mecánicos y manuales (Faiguenbaum, 2003).

Actualmente, el control químico de malezas en poroto es limitado, debido el escaso número de productos registrados (Sikkema *et al.*, 2004). Otro factor de importancia es la corta residualidad de los herbicidas suelo activos o de presiembra disponibles para el cultivo, con lo que se incrementa la necesidad de ocupar herbicidas de post emergencia (Bellinder, 1998). Para controlar malezas anuales de hoja ancha en post emergencia, puede recurrirse básicamente a herbicidas de contacto como bentazon y fomesafen (Sikkema *et al.*, 2004). Bentazon pertenece a la familia de los benzotriazolones y actúa inhibiendo la fotosíntesis. Además requiere un completo cubrimiento de la planta para que sea efectivo (Ware, 2000). Las dosis recomendadas de bentazon son muy variables y fluctúan desde 0,48 hasta más de 2 kg i.a./ha. Además pueden variar dependiendo del país o de las diferentes regiones de un mismo país (Guiraldes, 1991). Fomesafen es un herbicida que pertenece a la familia de los difeniléteres, la cual presenta una translocación limitada. Como efectos visibles de actividad, induce clorosis y necrosis (Ware, 2000). Este herbicida actúa inhibiendo la fotosíntesis por generación de radicales peróxido en los cloroplastos y destrucción de ácidos grasos en la membrana (AFIPA, 2002). Las dosis recomendadas de este herbicida también son variables, pero en menor magnitud si se le compara a bentazon; estas varían entre 0,28 a 0,43 kg i.a./ha, debido al mayor potencial de este herbicida de causar daño al cultivo a mayores dosis (Comeau *et al.* 1994, citados por Bailey *et al.*, 2003).

En general los herbicidas alteran el metabolismo de las plantas y favorecen la formación de especies oxidativas a nivel de cloroplastos (Foyer *et al.*, 1994). Bentazon y fomesafen actúan justamente generando estrés oxidativo, a través de la inhibición de la fotosíntesis (Ware, 2000; AFIPA, 2002). El daño producido en el poroto por la aplicación de diversos herbicidas, ha sido estudiado principalmente en cultivares para grano seco. Sin embargo, no se han llevado a cabo estudios en cultivares destinados a la obtención de poroto verde para congelado. En el presente estudio se determinó la magnitud del daño fisiológico y su efecto en el rendimiento y calidad de las vainas en dos cultivares de poroto verde para congelado.



## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó entre noviembre del 2004 y enero del 2005, en la Estación Experimental Agronómica Antumapu de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. El experimento se realizó con un diseño en bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Se utilizaron dos cultivares de vaina cilíndrica y hábito determinado: Hystyle (H) y Summit (S), que fueron dispuestos en ensayos separados. Cada ensayo tuvo una superficie de 405 m<sup>2</sup>. Cada bloque estuvo constituido de cinco unidades experimentales o parcelas, cada una con una superficie de 6 m de largo x 3 m de ancho, en donde se dispusieron 5 hileras separadas a 0,5m. Los tratamientos se elaboraron a través de la combinación de los siguientes factores: *a) Momento de aplicación*: correspondiente a aplicaciones en el estado de segunda hoja trifoliada (E1) y en el estado de prefloración (E2) de las plantas; *b) Herbicidas*: bentazon con dosis de 1,2 kg de i.a./ha (B); fomesafen con dosis de 0,375 kg de i.a./ha (F) y un control (C).

Se realizó un control manual de las malezas en ambos ensayos con el objetivo de mantener siempre limpios los tratamientos, independiente de la aplicación de los herbicidas. Las distintas mediciones fueron tomadas en las plantas localizadas en las 3 hileras centrales de cada unidad experimental. Los tratamientos fueron comparados mediante un análisis de varianza (ANDEVA) con 5% de significancia. Cuando se encontraron diferencias significativas se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para separar las medias de los tratamientos.

### Manejo del cultivo

La siembra se realizó el día 05 de noviembre del 2004. Las semillas fueron distribuidas en forma manual, aplicándose a la siembra 20 unidades de N y 80 unidades de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por hectárea. Las semillas fueron desinfectadas con Pormasol Forte 80% WP (Thiram) en una dosis de 220 g por 100 kg de semilla para evitar daño de hongos patógenos. Con el objeto de prevenir ataques de gusanos cortadores y barrenadores se aplicó Lorsban granular sobre la hilera a una dosis de 22 kg/ha. La dosis de semilla fue calculada en función de obtener en promedio 16 a 18 plantas/metro lineal a cosecha. En prefloración se aplicó la segunda fertilización nitrogenada, en dosis de 40 unidades de N por hectárea.

Cuando el cultivo alcanzó el estado de primera hoja trifoliada, se realizaron los surcos de riego en forma manual, para posteriormente iniciar los riegos con una frecuencia de 7 días y con un tiempo de riego mayor a medida que el cultivo alcanzaba la cosecha, cuidando de que el agua no llegara a las plantas y sólo cubriera los surcos. Los riegos fueron suspendidos 4 días antes de la cosecha de cada cultivar, para facilitar las labores de esta.

### Variables fisiológicas

Luego de 48 horas de cada aplicación, se procedió a determinar la tasa de permeabilidad relativa, el contenido total de clorofilas, la temperatura foliar y la luz incidente. Se tomaron muestras en la segunda hoja trifoliada (E1) y en la hoja correspondiente al nudo vegetativo inmediatamente anterior al del primer nudo reproductivo en el eje central (E2). Todo esto se realizó de acuerdo a los siguientes procedimientos:

**Tasa de permeabilidad relativa (TPR).** Se tomaron discos de hojas correspondientes a un disco por cada folíolo de una hoja trifoliada por planta, en tres plantas al azar por parcela. Estas constituyeron una muestra compuesta correspondiente a una repetición. Los discos de hoja se lavaron con agua destilada y se dejaron en remojo en 25 mL de agua destilada en vasos de precipitado por 3 horas, midiendo la conductividad eléctrica (CE) del agua al final del período. Esta medición corresponde a la CE inicial ( $CE_i$ ). Luego, se colocaron a 80° C en baño maría por 15 minutos y se dejaron enfriar por 1 hora, determinándose la CE del efluente de remojo. Esta última lectura corresponde a la CE final ( $CE_f$ ). Para medir la CE se utilizó un conductivímetro (Oakton-con, SING.). La TPR (%) se determinó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$TPR = (CE_i / CE_f) \times 100$$

**Contenido total de clorofilas.** Se determinó el contenido total de clorofilas mediante un determinador portátil de clorofilas, SPAD (Optiscience-CCM200, USA). Para ello, se realizaron las mediciones en los tres folíolos de la hoja correspondiente al estado de aplicación, en 3 plantas al azar por parcela. Las lecturas de absorbancia del determinador portátil se calibraron de acuerdo a determinaciones del contenido total de clorofilas, realizadas mediante extracción en acetona siguiendo el método de Lichtenthaler y Wellburn (1983).

**Temperatura foliar.** Las determinaciones de temperatura foliar se realizaron en el mediodía solar, mediante un termómetro infrarrojo (CHY 110, TAI.). Las mediciones se realizaron en los tres folíolos de la hoja correspondiente al estado de aplicación, en 3 plantas al azar por parcela, cuidando de no sombrear la superficie foliar de medición.

**Luz incidente.** Las determinaciones de luz incidente (PAR), al igual que las de temperatura foliar, se realizaron en el mediodía solar. Para ello, se posicionó el censor puntual de un radiómetro (DELTA OHM HD9021, IT.) paralelo a la posición del folíolo central de la hoja correspondiente al estado de aplicación, en 3 plantas al azar por parcela. Además, se determinó la radiación solar horizontal al suelo y perpendicular al sol en el momento de medición. Con esta medición se obtuvo además el ángulo de la hoja central mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Cos } \delta = \text{PAR folíolo central} / \text{PAR perpendicular al sol}$$

### Variables de rendimiento y calidad

**Rendimiento por planta y por superficie.** Se realizó sólo un corte de cosecha. El momento oportuno para cosechar se determinó visualmente para ambos cultivares,

según el estado de las vainas. Para determinar el rendimiento por planta y por superficie, se marcaron 2 sectores de un metro lineal en las hileras centrales de cada parcela. Se cosechó el número de plantas correspondientes a cada sector y todas las vainas producidas en ese metro lineal. A partir de los resultados, se obtuvo el rendimiento promedio por planta y por superficie para cada tratamiento.

**Calidad de las vainas.** Una vez realizada la cosecha, se procedió a medir la longitud y el diámetro de cada vaina cosechada. Además se cuantificaron las vainas curvas y deformes de cada planta. De los resultados se obtuvo un promedio por cada tratamiento.

**Producción de materia seca.** Para determinar la acumulación de materia seca de la parte aérea en el tiempo, se sacaron 4 plantas al azar por parcela y se secaron en estufa a 70° C durante 48 horas. Se realizaron diferentes muestreos en el ciclo del cultivo:

1. En el estado de desarrollo de segunda hoja trifoliada, 1 día antes del primer momento de aplicación (E1). Esta medición fue realizada a los 17 días después de la emergencia (DDE) en Hystyle y Summit.
2. 10 días después del punto 1. Esta medición coincidió en ambos cultivares con la medición en el estado de desarrollo de prefloración, 1 día antes del segundo momento de aplicación (E2). Esta medición fue realizada a los 27 DDE en Hystyle y Summit.
3. 10 días después del punto 2. Esta medición fue realizada a los 37 DDE en Hystyle y Summit.
4. Previo a la cosecha. Esta medición fue realizada a los 53 y a los 57 DDE en Hystyle y Summit respectivamente.

## RESULTADOS

La temporada de crecimiento del cultivo se caracterizó por presentar altas temperaturas y elevada intensidad lumínica. La temperatura ambiental en el mediodía solar para el estado de segunda hoja trifoliada, promedió los 21,4°C, mientras que para prefloración promedió los 22°C (Cuadro 1). La luz incidente (PAR) en el mediodía, presentó un valor promedio para la medición perpendicular al sol de 2.325  $\mu\text{mol}$  fotones PAR en segunda hoja trifoliada y de 2.265  $\mu\text{mol}$  fotones PAR en prefloración (Cuadro 1).

En ambos cultivares se observó una mayor temperatura foliar en el estado de segunda hoja trifoliada, respecto del estado de prefloración. Producto de la aplicación de bentazon en el cv. Hystyle, se observó un aumento significativo de la temperatura foliar en ambos estados de desarrollo. A su vez la aplicación de fomesafen presentó un aumento significativo de la temperatura foliar en el estado de prefloración (Fig. 1). Al contrario, en el cv. Summit no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en ambos estados de desarrollo, manteniéndose las temperaturas foliares en un rango de 20 a 25°C aproximadamente, en los distintos tratamientos herbicidas y fechas de aplicación (Fig. 1).

Respecto de la luz incidente, se observa un mayor valor en las hojas al estado de prefloración, el que alcanza niveles significativos en el cv. Hystyle en comparación al estado de segunda hoja trifoliada. Así mismo, en este cultivar se observa un claro aumento en los niveles de radiación incidente al aplicar los herbicidas en el estado de segunda hoja trifoliada. Aún cuando se observa una tendencia a aumentar en dicho parámetro en el estado de prefloración en los tratamientos herbicidas, las diferencias no alcanzan niveles estadísticamente significativos (Fig. 2). En el cv. Summit, no se observan diferencias significativas en la radiación incidente entre los controles de ambos estados fenológicos estudiados, así como tampoco ocurren cambios en este parámetro por la aplicación de herbicidas en el estado de segunda hoja trifoliada. Al contrario, en el estado de prefloración, fomesafen indujo un aumento significativo de la luz incidente (Fig. 2). Cabe hacer notar que la luz incidente, en todos los tratamientos, es menor a la luz PAR al momento de las mediciones (Cuadro 1).

Como era esperable, el ángulo de hoja presenta un comportamiento muy similar al de la luz incidente (Fig. 2), puesto que el cálculo de  $\text{Cos } \delta$  se realizó dividiendo los valores de la medición en el folíolo central con los valores de la medición perpendicular al sol, que fue muy pareja en todas las mediciones. Mientras mayor es el valor de  $\text{Cos } \delta$ , mayor es la cantidad de radiación que recibe la hoja evaluada. En este caso, se observa que las hojas de fréjol de ambos cultivares nunca estuvieron posicionadas horizontalmente (Fig. 2).

Los valores de la tasa de permeabilidad relativa (TPR) muestran para el cv. Hystyle un aumento de 4 veces en el estado de segunda hoja trifoliada por la aplicación de bentazon, mientras que en el estado de prefloración, si bien existe una tendencia a aumentar los niveles de TPR producto de la aplicación de ambos herbicidas, particularmente bentazon, las diferencias no alcanzan niveles de significancia. En

cuanto al cv. Summit, la única diferencia respecto de los controles se observa por la aplicación de bentazon en el estado de segunda hoja trifoliada. En este caso, sin embargo, se produjo un aumento de TPR de aproximadamente un 30% respecto del control, bastante menor a lo observado en Hystyle. (Fig. 3).

En cuanto al contenido de clorofilas en hojas, se observa en ambos cultivares, que el contenido de este pigmento disminuye su concentración al pasar del estado de segunda hoja trifoliada al de prefloración. En el cv. Hystyle, la aplicación de bentazon en ambos estados disminuye significativamente el contenido total de clorofilas (Fig. 4). Por otra parte, también en el cv. Hystyle, se aprecia que fomesafen induce una disminución en el contenido de pigmentos fotosintéticos foliares al aplicarse en el estado de prefloración, pero no afecta a este parámetro en el estado de segunda hoja trifoliada. En el cv. Summit no se aprecian cambios en el contenido de clorofilas por la aplicación de los herbicidas, excepto para el caso de bentazon en prefloración, donde el contenido de clorofilas disminuye en un 25% aproximadamente (Fig. 4).

Los valores promedio de rendimiento obtenidos en Hystyle y Summit por los tratamientos control, fueron de 18.626,6 kg/ha y 19.455,5 kg/ha respectivamente. En ambos cultivares, la aplicación de bentazon resultó con el mayor impacto sobre el rendimiento, independiente del momento de aplicación. Fomesafen, en cambio, indujo una disminución significativa del rendimiento solamente en la aplicación de segunda hoja trifoliada en el cultivar Hystyle y en prefloración en Summit (Fig. 5). Bentazon produjo en Hystyle y Summit una disminución promedio en el rendimiento de 34% y 26% respectivamente. A su vez, la aplicación de fomesafen disminuyó los rendimientos en Hystyle y Summit en un 23% y 20% respectivamente.

El diámetro de las vainas fue inferior en promedio en el cv. Hystyle comparado con Summit (Fig. 6). En ninguno de los cultivares existieron diferencias significativas entre los tratamientos. Por otra parte, la longitud de las vainas también presentó valores inferiores en Hystyle y sin diferencias significativas entre los tratamientos (Fig. 7). En el cv. Summit, la aplicación de bentazon en segunda hoja trifoliada generó menores valores de longitud de vainas, presentando diferencias significativas con todos los tratamientos, excepto con fomesafen en segunda hoja trifoliada (Fig. 7).

En la Figura 8 se aprecia en Hystyle y Summit que todos los tratamientos herbicidas aumentaron significativamente la presencia de vainas curvas y deformes con respecto al control, generando importantes pérdidas en peso por hectárea. En el cv. Hystyle, bentazon y fomesafen generaron pérdidas que promediaron los 495 kg/ha y los 437 kg/ha respectivamente. En el cv. Summit, bentazon y fomesafen generaron pérdidas que promediaron los 522 kg/ha y los 439 kg/ha respectivamente (Fig. 8).

Con respecto a la precocidad, el cv. Hystyle fue más precoz, llegando a cosecha una semana antes que Summit (Cuadro 2), debido fundamentalmente a un período menor entre siembra y emergencia, y a una menor etapa de formación de vainas. Los demás estados de desarrollo presentaron prácticamente la misma duración en días después de la emergencia (DDE) tanto en Hystyle como en Summit, principalmente desde emergencia hasta plena floración (Cuadro 2). Por esta misma razón las mediciones de peso seco coincidieron en los DDE de cada cultivar. La única excepción fue la última medición,

realizada previo a cosecha, en donde el peso seco del cv. Hystyle fue evaluado a los 53 DDE, mientras que en el cv. Summit se determinó a los 57 DDE (Fig. 9). En las mediciones de peso seco del cv. Hystyle, el tratamiento control presentó los mayores valores de materia seca en comparación a los demás tratamientos, pero sólo obtuvo diferencias significativas con la aplicación de bentazon en prefloración, que fue el tratamiento de menor valor de peso seco (Fig. 9). En el cv. Summit, el tratamiento control también obtuvo los mayores valores en comparación a los demás tratamientos, pero sólo mostró diferencias significativas con la aplicación de bentazon en segunda hoja trifoliada. Cabe mencionar que desde los 37 DDE hasta la cosecha, el cv. Summit presentó mayores valores de peso seco que el cv. Hystyle (Fig 9).

## DISCUSIÓN

El poroto verde en Chile es producido bajo riego en la zona central, que cuenta con un clima Mediterráneo, caracterizado por altas temperaturas, elevada intensidad lumínica y ausencia de lluvias estivales. Esto permite obtener un cultivo sano, de alto rendimiento y de óptima calidad de vainas. Sin embargo, las condiciones de elevada luminosidad y altas temperaturas, pueden generar situaciones de estrés que afecten el crecimiento de las plantas. Así, por ejemplo, en el transcurso de un día, las plantas están sujetas a variaciones de gran magnitud en la calidad e intensidad de la luz incidente (Demmings-Adams y Adams, 1992). Cuando hay un bajo flujo de fotones (aprox. 100  $\mu\text{mol}$  fotones PAR), más del 80% de la luz absorbida sería utilizada, de acuerdo al rendimiento cuántico máximo de  $\text{O}_2$  medido (Björkman y Demming, 1987). Cuando el flujo de fotones se aproxima a la mitad de plena luz (aprox. 1000  $\mu\text{mol}$  fotones PAR), sólo un 25% de la luz absorbida es utilizada, y a plena luz del sol, la utilización desciende a un 10% aproximadamente. En general, condiciones de excesos de luz, respecto de la capacidad de las plantas de utilizarla en forma fotoquímica, promueven la formación de especies reactivas de oxígeno, generando un estrés oxidativo en los vegetales.

En general los herbicidas alteran el metabolismo de las plantas y favorecen la formación de especies oxidativas a nivel de cloroplastos (Foyer *et al.*, 1994). Bentazon y fomesafen en particular, son herbicidas de contacto que actúan justamente generando estrés oxidativo, a través de la inhibición de la fotosíntesis (Ware, 2000; AFIPA, 2002). La principal fuente de especies oxidativas se encuentra en el sistema de transporte de electrones fotosintético, ya que el flujo de electrones es capaz de reducir al oxígeno molecular, formando especies reactivas de oxígeno en el lado aceptor de electrones del fotosistema I (PSI) y también en algunos componentes del fotosistema II (PSII) (Asada, 1996). Los resultados obtenidos en este estudio indican que la aplicación de estos herbicidas induce trastornos resultantes en un aumento de la tasa de permeabilidad relativa (TPR) en las membranas, particularmente en la variedad Hystyle (Fig. 3) y en una reducción en el contenido de clorofilas (Fig 4). Evidentemente, la aplicación de agentes promotores de estrés oxidativo, como son los herbicidas estudiados, podrían explicar dichos efectos.

Frente a condiciones restrictivas, las plantas de poroto tienen la capacidad de mover sus hojas para evadir la luz del sol (Reed, 1987). Esto se denomina paraheliotropismo y aparentemente resulta de un cambio osmótico en el pulvínulo, en la base de cada folíolo, debido a estímulos del estado lumínico, hídrico o ambos (Assmann, 1993; Donahue, 1990). La capacidad del poroto de mover sus hojas para evitar la luz directa del sol, confiere en las plantas una protección contra la fotoinhibición y una mantención de la temperatura de las hojas por debajo de la temperatura del aire (Pastenes *et al.* 2004). Convenientemente, el grado de tales movimientos es mayor en plantas estresadas (Pastenes *et al.*, 2004, Pastenes *et al.*, 2005). En el presente estudio, las plantas de poroto tratadas con herbicidas mostraron un menor movimiento de hojas evadiendo el sol, con menores ángulos foliares hacia el mediodía (Fig. 2). Esto último, como era de esperar, redundó en mayores temperaturas foliares (Fig. 1) y mayores niveles de intensidad luminosa incidente (Fig. 2).

La menor capacidad de las plantas tratadas con herbicidas de realizar movimientos paraheliotrópicos, puede deberse al daño que bentazon y fomesafen producen en las hojas, posiblemente dañando también al pulvínulo. Esto generó que las hojas tratadas con herbicidas recibieran mayor luz incidente. Normalmente, altas intensidades luminosas resultan en una baja utilización de NADPH y ATP, generando, a nivel de clorofilas, una sobreexcitación luminosa capaz de inducir la formación de especies reactivas de oxígeno, tales como superóxido y oxígeno singulete. Si este nivel de especies reactivas de oxígeno aumenta, se puede llegar a la destrucción de las membranas celulares en las hojas. De acuerdo con los resultados, bentazon presenta en Hystyle y Summit el mayor nivel de daño a las membranas celulares en segunda hoja trifoliada (Fig. 3). Esto desencadenó claramente un estrés en la planta y provocó que las hojas dañadas jamás se recuperaran del daño visual generado. Cabe destacar que fomesafen prácticamente no causa ningún efecto negativo sobre las membranas en ninguno de los dos estados de aplicación evaluados.

En el contenido total de clorofilas, bentazon es el herbicida que más afecta este parámetro en ambos estados y cultivares (Fig. 4). La disminución en el contenido total de clorofilas va asociada generalmente a un daño visual. En este experimento, el daño visual generado por bentazon fue una fuerte clorosis foliar, mientras que el generado por fomesafen ocurrió en forma de pardeamientos en la hoja. Bailey *et al* (2003) encontraron en poroto verde que el daño visual generado por fomesafen con dosis mayores a 0,28 kg de i.a./ha fue menor o similar en intensidad al generado por la aplicación de bentazon a una dosis de 0,56 kg de i.a./ha. Soltani *et al* (2005a) señalan que la aplicación en post emergencia de bentazon puede causar un daño visual severo al cultivo e incluso disminuir los rendimientos en poroto rojo. Además, experimentos de campo en poroto negro y poroto frutilla, mostraron una mayor sensibilidad a bentazon con respecto a otros herbicidas (Soltani *et al* 2005b). Estos estudios concuerdan con los resultados de este experimento, en donde bentazon generó un mayor daño visual en el cultivo, disminuyendo el contenido total de clorofilas.

La literatura presenta versiones contradictorias sobre el efecto de estos herbicidas en el rendimiento de diferentes tipos de poroto (Bailey *et al*, 2003; Soltani *et al* 2005a; Soltani *et al* 2005b; Sikkema *et al*, 2004; Wilson, 2005; McNaughton, 2004a; McNaughton, 2004b). El hecho de que en algunos cultivares el rendimiento no se vea afectado tras la aplicación de estos herbicidas, se puede atribuir a su hábito de crecimiento, ya que en cultivares indeterminados podría existir una pronta recuperación de las plantas. En el caso de los cultivares Hystyle y Summit, que presentan un hábito de crecimiento determinado, se generó una disminución de los rendimientos en los dos estados de aplicación de bentazon y fomesafen (Fig. 5). Al parecer, la intensidad del daño fisiológico y su efecto en el rendimiento de poroto dependen del herbicida, de la dosis a emplear, del tipo de producción y de la tolerancia de cada cultivar a la aplicación de estos herbicidas. Cabe destacar que las dosis utilizadas en este estudio fueron superiores a las indicadas por otros autores, con el objetivo de observar la respuesta fisiológica del poroto verde para congelado frente a las dosis máximas recomendadas. En este sentido, podría disminuirse el daño mediante aplicaciones parcializadas de fomesafen y bentazon a menores dosis. También podría lograrse un menor daño al cultivo con aplicaciones de ambos herbicidas mezclados a menores dosis (Bailey *et al.*,



2003; Bellinder *et al.*, 1998). Sin embargo, esto requiere de más estudio, puesto que a menores dosis también se genera daño en el cultivo y el control de malezas puede ser menos efectivo (Bailey *et al.*, 2003; Soltani *et al.* 2005a; Soltani *et al.* 2005b). El aumento de las malezas debido a un control poco eficiente, podría generar importantes pérdidas en el rendimiento. El poroto no es un cultivo competitivo contra las malezas y el no control de éstas puede generar pérdidas de más de un 70% en el rendimiento (Malik *et al.*, 1993). Claramente, el hecho de no aplicar estos herbicidas perjudica más el rendimiento que el emplearlos de manera eficiente. Según Woolley *et al.* (1993), el período crítico libre de malezas para poroto está entre el estado de segunda hoja trifoliada y el estado de primera flor. En este sentido, cada control químico y mecánico debe realizarse durante las primeras tres a nueve semanas para lograr un control efectivo de las malezas (Vangessel *et al.*, 1998).

En general, los cultivares utilizados para la producción de poroto verde son precoces y presentan períodos similares de duración entre siembra y cosecha (Cancino, 1994). Eso sí, aún cuando existan diferencias en la duración de las diferentes etapas del desarrollo de la planta de poroto, no necesariamente habrá diferencias en el rendimiento en vaina verde (Prakash y Ram, 1981). En el presente estudio el cv. Hystyle fue más precoz que Summit, lográndose la cosecha de las vainas una semana antes (Cuadro 2), con una menor acumulación de materia seca, menor rendimiento, menor longitud y diámetro de vainas, y una mayor magnitud de daño en todos los parámetros fisiológicos analizados. Esto demuestra que Hystyle, el cultivar más precoz, fue más susceptible a las aplicaciones de bentazon y fomesafen. En otras especies, como maíz, se ha visto cómo las variedades más precoces resultan ser más susceptibles a la aplicación de diversos herbicidas que las variedades más tardías (Ahumada, 1995). Esto podría explicarse por un metabolismo más rápido en las variedades precoces que implique una translocación mayor de los herbicidas en las plantas.

Con respecto a la calidad de las vainas, el diámetro y la longitud de éstas, se puede indicar que fue muy parejo y se vio más influenciado por el cultivar que por la aplicación de los herbicidas (Fig. 6 y 7). El número de vainas curvas y deformes en Hystyle y Summit fue incrementado por la aplicación de bentazon y fomesafen, generando pérdidas en peso que fluctuaron entre los 300 y los 600 kg/ha en ambos cultivares (Fig. 8). No se puede atribuir claramente el aumento de vainas curvas y deformes a la acción de bentazon o fomesafen, debido a que éstos se aplicaron antes de floración. Sin embargo, por los resultados obtenidos, en donde los tratamientos control de Hystyle y Summit prácticamente no presentaron vainas curvas y deformes, se puede inferir un posible efecto de los herbicidas. Bentazon y fomesafen afectaron los tejidos fotosintéticos en Hystyle y Summit, por lo que debiera existir una relación entre la aplicación de estos herbicidas y la curvatura de vainas. En este sentido, en ensayos realizados sobre fotosíntesis de vainas de poroto, se encontró que la actividad fotosintética neta de la misma era bastante baja, pero que adquiriría importancia al reciclar el CO<sub>2</sub> liberado en la respiración (Oliver, Poljakoff-Mayber y Mayer, 1978; Crookston, O'toole y Ozbum, 1974). Al existir actividad fotosintética en las vainas, estas podrían ser afectadas por los herbicidas. Entonces, una de las razones podría ser la translocación de ambos herbicidas post aplicación hacia todos los tejidos fotosintéticos, incluidas las vainas, que además presentan una demanda mayor de fotoasimilados. También se puede suponer una inestabilidad de los ingredientes activos post aplicación,

un problema hormonal que se genere en la planta post aplicación o un daño en la división y elongación celular, entre otras razones. Sería interesante en futuros estudios buscar la explicación exacta de este aumento en las vainas curvas y deformes.

## CONCLUSIONES

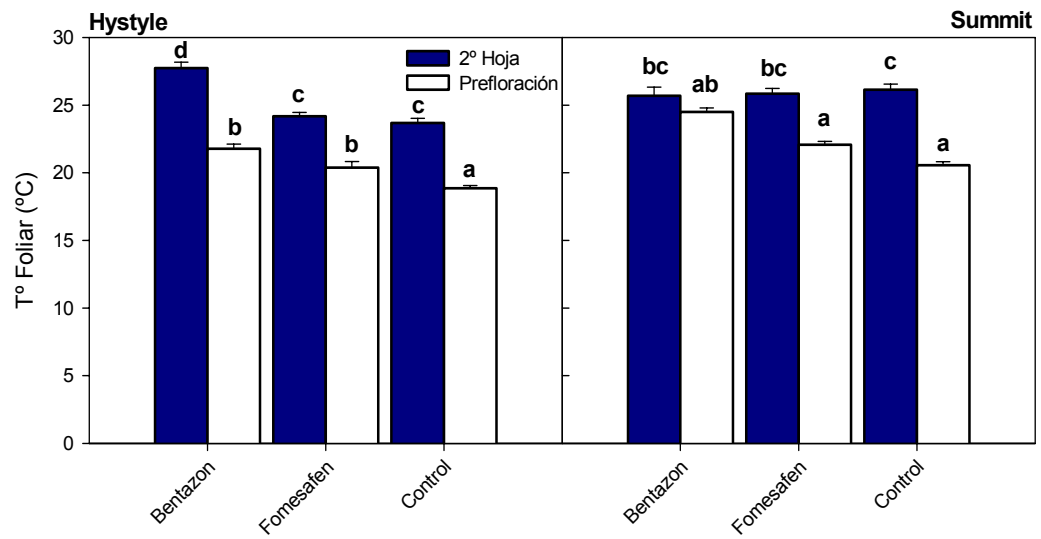
- Bentazon y fomesafen disminuyen la capacidad de las plantas de realizar movimientos paraheliotrópicos, posiblemente por un daño producido en el pulvínulo. La aplicación genera una condición estresante en el cultivo, debido a que las plantas aplicadas reciben mayor luz incidente y ven aumentadas sus temperaturas foliares.
- Bentazon afecta en mayor magnitud que fomesafen la permeabilidad de las membranas (TPR), el contenido total de clorofilas, la temperatura foliar, el ángulo de hoja y la luz incidente en las hojas, especialmente cuando se aplica en el estado de segunda hoja trifoliada, siendo este estado el más susceptible a las aplicaciones de ambos herbicidas.
- Bentazon y fomesafen afectan significativamente el rendimiento de poroto verde para congelado. Además afectan la calidad de las vainas, aumentando la presencia de vainas curvas y deformes. Por el contrario, los parámetros de longitud y diámetro de las vainas no se afectan por la aplicación de estos herbicidas.
- El cv. Summit presenta mayor tolerancia que el cv. Hystyle a las aplicaciones de bentazon y fomesafen en segunda hoja trifoliada y prefloración, afectándose en menor magnitud en todos los parámetros analizados.

**Cuadro 1.** Temperatura ambiental y luz incidente en el día de las mediciones correspondientes a segunda hoja trifoliada (E1) y a prefloración (E2) de los cultivares Hystyle y Summit.

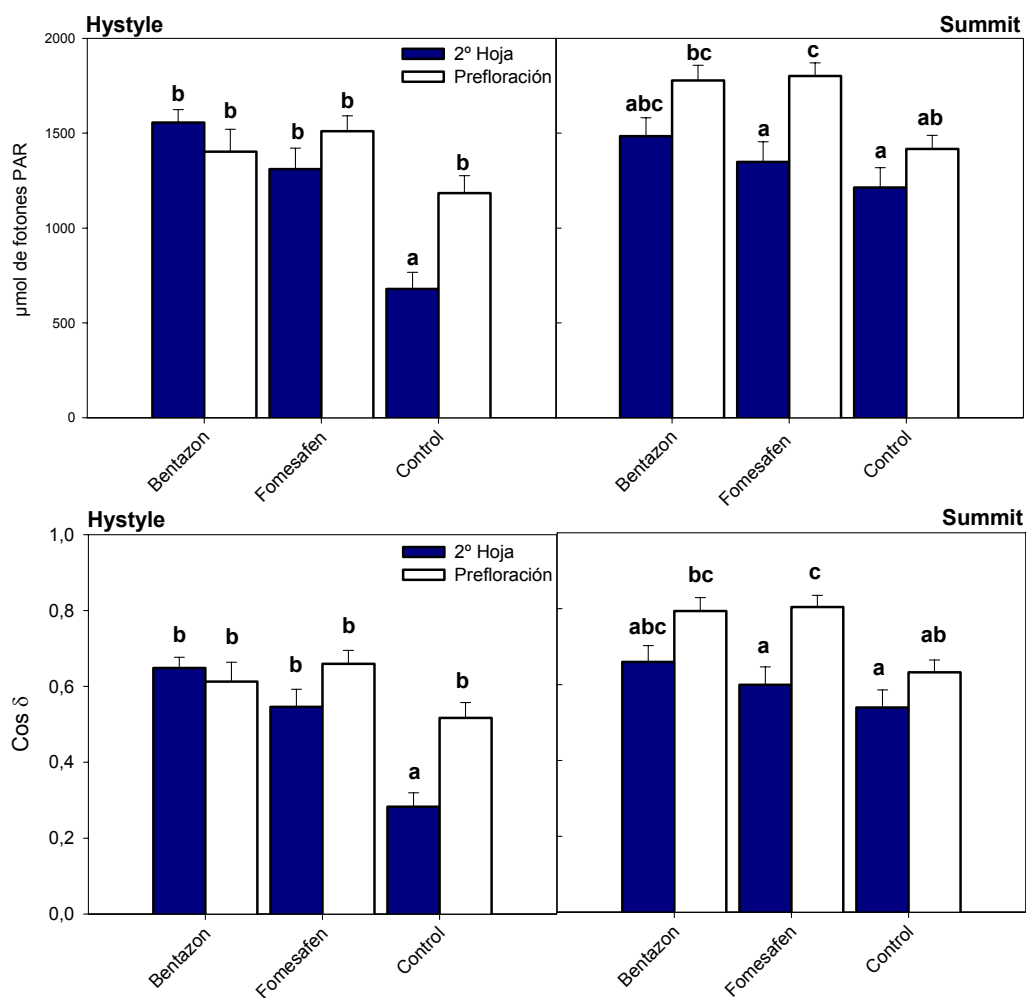
	Temperatura ambiental (°C)	Luz incidente ( $\mu\text{mol}$ fotones PAR)
<i>Hystyle</i>		
E1 (08/Dic)	21,0	2400
E2 (19/Dic)	22,0	2290
<i>Summit</i>		
E1 (13/Dic)	21,8	2250
E2 (24/Dic)	21,9	2240

**Cuadro 2.** Período en días entre los diferentes estados de desarrollo de los cultivares Hystyle y Summit.

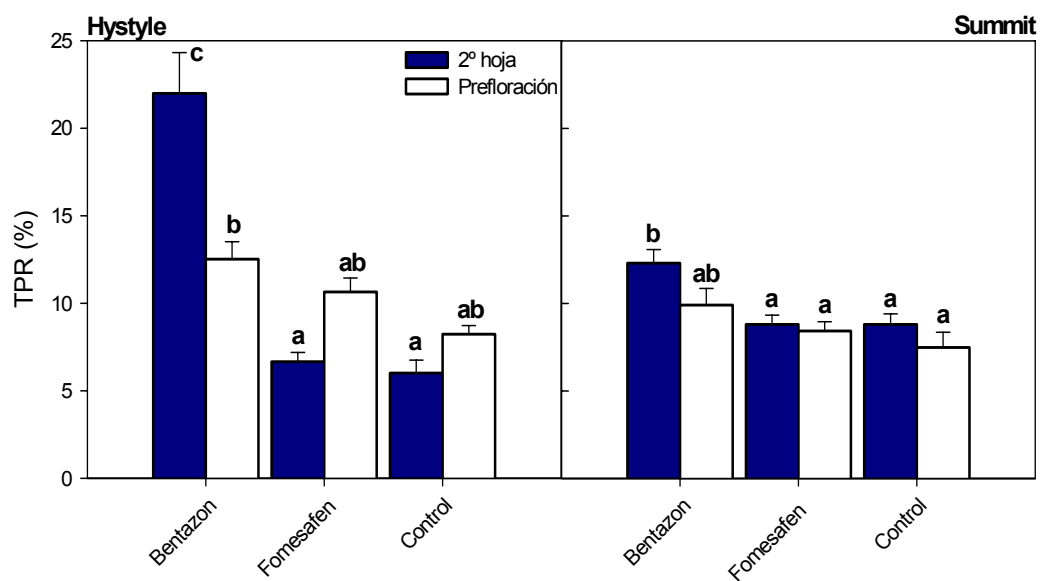
<b>Estados de desarrollo</b>	<i>Hystyle</i>	<i>Summit</i>
Días de siembra a emergencia	13	16
Días de emergencia a segunda hoja trifoliada	17	17
Días de emergencia a prefloración	27	27
Días de emergencia a inicio de floración	32	32
Días de emergencia a plena floración	37	37
Días de emergencia a inicio formación de vainas	39	40
Días de emergencia a cosecha	53	57
Días de siembra a cosecha	66	73



**Figura 1.** Temperatura foliar en Hystyle y Summit. Sobre las barras se indica el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada cultivar ( $P \leq 0,05$ ).

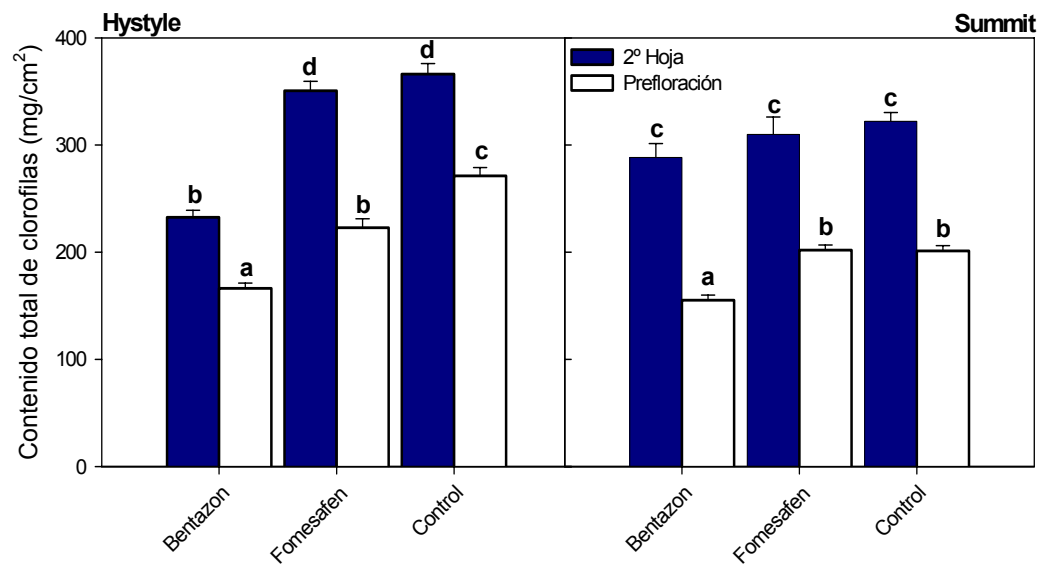


**Figura 2.** Luz incidente (PAR) en las hojas de Hystyle y Summit (panel superior). Ángulo de hoja (Cos  $\delta$ ) de Hystyle y Summit (panel inferior). Sobre las barras se indica el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada cultivar ( $P \leq 0,05$ ).

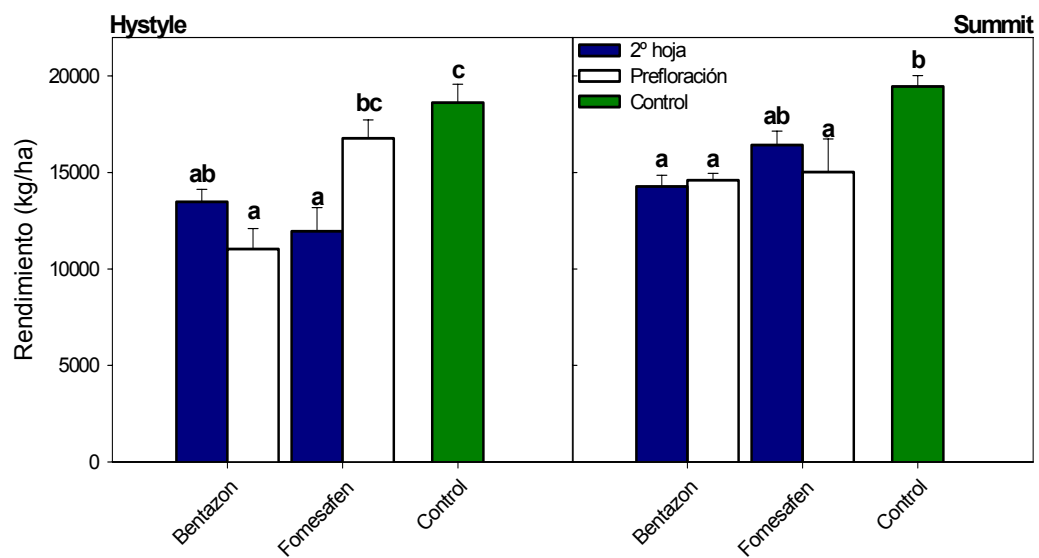


**Figura 3.** Tasa de permeabilidad relativa (TPR) en Hystyle y Summit. Sobre las barras se indica el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada cultivar ( $P \leq 0,05$ ).

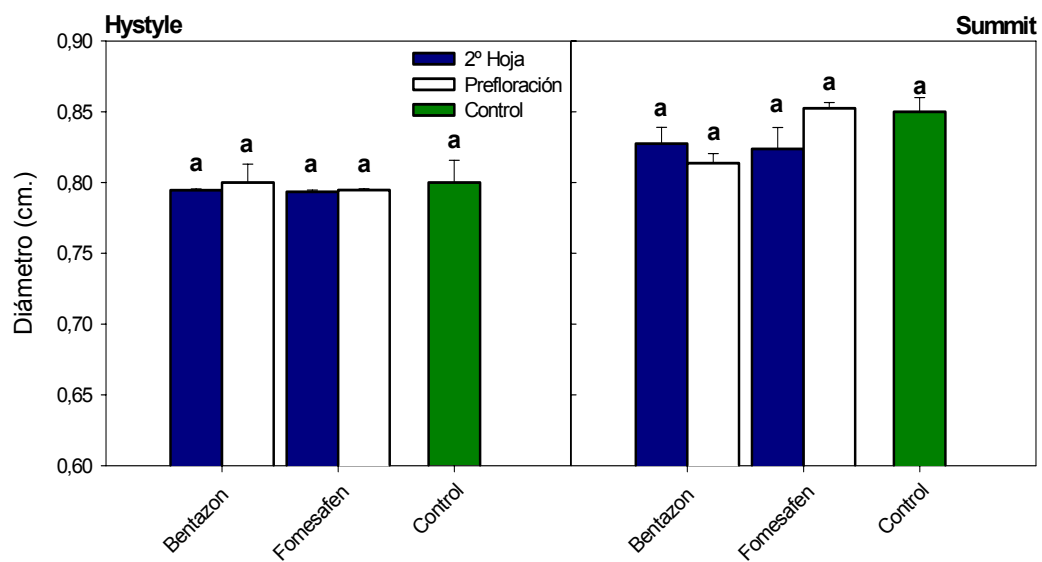




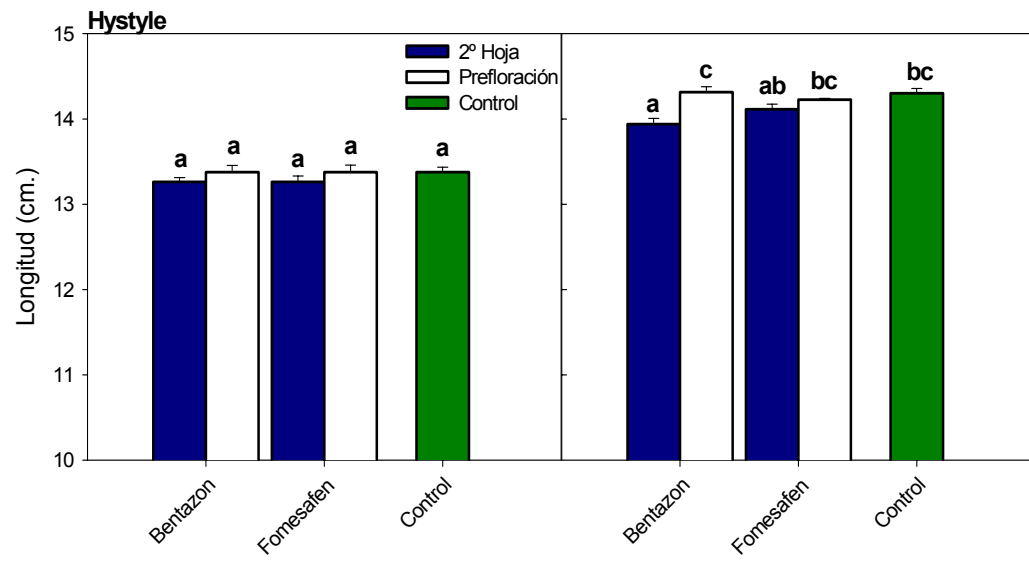
**Figura 4.** Contenido total de clorofilas ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ ) en Hystyle y Summit. Sobre las barras se indica el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada cultivar ( $P \leq 0,05$ ).



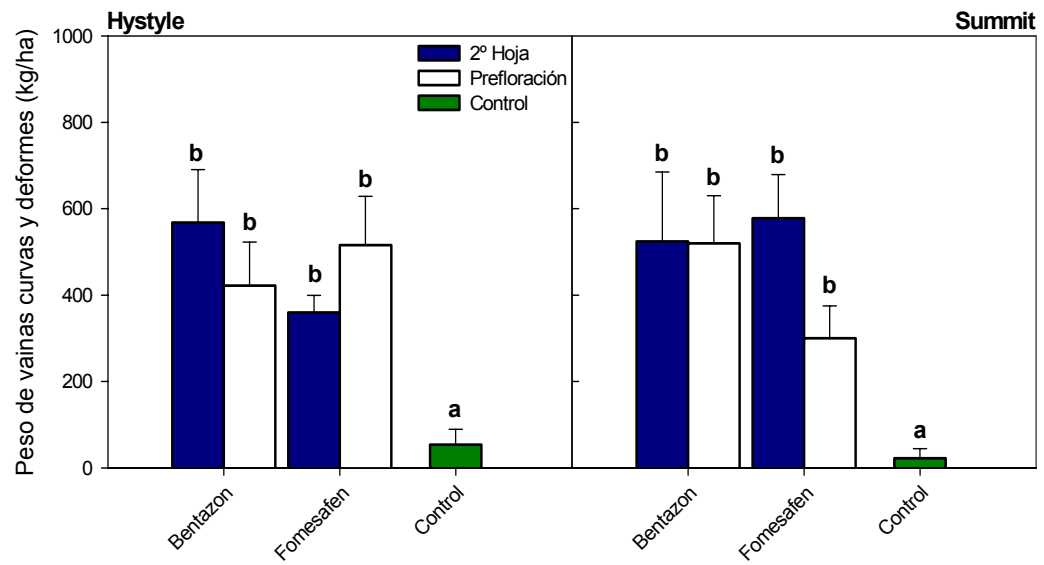
**Figura 5.** Rendimiento promedio (kg/ha) de Hystyle y Summit. Sobre las barras se indica el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada cultivar ( $P \leq 0,05$ ).



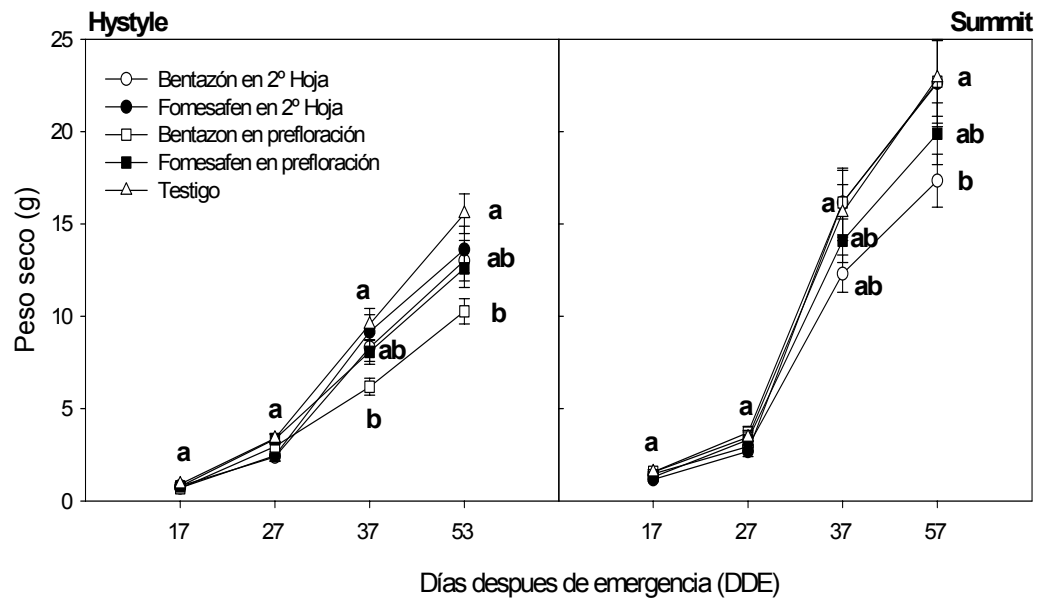
**Figura 6.** Diámetro de vainas en Hystyle y Summit. Sobre las barras se indica el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada cultivar ( $P \leq 0,05$ ).



**Figura 7.** Longitud de vainas en Hystyle y Summit. Sobre las barras se indica el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada cultivar ( $P \leq 0,05$ ).



**Figura 8.** Peso de vainas curvas y deformes (kg/ha) de Hystyle y Summit. Sobre las barras se indica el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada cultivar ( $P \leq 0,05$ ).



**Figura 9.** Peso seco de Hystyle y Summit. Sobre las barras se indica el error estándar. Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos para cada cultivar ( $P \leq 0,05$ ).

## BIBLIOGRAFÍA

AHUMADA, M.A. 1995. Evaluación de fototoxicidad de diferentes herbicidas aplicados al follaje en maíz (*Zea mays* ssp. *mays*) y su efecto en el rendimiento. Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 64 p.

ASOCIACIÓN NACIONAL DE FABRICANTES E IMPORTADORES DE PLAGUICIDAS AGRICOLAS. (AFIPA). 2002. Manual Fitosanitario 2002-2003. Santiago, Chile.

ASADA, K. 1996. Ascorbate peroxidase a hydrogen peroxidase-scavenging enzyme in plants. *Physiol. Plant.* 85: 235-241.

ASSMANN, S.M. 1993. Signal transduction in guard cells. *Ann. Rev. Cell. Biol.* 9: 345-375.

BAILEY, W. A.; H. P. WILSON and T. E. HINES, 2003. Weed control and snap bean (*Phaseolus vulgaris*) response to reducef rates of fomesafen. *Weed Technol.* 17: 269-275.

BELLINDER, R. R.; M. ARSENOVIC; J. J. KIRKWYLAND and R. W. WALLACE, 1998. Evaluating the EPA's comparative product performance testing guidelines for herbicides in snap bean (*Phaseolus vulgaris*). *Weed Technol.* 12: 215-222.

BJÖRKMAN, O. and B. DEMMIG, 1987. Photon yield of evolution and clorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta* 170: 489-504.

CANCINO, J.P. 1994. Evaluación de siete cultivares de frejol extrafinos (*Phaseolus vulgaris* L.) para uso en verde. Tesis Ing. Agr. Santiago, Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía. 63 p.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. (CIAT). 1981. Morfología de la planta de fréjol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Guía de estudio 2ª ed. Centro Internacional de Agricultura tropical. Cali, Colombia. 50 pp.

CROOKSTON, R.K.; J. O'TOOLE and J.L. OZBUN, 1974. Characterization of the bean pod as a photosynthetic organ. *Crop Sciencie* 14: 708-712.

DEMMING-ADAMS, B. and W.W. ADAMS III, 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plan Mol. Biol.* 43: 599-626.

DONAHUE, R. 1990. Leaf orientation of soybean seedlings. II. Receptor sites and light stimuli. *Crop Science* 30: 638-640.

- FAIGUENBAUM, H. 2003. Poroto verde. En: Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. p. 536-561.
- FOYER, C.; C. LELANDAIS and K. KUNERT, 1994. Photooxidative stress in plants. *Physiol. Plant.* 92: 696-717.
- GUIRALDES, R. 1991. Actividad de bentazon según dosis y estado de desarrollo en el cultivar de fréjol TORTOLA INIA. Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. 50 p.
- LICHTENTHALER, H. K. and A. R. WELLBURN, 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extract in different solvents. *Biochem. Society Transactions.* 603: 591-592.
- MALIK, V.S.; C.J. SWANTON and T.E. MICHAELS, 1993. Interaction of white bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars, row spacing, and seeding density with annual weeds. *Weed Sci.* 41: 62-68.
- McNAUGHTON, K.E.; P.H. SIKKEMA and D.E. ROBINSON, 2004a. Herbicide tolerance of lima bean (*Phaseolus lunatus*) in Ontario. *Weed Technol.* 18 (1): 106-110.
- McNAUGHTON, K.E.; P.H. SIKKEMA and D.E. ROBINSON, 2004b. Snap bean tolerance to herbicides in Ontario. *Weed Technol.* 18 (4): 962-967.
- OLIKER, M.; A. POLJAKOFF-MAYBE and A.M. MAYER, 1978. Changes in weight, nitrogen accumulation, respiration and photosynthesis during growth and development of seeds and pods of *Phaseolus vulgaris* L. *Amer. J. Bot.* 65 (3): 366-371.
- PASTENES, C.; V. PORTER; C. BAGINSKY; P. HORTON and GONZÁLEZ, J. 2004. Paraheliotropism can protect water-stressed bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants against photoinhibition. *Journal of Plant Physiology.* 161: 1315-1323.
- PASTENES, C.; P. PIMENTEL and J. LILLO, 2005. Leaf movements and photoinhibition in relation to water stress in field-grown beans. *Journal of Experimental Botany.* 56: 425-433.
- PRAKASH, K.S. and H.H. RAM, 1981. Path-coefficient analysis of morphological traits and developmental stages in french-bean. *Indian Journal of agricultural Sciences.* 51 (2): 76-80.
- REED, R. 1987. Paraheliotropic movements in mature alfalfa canopies. *Crops Science* 27: 301-304.
- SIKKEMA, P.H.; N. SOLTANI; C. SHROPSHIRE and T. COWAN, 2004. Tolerance of white beans to postemergence broadleaf herbicides. *Weed Technol.* 18 (4): 893-901.



SOLTANI N.; C. SHROPSHIRE and P.H. SIKKEMA, 2005a. Tolerance of kidney beans (*Phaseolus vulgaris*) to bentazon alone and when mixed with imazamox. *Canadian Journal of Plant Science* 85 (2): 529-532.

SOLTANI, N.; S. BOWLEY and P.H. SIKKEMA, 2005b. Responses of black and cranberry beans (*Phaseolus vulgaris*) to post-emergence herbicides. *Crop Protection* 24 (1):15-21.

VANGESSEL, M. J. ; E. E. SCHWEIZER; R. G. WILSON; L. J. WILES and P. WESTRA, 1998. Impact of timing and frequency of in-row cultivation for weed control in dry bean (*Phaseolus vulgaris*). *Weed Technol.* 12: 548-553.

WARE, G. W. 2000. [En Línea]. Introducción a los herbicidas. Universidad de Minnesota. <http://ipmworld.umn.edu/cancelado/Spchapters/Wareherb%20SP.htm>  
Fecha de Entrada: 15/08/2004.

WILSON, R.G. 2005. Response of dry bean and weeds to fomesafen and fomesafen tank mixtures. *Weed Technol.* 19 (1): 201-206.

WOOLLEY, B. L.; T. E. MICHAELS; M. R. HALL, and C. J. SWANTON, 1993. The critical period of weed control in white bean (*Phaseolus vulgaris*). *Weed Sci.* 41: 180-184.