

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

EFFECTO DE LA INOCULACIÓN CON *Rhizobium* SOBRE EL RENDIMIENTO DE
DOS CULTIVARES DE HABA (*Vicia faba* L.) DE CRECIMIENTO DETERMINADO,
ESTABLECIDOS EN DOS FECHAS DE SIEMBRA

PALOMA ANDREA SOTOMAYOR SEPÚLVEDA

SANTIAGO, CHILE
2013

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

EFFECTO DE LA INOCULACIÓN CON *Rhizobium* SOBRE EL RENDIMIENTO DE DOS CULTIVARES DE HABA (*Vicia faba* L.) DE CRECIMIENTO DETERMINADO, ESTABLECIDOS EN DOS FECHAS DE SIEMBRA

EFFECT OF *Rhizobium* INOCULATION ON THE YIELD OF TWO CULTIVARS OF BROAD BEAN (*Vicia faba* L.) WITH DETERMINATE GROWTH, ESTABLISHED TWO SOWING DATES

PALOMA ANDREA SOTOMAYOR SEPÚLVEDA

SANTIAGO, CHILE
2013

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

EFECTO DE LA INOCULACIÓN CON *Rhizobium* SOBRE EL RENDIMIENTO DE
DOS CULTIVARES DE HABA (*Vicia faba* L.) DE CRECIMIENTO DETERMINADO,
ESTABLECIDOS EN DOS FECHAS DE SIEMBRA

Memoria para optar al título profesional de:

Ingeniera Agrónoma. Mención: Fitotecnia.

PALOMA ANDREA SOTOMAYOR SEPÚLVEDA

Profesor Guía	Calificaciones
Cecilia Baginsky G. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,2
 Profesores Evaluadores	
Paola Silva C. Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc. Dr.	5,8
Alfredo Olivares E. Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	6,0

SANTIAGO, CHILE
2013

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos quienes me ayudaron y acompañaron en este proceso, especialmente a Tarcila, Carla y Héctor que me ayudaron durante el ensayo y las mediciones. Agradezco a mi profesora guía Cecilia su paciencia y apoyo para poder finalizar esta memoria.

Agradezco también a mi familia por su preocupación y confianza, a mis amigas del alma América y María Victoria por alentarme a terminar esta etapa, y a mi tía Guaco por su preocupación y apoyo.

Agradezco también a Naty, Maca, Rosita y a los chicos y chicas del Banco de germoplasma por ayudarme y apoyarme en estos momentos.

Finalmente gracias a todos los que de alguna manera estuvieron presentes durante todo este tiempo, dándome ánimo y confianza.

INDICE

<u>Contenido</u>	<u>Pág.</u>
Resumen.....	1
Palabras claves.....	1
Abstract.....	2
Key Word.....	2
Introducción.....	3
Materiales y métodos.....	7
Lugar de estudio.....	7
Materiales.....	7
Metodología.....	7
Variables a medir	10
Manejo del cultivo.....	13
Análisis estadístico.....	14
Resultados.....	15
Efecto de los tratamientos en el desarrollo del cultivo.....	15
Días y unidades calóricas.....	15
Efecto de los tratamientos en las variables de crecimiento.....	18
Altura de la planta y altura inserción de la primera vaina.....	18
Número de tallos totales y productivos.....	19
Número de foliolos.....	20
Número de nudos vegetativos y reproductivos.....	21
Peso seco de las estructuras aéreas.....	24
Efecto de los tratamientos en la nodulación.....	27
Peso seco de los nódulos.....	27
Actividad de los nódulos.....	29
Efecto de los tratamientos en el rendimiento y sus componentes.....	33
Número de vainas comerciales.....	33
Peso de vainas comerciales.....	34
Número y peso de granos.....	35
Rendimiento de vainas y granos por hectárea.....	37
Rendimiento industrial.....	39
Magnitud de la respuesta al variar la fecha de siembra.....	41
Discusión.....	42
Conclusiones.....	46
Bibliografía.....	47
Anexos.....	52
Apéndices.....	55

RESUMEN

En haba (*Vicia faba* L.) los requerimientos de nitrógeno pueden ser cubiertos, en parte, por la fijación biológica a través de la bacteria *Rhizobium leguminosarum* sv. *viceae*. La cantidad de nitrógeno fijado está determinada, entre otros factores, por el contenido de nitrógeno disponible en el suelo y las condiciones en las cuales está creciendo el cultivo, puesto que frente a cualquier estrés se reduce la fijación. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada e inoculación con *Rhizobium*, sobre el crecimiento y rendimiento de dos cultivares de haba de crecimiento determinado, establecidos en dos fechas de siembra. Para ello, en la localidad de Talagante se realizaron dos ensayos independientes (uno para cada fecha de siembra), cada fecha de siembra contó con seis tratamientos con arreglo factorial, los cuales correspondieron a la evaluación de los cultivares Retaca y Verde Bonita, cuyas plantas presentan hábito de crecimiento determinado, y tres fuentes de nitrógeno: inoculación de las semillas, aplicación de nitrógeno y un testigo sin inocular y sin nitrógeno. Los tratamientos se dispusieron en un diseño de bloques completos al azar, y cinco repeticiones. En cada fecha de siembra se midió el crecimiento, desarrollo de la planta, nodulación y se cuantificó el rendimiento y sus componentes. En las variables de crecimiento evaluadas no se observó efecto de las fuentes de nitrógeno utilizadas, sin embargo a nivel de cultivar, Verde Bonita logra la mayor producción de materia seca. En cuanto a la nodulación los tratamientos con aplicación de nitrógeno obtienen el menor peso seco de los nódulos. El rendimiento no presentó diferencias con las fuentes de nitrógeno, sin embargo a nivel de cultivar, este se ve afectado por la fecha de siembra, siendo Verde Bonita en la primera fecha, con las tres fuentes de nitrógeno donde se obtienen los mejores rendimientos de vainas y Retaca en la segunda fecha, con las tres fuentes de nitrógeno, donde los rendimientos de granos son los más bajos. Además Retaca mantiene sus rendimientos en granos y vainas al atrasar la fecha de siembra, sin embargo Verde Bonita los disminuye.

PALABRAS CLAVES

Haba “baby”- rizobios - Fijación biológica de nitrógeno – Fertilización nitrogenada

“ABSTRACT”

On broad bean (*Vicia faba* L.) nitrogen requirements can be covered in part by the biological fixation by the bacterium *Rhizobium leguminosarum* sv. *viceae*. The amount of fixed nitrogen is determined, among other factors, by the nitrogen content available in the soil and the conditions under which the crop is growing, as against any attachment stress is reduced. The objectives of this study were to evaluate the effect of nitrogen fertilization and *Rhizobium* inoculation on growth and yield of two cultivars of determinate growth had established in two sowing dates. For this, in the locality of Talagante, there were two independent trials (one for each planting date), each planting date had factorial arrangement of six treatments, which corresponded to the evaluation of cultivars “Retaca” y “Verde Bonita”, whose plants exhibit determinate growth habit, and three nitrogen sources: seed inoculation, nitrogen application and control without inoculated and without nitrogen. Treatments were arranged in a design of randomized complete blocks, and five replications. In each planting date was measured growth, plant development, nodulation and quantified the yield and its components. In the growth variables evaluated no effect was seen of nitrogen sources used, however cultivar level, “Verde Bonita” produced the greatest dry matter production. Regarding the treatments nodulation nitrogen application get the lowest dry weight of the nodules. The yield did not differ with nitrogen sources, however cultivar level, this is affected by planting date, with “Verde Bonita” on the first date, with the three nitrogen sources where we get the best yields of pods and “Retaca” on the second date, with the three nitrogen sources, where grain yields are the lowest. Furthermore “Retaca” maintains its grain and pod yields by delaying the planting date, however the decreases “Verde Bonita”.

KEY WORD

Broad bean "baby" - Rhizobia - Biological nitrogen fixation - Nitrogen fertilization

INTRODUCCIÓN

El haba (*Vicia faba* L) es la séptima leguminosa en importancia en el mundo y es utilizada para alimentación humana y animal (Confalone, 2008). En alimentación humana, se usa principalmente en la obtención de harina para la fabricación de pan o en la elaboración de *snacks* (granos tostados o salados). En la alimentación animal se usa el grano seco, el cual presenta un alto valor proteico, que fluctúa entre 23% y 30%. (Nadal *et al.*, 2004 y FIA, 2010). Otra alternativa de uso es su consumo en verde en el cual se aprovechan las vainas y los granos (FIA, 2010).

En Chile, este cultivo es sembrado entre las regiones IV y VIII concentrando la mayor superficie de siembra en las regiones IV y VII, destinando la producción al consumo en verde y a la agroindustria de congelados (Eguilor y Flaño, 2011). Los cultivares más sembrados en nuestro país, son Luz de Otoño (precoz) y Aguadulce (semi tardío), sin embargo, estos presentan algunos problemas de manejo y/o productivos, entre los que destacan la cosecha manual, debido a que al presentar un crecimiento indeterminado es difícil establecer un momento óptimo de cosecha, pues las vainas maduran a destiempo, dificultándose con ello una cosecha mecanizada. Otro problema está asociado al hecho de que estos cultivares presentan una baja estabilidad en sus rendimientos debido a que tienen un alto porcentaje de polinización cruzada (hasta un 84%, con una media de 32% dependiendo del cultivar, el lugar y la fecha de floración), y por tanto la producción de vainas está sujeta en gran parte a la factibilidad que ocurra polinización entomófila (Faiguenbaum, 2003; Duc, 1997).

Una solución viable a estos problemas es el uso de habas con crecimiento determinado y autofértiles. Es así como Nadal *et al.* (2004), desarrollaron en España, nuevos cultivares de habas para consumo humano en verde con hábito de crecimiento determinado (“Retaca”, “Alargá” y “Verde Bonita”) y cuyo uso, hasta el momento, se ha destinado principalmente a la industria del congelado. Estos cultivares poseen una maduración uniforme de las vainas, haciendo posible una cosecha mecanizada; además, al ser autofértiles no requieren de insectos polinizadores, manteniendo sus rendimientos estables en el tiempo (Nadal *et al.*, 2000). Por lo anteriormente descrito, es necesario conocer el comportamiento agronómico de este tipo de cultivares, bajo las condiciones ambientales presentes en nuestro país.

Uno de los factores relevantes en el manejo agronómico de un cultivo es la fecha de siembra. Pichardo (2010) señala que el haba se adapta desde climas templados a semiáridos y la temperatura base del cultivo oscila entre 0 y 2°C (Boote *et al.*, 2002), siendo las heladas las que determinan, en gran parte, la época de establecimiento del cultivo (Confalone *et al.*, 2011). Es así como Loss *et al.* (1997) indican que al realizar siembras tempranas se producen mayores rendimientos de semillas, ya que la duración del periodo de floración es mayor, se obtiene un índice de área foliar más alto, se absorbe más radiación fotosintéticamente activa, y se tiene una mayor biomasa final, lo que incide en un mayor índice de cosecha en comparación con una siembra tardía. Por lo anterior, se recomiendan

en Chile las siembras tempranas, de mediados de abril, para zonas menos frías y donde las heladas no afecten la floración. En la zona central, la fecha óptima de siembra se extiende desde abril a junio (Tapia *et al.*, 1995), siendo mayo la fecha promedio para las Regiones Metropolitana, V y VI. En esta misma zona la cosecha se realiza entre octubre y noviembre, lo que permite un segundo cultivo de primavera (Bascur, 1997). La cosecha se efectúa cuando las vainas y los granos verdes alcanzan un tamaño adecuado para su comercialización y antes que estos tengan una cubierta gruesa. En general el periodo transcurrido desde la siembra a cosecha fluctúa entre de 105 a 130 días, variando según la zona, la época de siembra y del cultivar (Bravo y Aldunate, 1990). En este sentido Baginsky (2008), señala que los cultivares tipo baby (Retaca, Alargá y Verde Bonita) son de ciclo intermedio (entre 128 y 138 días de siembra a cosecha).

Otro factor relevante en el manejo del cultivo es la fertilización nitrogenada, el nitrógeno es un elemento esencial para las plantas, ya que forma parte de compuestos fundamentales como proteínas, ácidos nucleicos y clorofila, necesitando principalmente en los tejidos vegetales en crecimiento (Urzúa, 2005). La agricultura moderna utiliza plantas con potenciales productivos cada vez mayores, demandando una elevada nutrición nitrogenada, la cual puede ser muy superior al aporte de nitrógeno del suelo; por lo tanto, en la mayoría de los cultivos es necesario suplementar con fertilizantes nitrogenados, lo cual incrementa los costos de producción (Urzúa, 2005).

Las leguminosas comúnmente pueden recibir nitrógeno mediante dos vías diferentes: la absorción del nitrógeno del suelo (principalmente fertilizantes) y la fijación del nitrógeno atmosférico, que se realiza en simbiosis con bacterias comúnmente llamadas rizobios (Wang *et al.*, 2012). Estas bacterias son específicas para cada leguminosa, y en el caso del haba la simbiosis se produce con *Rhizobium leguminosarum* sv. *viceae*. Este mecanismo permite que las leguminosas puedan ser cultivadas con menos nitrógeno aplicado, lo cual es particularmente importante dado que el costo de los fertilizantes nitrogenados es alto y su disponibilidad es limitada (Hardarson y Danson, 1993). El aumento de la fijación biológica del nitrógeno por asociaciones de leguminosas y rizobios se puede utilizar para mejorar aún más la producción mundial de cultivos, o para reducir la necesidad de fertilizantes nitrogenados sintéticos, además, a medida que el costo de los fertilizantes aumenta, el valor de mejorar la fijación también se hace cada vez más relevante (Abi-Ghanem *et al.*, 2012).

Las cantidades de nitrógeno fijado simbióticamente son muy variadas y dependen de la especie leguminosa, factores genéticos, condiciones edafoclimáticas, disponibilidad de nitrógeno mineral del suelo, efectividad de los rizobios, competencia de las cepas comerciales inoculadas con especies silvestres, aporte de hidratos de carbono por parte de la planta, manejo del cultivo, y hábito de crecimiento de la leguminosa (Urzúa, 2005; Herridge *et al.*, 2008; Labbé, 2008). People *et al.* (1995) señalan que en promedio las bacterias asociadas a las leguminosas pueden fijar entre 200 a 300 kg N ha⁻¹, dependiendo de la variedad y las condiciones del cultivo. Por su parte, Herridge *et al.* (2008) indican valores promedios de tan solo 115 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

Cabe destacar que con un contenido de 55 kg N inorgánico por hectárea en el suelo, el haba en simbiosis con bacterias fijadoras, obtiene por esta vía entre 70 a 90% de sus requerimientos de nitrógeno (Follet *et al.*, 1991 citados por Villalobos *et al.*, 2002). Herridge *et al.* (2008) mencionan que el haba puede fijar en promedio un 75% del nitrógeno requerido por la planta, equivalente a 107 kg ha⁻¹ al año.

Por otra parte, los rizobios no siempre se encuentran en el suelo, están en poblaciones relativamente bajas o, si se encuentran presentes, muchas veces son de baja efectividad (Urzúa, 2005). Schumpp y Deakin (2010), mencionan que comúnmente el crecimiento de las leguminosas se ve limitado por el desarrollo de nódulos ineficaces. Urbano (2002) señala que se recurre a la inoculación cuando no existe en el suelo el *Rhizobium* específico, o su número es muy bajo, siendo adecuadas poblaciones entre 10⁴ a 10⁶ por gramo de suelo.

Urzúa *et al.* (2003) encontraron que la inoculación con cepas efectivas de *Rhizobium leguminosarum* sv. *phaseoli*, en poroto verde para uso agroindustrial, puede significar un claro ahorro de fertilización nitrogenada, principalmente para altos rendimientos esperados. Por su parte, Campillo *et al.* (2003) en estudios realizados en la IX región en cuatro leguminosas forrajeras, indican que bajo las condiciones de suelo y clima de su ensayo, la inoculación de las semillas no expresó mayor eficiencia respecto de las cepas nativas presentes en el suelo.

En estudios realizados por Gonzales *et al.*, (1993) se obtuvo un marcado efecto negativo con la aplicación de nitrógeno mineral sobre la nodulación en dosis superiores al “starter” (25 kg N ha⁻¹). Estos autores observaron también una inhibición en el desarrollo de los nódulos cuando se aplicaron 180 kg de N ha⁻¹, alcanzando niveles inferiores incluso a los obtenidos por el tratamiento testigo sin inocular (64% inferior al testigo). Por su parte Hill-Cottingham y Lloyd-Jones (1980) concluyeron que el peso de los nódulos disminuyó con las dosis más altas de nitrógeno, existiendo la correspondiente reducción en la cantidad de nitrógeno atmosférico fijado. Con el objeto de evaluar el efecto de estas dos fuentes de nitrógeno, ensayos realizados por Reyes (1991) determinaron que en haba, tanto la inoculación con *Rhizobium leguminosarum* sv. *viceae*, como la fertilización nitrogenada en dosis de 0-25-50-75 UN ha⁻¹ no aumentaron el rendimiento en el cultivo del haba, lo que podría deberse a que las cepas nativas aportaron nitrógeno suficiente para un buen nivel de crecimiento de las plantas. Krarup (1983) encontró que los rendimientos en materia verde, materia seca y granos secos no fueron estadísticamente diferentes para los tres niveles de nitrógeno utilizados en su ensayo (0-0, 32-0, 32-32 kg ha⁻¹ de nitrógeno aplicados en siembra-floración, respectivamente).

Existe poca información sobre las especies de *Rhizobium* presentes en Chile, y de su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico, siendo pieza clave para una simbiosis efectiva la elección de una cepa competitiva y eficiente. Cuando se quiere establecer por primera vez una determinada leguminosa en un lugar específico, es fundamental saber si existe en dicho lugar los rizobios específicos para ella. Comúnmente en todas las áreas que se cultivan leguminosas existen rizobios silvestres que las nodulan, aunque no todos son efectivos en fijar nitrógeno atmosférico (Labbé, 2008).

Por tal motivo y con el fin de reducir la dosis de fertilizantes nitrogenados, se hace necesario evaluar el efecto en el crecimiento del haba que tiene la aplicación de distintas fuentes nitrógeno (inoculantes comerciales, nitrógeno mineral y bacterias nativas), en los cultivares con potenciales usos agroindustriales y con mayor énfasis en aquellos cultivares de crecimiento determinados introducidos, en los cuales se desconoce su capacidad de establecer simbiosis con bacterias nativas.

Además es importante establecer las fechas óptimas para que estos cultivares obtengan los mejores rendimientos en nuestro país, y observar como las temperaturas afectan su crecimiento y el efecto que se produce en la nodulación al variar la fecha de siembra.

Hipótesis

- La inoculación de semillas de habas de crecimiento determinado con rizobios comerciales, permitirá suplir los requerimientos de nitrógeno de la planta, logrando rendimientos iguales a los obtenidos con aplicación de nitrógeno.
- La respuesta en crecimiento y rendimiento de los cultivares Verde Bonita y Retaca, a la inoculación con *Rhizobium*, no cambiará en magnitud al hacer variar la fecha de siembra.

Objetivo General:

Evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada e inoculación con *Rhizobium* sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivares de haba de crecimiento determinado, Retaca y Verde Bonita, establecidos en dos fechas de siembra.

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar el crecimiento y desarrollo de los cultivares Retaca y Verde Bonita establecidos bajo fertilización nitrogenada e inoculación con *Rhizobium* en la localidad de Talagante.
2. Evaluar el rendimiento y los componentes de rendimiento de ambos cultivares, en dos fechas de siembra en la localidad de Talagante.
3. Determinar si existe interacción entre fecha de siembra y la respuesta de ambos cultivares a la inoculación con *Rhizobium*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar del estudio

El trabajo experimental se llevó a cabo en el Complejo Educacional Agrícola Talagante, comuna de Talagante, Región Metropolitana (33° 39' Latitud Sur y 70° 49' Longitud Oeste).

El suelo pertenece cartográficamente a la serie Lonquén, derivado de sedimentos aluviales mezclados, presenta una textura franco arenoso, ligeramente profundo, bien drenado y ligeramente pedregoso (Comisión Nacional de Riego, 1981). El clima de esta zona es de tipo Mediterráneo semiárido, con un régimen térmico caracterizado por temperaturas que varían en promedio entre una máxima en enero de 28,2 °C y una mínima en julio de 4,4 °C. El período promedio libre de heladas es de 231 días. El régimen hídrico presenta principalmente precipitación invernal, con una media anual de 324 mm y un período seco de 8 meses. Presenta veranos calurosos y secos e inviernos fríos (DGA, 2013; Atlas Agroclimatológico de Chile, 1990).

Materiales

Las semillas de haba utilizadas pertenecen a los cultivares de crecimiento determinado Retaca y Verde Bonita, provenientes del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de España (IFAPA).

Se utilizó el inoculante comercial Nitrofix, a base de *Rhizobium leguminosarum* sv. *viceae* y urea como fertilizante nitrogenado.

Metodología

Tratamiento y Diseño de Experimentos

Se llevaron a cabo dos ensayos independientes, correspondientes cada uno a una fecha de siembra. La primera fecha correspondió a la fecha de siembra 1, sembrada el 17 de mayo de 2008, y la segunda a la fecha de siembra 2, sembrada el 4 de julio de 2008. En cada fecha se establecieron seis tratamientos, con un arreglo factorial 2x3, conformado por la interacción entre dos cultivares de haba de crecimiento determinado (Retaca y Verde Bonita) y tres fuentes de nitrógeno (inoculación de las semillas con *Rhizobium*, aplicación de nitrógeno y un tratamiento testigo sin inocular ni adicionar nitrógeno) (Cuadro 1). Cada

tratamiento contó con cinco repeticiones. En cada fecha de siembra, los tratamientos se dispusieron de acuerdo a un diseño de bloques completos al azar.

Cuadro 1. Tratamientos realizados en cada fecha de siembra.

Tratamiento	Cultivar	Fuente de Nitrógeno	
		Inoculante comercial	Aplicación de Nitrógeno
R I	Retaca	Con	Sin
R N	Retaca	Sin	Con
R T	Retaca	Sin	Sin
VB I	Verde Bonita	Con	Sin
VB N	Verde Bonita	Sin	Con
VB T	Verde Bonita	Sin	Sin

La unidad experimental correspondió a una parcela de 16,8 m² conformada por nueve hileras de plantas de 5 m de largo y distanciadas a 0,35 m entre ellas, donde se establecieron 10 plantas por metro lineal. Además en los bordes de cada bloque se ubicó una décima hilera, con el objeto de lograr un mayor aislamiento de los tratamientos que se encontraban en los extremos de cada bloque.

Entre cada bloque existió una distancia de 1,5 m, donde se realizaron dos surcos de riego, uno que sirviera como alimentador y el otro de receptor del agua (Figura 1), evitando de esta forma que el nitrógeno se mueva a las parcelas siguientes. Cada fecha de siembra ocupó una superficie total de 607,6 m².

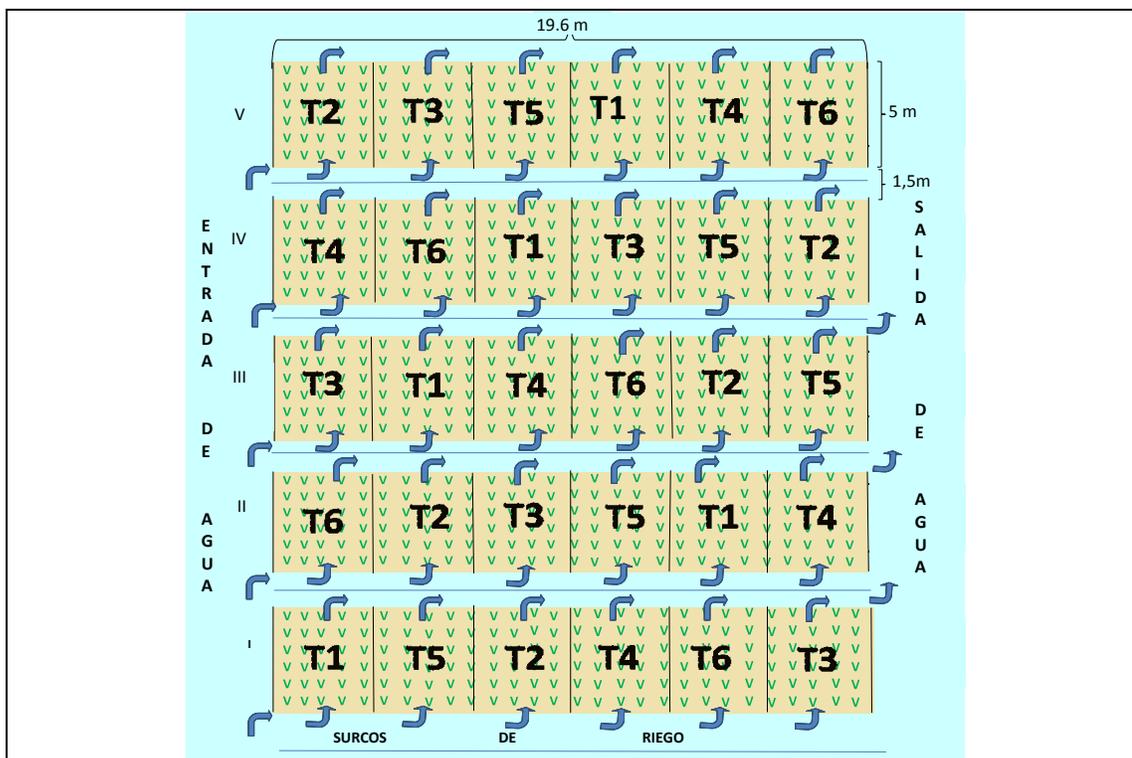


Figura 1. Esquema de la ubicación de los tratamientos y surcos de riego de cada fecha de siembra.

La aplicación de nitrógeno se realizó de acuerdo a los resultados del análisis de suelo (Anexo I) y la demanda del cultivo. La dosis de fertilizante se calculó de acuerdo a las siguientes fórmulas, propuestas por Villalobos *et al.* (2002):

$$\text{Dosis de Nitrógeno} = (N_c - S) / E$$

$$N_c = R \frac{(1 - H) (\% N \text{ fruto} + (1 - IC) \% N \text{ paja})}{IC}$$

Donde:

- N_c = Demanda de nitrógeno del cultivo
- S = Suministro de nitrógeno del suelo
- E = Eficiencia de empleo del nitrógeno o fracción de recuperación del N.
- R = Rendimiento de vainas frescas
- H = Humedad a cosecha
- $\%N$ fruto = Porcentaje de nitrógeno del fruto
- $\%N$ paja = Porcentaje de nitrógeno de la paja
- IC = Índice de Cosecha

Se consideraron los siguientes supuestos:

- Rendimiento de vainas frescas (R) esperado: 12.000 kg ha⁻¹, según ensayos anteriores.
- Porcentaje de nitrógeno del fruto (%N fruto): 4,7 (Villalobos *et al.*, 2002).
- Porcentaje de nitrógeno de la paja (%N paja): 1,6 (Villalobos *et al.*, 2002).
- Humedad (H): 81% (Villalobos *et al.*, 2002).
- Eficiencia de empleo del nitrógeno (E): 0,55; correspondientes a suelos aluviales de la Región Metropolitana (Rodríguez, 2001).
- Índice de Cosecha (IC): 0,33; para leguminosas de grano (Taladriz y Pinilla, 2001).

El suministro de nitrógeno del suelo fue de 50 kg ha⁻¹. Este valor se determinó mediante las siguientes formulas descritas.

$$\text{Peso suelo (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{Profundidad suelo (m)} \times \text{Da (kg m}^{-3}\text{)} \times 10.000 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\text{N en el perfil del suelo (kg)} = \text{Peso suelo} \times \text{Nitrógeno (ppm)} / 1.000.000$$

Se consideró una densidad aparente (Da) de 1000 kg m⁻³, una profundidad de 20 cm de suelo y 25 ppm de N, dado por el análisis de suelo.

La resolución de estas ecuaciones, considerando los supuestos antes indicados, determinó que la demanda de nitrógeno del cultivo correspondió a 181,22 kg ha⁻¹ y por lo tanto la dosis de nitrógeno requerida fue de 238,58 kg N ha⁻¹.

Suponiendo que la fijación simbiótica aporta un 75% de las necesidades de nitrógeno Herridge *et al.* (2008), la dosis de nitrógeno que se aplicó fue de 59,6 kg ha⁻¹, la cual se paralizó en dos etapas: 30 kg en la siembra, incorporados en la hilera de siembra, y 30 kg a inicios de floración.

Variables a medir

- Para caracterizar el desarrollo de los cultivares Retaca y Verde Bonita establecidos bajo fertilización nitrogenada e inoculación con *Rhizobium*, se llevó un registro, en cada unidad experimental, del tiempo transcurrido en días desde la siembra hasta llegar al siguiente estado de desarrollo. Se consideró que las plantas habían llegado a un estado de desarrollo determinado, cuando el 50% de ellas, en cada unidad experimental, lo presentó.

Los estados medidos fueron los siguientes:

- Emergencia: Primer par de hojas totalmente desplegadas.
- Inicio de floración: Plantas con primera flor abierta.

- Inicio llenado de granos: Vainas con seis cm de longitud.
- Término de floración: Plantas que ya no presentaban flores abiertas.
- Cosecha en verde: Madurez de cosecha, que se determinó por el tamaño de los granos (1,2 a 1,6 cm de largo y entre 0,9 y 1,1 cm de diámetro ecuatorial).

Mediante la siguiente fórmula se calculó el total de unidades calóricas que requirieron las plantas de los dos cultivares para completar los diferentes estados de desarrollo.

$$U.C. = \sum ((T^{\circ} \text{ máx} + T^{\circ} \text{ mín}) / 2) - 0^{\circ} \text{ C}$$

Donde:

U.C. = Unidades Calóricas

T° máx = Temperatura máxima diaria

T° mín = Temperatura mínima diaria

0° C = Temperatura umbral de crecimiento para el haba (Boote *et al.*, 2002).

- Para evaluar el crecimiento se llevaron a cabo 4 muestreos de plantas en los siguientes estados de desarrollo:

- Estado vegetativo: Aproximadamente 75 días después de la siembra.
- Inicio de floración.
- Inicio llenado de granos.
- Cosecha en verde

En cada fecha de medición se tomaron cinco plantas al azar, ubicadas en las hileras centrales de cada unidad experimental. Las mediciones a realizar fueron las siguientes:

- Altura de planta (cm), medida con una huincha métrica, desde la base del cuello hasta la inserción de la última hoja del tallo principal.
- Altura de inserción de la primera vaina en la planta (cm), medida con una huincha métrica, desde la base del cuello hasta la primera vaina.
- Número de tallos por planta, se consideraron solo los tallos primarios.
- Número de folíolos por planta.
- Número de nudos vegetativos y reproductivos
- Peso seco de las estructuras aéreas de la planta (g), las cuales fueron secadas en estufa a 70 °C por 48 a 72 horas (separadas en hojas, tallos y estructuras reproductivas).

- Para caracterizar la nodulación se realizaron las siguientes mediciones:
 - Peso seco de los nódulos (g), medidos en los primeros 10 cm de la raíz principal (longitud que se estandarizó para todas las plantas, ya que a dicha altura se concentró la mayor cantidad de nódulos), y secados en estufa a 70 °C por 48 horas.
 - Coloración de los nódulos (%), se evaluó visualmente, y con ello se infirió la actividad de los nódulos y se obtuvo el porcentaje correspondiente a cada uno (Cuadro 2).

Cuadro 2. Actividad de los nódulos según su coloración.

Coloración	Actividad
Blancos	Inactivos
Rojo y/o rosados	Activos
Verde y/o café	Senescentes

Estas mediciones se realizaron en los siguientes estados de desarrollo:

- Estado vegetativo
- Inicio de floración
- Inicio llenado de granos

- Para evaluar el rendimiento y los componentes del rendimiento de los cultivares de haba cosechados en verde, una vez establecido el cultivo (aproximadamente 20 días después de emergencia), se marcaron en las hileras centrales dos grupos de diez plantas en competencia perfecta. Esto se realizó con el objeto de no manipular estas plantas, sino sólo hasta el momento de la cosecha.

El momento en que se cosechó se determinó, a través de inspecciones visuales del grano, considerando básicamente el tamaño indicado anteriormente. A las plantas cosechadas, en cada sector se les evaluaron los siguientes parámetros:

- Número y peso de vainas comerciales
- Número de granos por vaina
- Número de granos y número de vainas por metro cuadrado
- Peso de 100 granos verdes (g)
- Rendimiento industrial (%): relación entre el peso de las vainas y los granos
- Rendimiento de vainas y granos (kg ha^{-1})

- Además se caracterizaron vainas y granos, determinándose para este caso:

- Tamaño de granos y vainas (cm): de cada uno de los dos grupos de 10 plantas cosechadas por metro lineal en cada unidad experimental, se sacaron al azar 15 vainas y 15 granos y se midió el ancho y el largo con un pie de metro.

Manejo del cultivo

Preparación de suelo

En el suelo utilizado anteriormente existió un semillero de lechuga. Para una adecuada preparación del suelo, este fue arado y posteriormente rastreado, luego las hileras de siembra se realizaron con surcador manual.

Fertilización

En base al análisis de suelo, se fertilizó con 50 U de fósforo como superfosfato triple y 60 U de potasio como cloruro de potasio, incorporadas con el último rastraje.

Siembra

La siembra del primer ensayo (fecha de siembra 1) se realizó el 17 de mayo de 2008, en tanto que la segunda (fecha de siembra 2) fue realizada el 4 de julio. Estas se llevaron a cabo depositando, manualmente, una semilla cada 10 cm sobre la hilera y luego se procedió a taparla.

Riego

El riego se efectuó por surcos, que se hicieron al momento de la siembra. La frecuencia se determinó mediante evaluaciones visuales hechas con barreno, antes y después de cada riego, con el objetivo de determinar la efectividad de los riegos y el momento de volver a regar. En la primera fecha de siembra se efectuaron 2 riegos y en la segunda 3. Estos riegos fueron a partir del 20 y 21 de septiembre en cada fecha de siembra, respectivamente, debido a que el agua de las lluvias durante el invierno fue suficiente para el desarrollo de los cultivos.

Malezas.

El control de malezas se realizó mediante el uso de dos herbicidas de pre emergencia, Pendimethalin y Linuron, el primero de modo de acción suelo-activo, selectivo, que controla malezas anuales gramíneas y algunas de hoja ancha en hortalizas, no controla malezas emergidas o establecidas ni tampoco perennes, crucíferas o compuestas. El segundo; Linuron, cuyo modo de acción es suelo-activo, controla malezas anuales de hoja ancha y angosta en hortalizas, no controla malezas perennes (AFIPA, 2009). Estos herbicidas se aplicaron en relación 3:1 l ha⁻¹, respectivamente. Adicionalmente, se desmalezó manualmente en forma periódica. Las principales malezas encontradas fueron brásicas (*Brassica sp.*), manzanillón hediondo (*Anthemis cotula*), bolsita del pastor

(*Capsella bursa – pastoris*), y plantas voluntarias de lechuga (*Lactuca sativa* L.), pertenecientes al cultivo anterior.

Plagas y enfermedades.

Se realizaron dos aplicaciones de Rovral (Iprodione) para controlar *Botrytis fabae* en la fecha de siembra 1 y una aplicación en la fecha de siembra 2. Además se realizó una aplicación de Trigar (Cyromazina) para controlar *Liriomyza sp.*, en cada fecha de siembra.

Cosecha

La cosecha de las vainas verdes se realizó de forma manual en ambas fechas de siembra. El momento de la cosecha se determinó visualmente, de acuerdo al tamaño de los granos, es decir, se estableció como vainas comerciales aquellas cuyos granos presentaron un largo que fluctuó entre 1,2 y 1,6 cm y un diámetro ecuatorial entre 0,9 y 1,1 cm. Sobre y bajo este tamaño se consideraron como vainas de desecho. Además se estimó que no existiera más de un 10% de vainas sobremaduras para determinar el momento de la cosecha.

Análisis estadístico

Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza y cuando se encontraron diferencias significativas se realizó la prueba de rangos múltiple de Tukey (con un 95% de confianza), para identificar diferencias entre las medias de los tratamientos.

La comparación entre las dos fechas de siembra se realizó mediante un análisis combinado de varianza, para determinar si existió interacción entre las fechas de siembra.

Cuando no se cumplieron los supuestos del análisis de varianza se realizó la prueba no paramétrica de Friedman.

Los datos en porcentaje se transformaron a grados Bliss para posteriormente realizar el análisis de varianza.

RESULTADOS

Efecto de los tratamientos en el desarrollo del cultivo

Días y unidades calóricas

Al realizar un análisis combinado de varianza se observó interacción “Fecha de Siembra x Cultivar x Fuente de Nitrógeno” solo en las unidades calóricas a cosecha, también se observó interacción “Fecha de Siembra x Cultivar” en las unidades calóricas a inicio de llenado de granos. En relación a los días para alcanzar cada estado de desarrollo, solo se obtuvieron diferencias significativas en fecha de siembra y cultivar.

En cuanto a los días desde siembra a emergencia se encontraron diferencias significativas entre fechas de siembra, donde las plantas de la fecha de siembra 2 demoraron 5 días más en emerger; sin embargo, en las unidades calóricas requeridas no se observaron diferencias significativas, obteniéndose un promedio de 228 días (Figura 2).

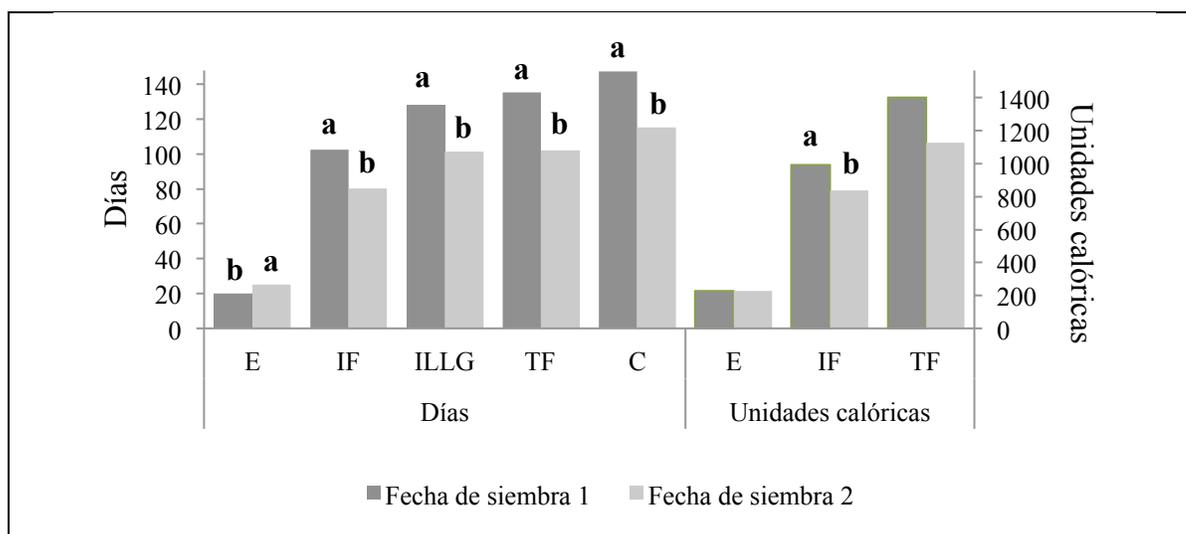


Figura 2. Días desde emergencia a cosecha y unidades calóricas desde emergencia a término de floración, para fecha de siembra, en el análisis combinado de varianza. Abreviaciones: E= Emergencia; IF= Inicio de floración; ILLG= Inicio llenado de granos; TF= Término de floración; C= Cosecha. Letras diferentes dentro de cada estado de desarrollo evaluado indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En los días desde siembra a inicios de floración se observaron diferencias significativas entre fechas de siembra y en cultivar, donde la fecha de siembra 1 requirió 23 días y 155

unidades calóricas más que la fecha de siembra 2 (Figura 2). En cuanto a la diferencia en cultivar, Verde Bonita requirió 3 días y 29 unidades calóricas más que Retaca (Figura 3).

En la etapa de término de floración se encontraron diferencias significativas entre fechas de siembra, donde la fecha de siembra 1 terminó la floración 33 días y 276 unidades calóricas después que la fecha de siembra 2 (Figura 2).

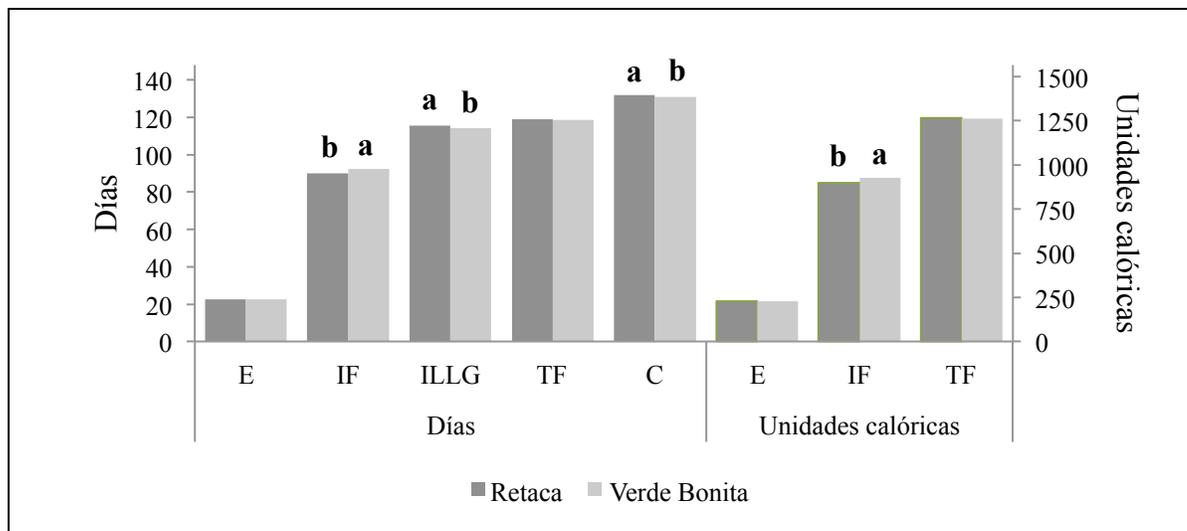


Figura 3. Días desde emergencia a cosecha y unidades calóricas desde emergencia a término de floración, para cultivar, en análisis combinado de varianza. Abreviaciones: E= Emergencia; IF= Inicio de floración; ILLG= Inicio llenado de granos; TF= Término de floración; C= Cosecha. Letras diferentes dentro de cada estado de desarrollo evaluado indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Respecto a los días en que inicia el llenado de granos, la fecha de siembra 1 demoró 26 días más que la fecha de siembra 2. En el caso de las unidades calóricas se observó interacción "Fecha de Siembra x Cultivar" donde Retaca en la fecha de siembra 1 requirió más unidades calóricas, siendo esta superior en 204 unidades a Verde Bonita en la fecha de siembra 2; en esta última fue donde la planta presentó el menor valor (Figura 4).

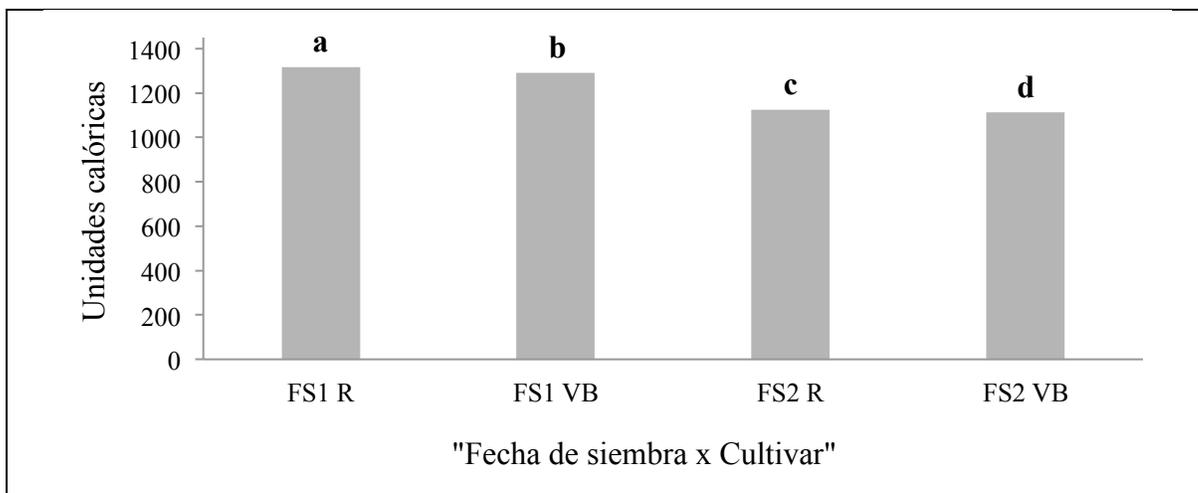


Figura 4. Unidades calóricas, en inicio de llenado de granos para la interacción “Fecha de Siembra x Cultivar”. Abreviaciones: R= Retaca; VB= Verde Bonita; FS1= Fecha de siembra 1; FS2= Fecha de siembra 2. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En cuanto a cosecha, la fecha de siembra 1 fue la que generó que ambos cultivares tardaran más tiempo en llegar a ese estado, demorando 33 días más que en la fecha de siembra 2. En las unidades calóricas se observó interacción “Fecha de Siembra x Cultivar x Fuente de Nitrógeno” donde Retaca con inoculante y Verde Bonita con las tres fuentes de nitrógeno, todos sembrados en la segunda fecha, requirieron una menor acumulación de unidades calóricas (250 unidades calóricas menos que los tratamientos mayores) (Figura 5).

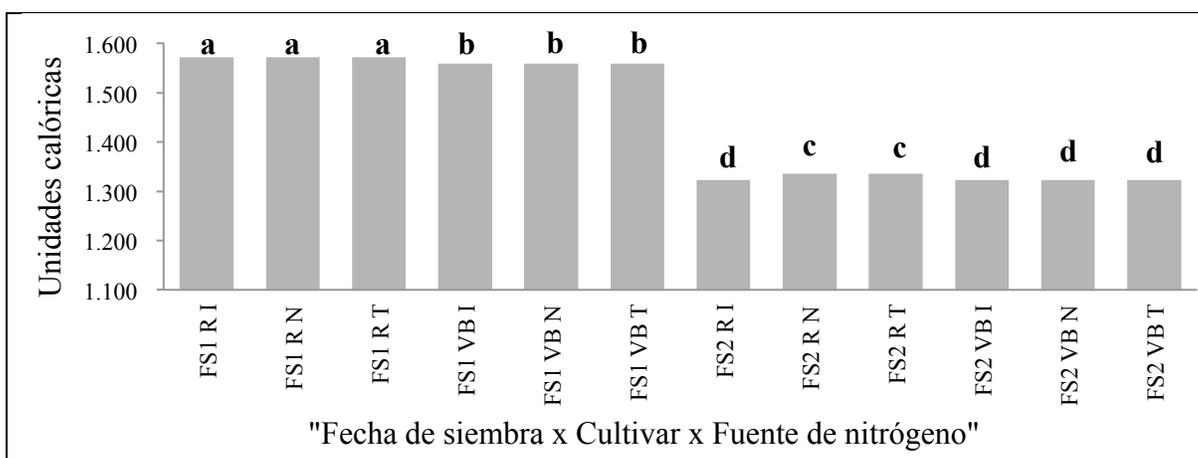


Figura 5. Unidades calóricas a cosecha, en la combinación de ambas fechas de siembra para la interacción "Fecha de siembra x Cultivar x Fuente de Nitrógeno". FS1= Fecha de siembra 1; FS2= Fecha de siembra 2; RI= Retaca con inoculante; RN= Retaca con aplicación de nitrógeno; RT= Retaca testigo; VBI=Verde Bonita con inoculante; VBN= Verde Bonita con aplicación de nitrógeno; VBT= Verde Bonita testigo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Efecto de los tratamientos sobre las variables de crecimiento

En la mayoría de las variables evaluadas no se encontraron diferencias significativas en la interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno” (Apéndice I). Por ello se analizó cada factor de la interacción en forma separada. Los resultados que se presentan a continuación están referidos a la última etapa de evaluación, es decir a cosecha. En el Apéndice II se presenta un resumen de las evaluaciones hechas en los estados de desarrollo previos a la cosecha.

Altura de la planta y altura inserción 1ª vaina

En la fecha de siembra 1 no se observaron diferencias significativas en la interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno”, para la altura de planta y la altura de inserción de la primera vaina; sin embargo existieron diferencias a nivel de cultivares. Verde Bonita presentó la mayor altura de planta (Cuadro 3), superando a Retaca en un 16% y su primera vaina se ubicó 11 cm más alta.

Cuadro 3. Altura de la planta y altura de inserción de la primera vaina, en la fecha de siembra 1.

Factor	Altura planta	Altura 1ª vaina
	cm	
Cultivar		
Retaca	67,6 b	42,7 b
Verde Bonita	80,6 a	53,6 a
Fuente de Nitrógeno		
Inoculante	73,9	47,4
Nitrógeno	74,8	48,7
Testigo	73,7	48,4

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada factor, indican diferencias significativas. ($p \leq 0,05$).

En la fecha de siembra 2 se observó interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno” en la altura de planta y altura de inserción de la primera vaina, donde el tratamiento de Retaca con inoculante, fue el que presentó una altura significativamente menor respecto de los otros tratamientos (Cuadro 4), siendo Verde Bonita con inoculante y testigo, aproximadamente 13 cm mayor que Retaca con inoculante. Respecto a la altura de inserción de la primera vaina, Verde Bonita con inoculante y Verde Bonita testigo lograron la mayor altura con un promedio de 41 cm. El menor valor fue obtenido por Retaca con inoculante, siendo este 12 cm aproximadamente inferior a los tratamientos antes mencionados (Cuadro 4).

Cuadro 4. Altura de la planta y altura de inserción de la primera vaina, en la interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno”, en la fecha de siembra 2.

Interacción	Altura planta	Altura 1ª vaina
	cm	
Cultivar x Fuente de Nitrógeno		
Retaca x Inoculante	49,1 c	29,7 d
Retaca x Nitrógeno	54,5 b	32,1 c
Retaca x Testigo	54,4 b	31,3 cd
Verde Bonita x Inoculante	61,7 a	41,2 a
Verde Bonita x Nitrógeno	58,1 ab	38,2 b
Verde Bonita x Testigo	61,5 a	41,1 a

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Número de tallos por planta y tallos productivos

No se encontraron diferencias significativas en la interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno” en el número de tallos por planta y en el número de tallos productivos. En el caso del número de tallos por planta, en ambas fechas de siembra se observaron diferencias significativas entre los cultivares, siendo Retaca el que logró los mayores valores, obteniendo cerca de un tallo más que Verde Bonita en la fecha de siembra 1 y medio tallo más en la fecha de siembra 2 (Cuadro 5). Además se encontraron diferencias significativas entre las fuente de nitrógeno en la fecha de siembra 2, donde los tratamientos con aplicación de nitrógeno presentaron el menor número de tallos, siendo un 19% inferior que el testigo (Cuadro 5).

En cuanto a los tallos productivos, en la fecha de siembra 1 se observaron diferencias significativas entre los cultivares, siendo Verde Bonita el que fue un 7% superior. Sin embargo, en la fecha de siembra 2 Retaca logró la mayor producción de tallos productivos, con un 9% más que Verde Bonita (Cuadro 5).

Cuadro 5. Número de tallos totales y productivos, en la fecha de siembra 1 y la fecha de siembra 2.

Factor	Número de tallos	
	Totales	Productivos
Fecha de siembra 1		
Cultivar		
Retaca	4,2 a	2,5 b
Verde Bonita	3,4 b	2,7 a
Fuente de Nitrógeno		
Inoculante	3,8	2,6
Nitrógeno	3,7	2,5
Testigo	3,8	2,6
Fecha de siembra 2		
Cultivar		
Retaca	3,2 a	2,2 a
Verde Bonita	2,7 b	2,0 b
Fuente de Nitrógeno		
Inoculante	3,0 ab	2,0
Nitrógeno	2,6 b	2,1
Testigo	3,2 a	2,2

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada fecha de siembra y factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Número de foliolos

En la fecha de siembra 1 se observaron diferencias significativas solo entre los cultivares al momento de cosecha, presentando Verde Bonita un 7% más de foliolos que Retaca. (Cuadro 6).

En la fecha de siembra 2 no se encontraron diferencias significativas para la interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno” ni en los factores por separado, obteniéndose en promedio 75 foliolos a cosecha (Cuadro 6).

Cuadro 6. Número de foliolos, en la fecha de siembra 1 y la fecha de siembra 2.

Factor	Número de foliolos
Fecha de siembra 1	
Cultivar	
Retaca	77,8 b
Verde Bonita	83,7 a
Fuente de Nitrógeno	
Inoculante	84,7
Nitrógeno	78,0
Testigo	79,6
Fecha de siembra 2	
Cultivar	
Retaca	77,5
Verde Bonita	73,0
Fuente de Nitrógeno	
Inoculante	73,5
Nitrógeno	75,7
Testigo	76,5

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada fecha de siembra y factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Además se observa, en la fecha de siembra 1, una disminución del número de foliolos entre inicio de llenado de granos y cosecha (Apéndice IId), donde los tratamientos con aplicación de nitrógeno presentaron la mayor disminución (27%) de estas. En el apéndice IIe se observa que la mayor pérdida del número de hojas se produjo en el cultivar Retaca con aplicación de nitrógeno, esta pérdida fue de un 31% versus un 13% del tratamiento con inoculante, de este mismo cultivar. Situación similar se observa en el cultivar Verde Bonita, donde el tratamiento con aplicación de nitrógeno perdió un 23% de sus hojas y el tratamiento con inoculante un 14%. En la fecha de siembra 2 no se observa esta disminución.

Número de nudos vegetativos y reproductivos

En los nudos vegetativos del eje central, se presentaron diferencias significativas tanto entre los cultivares como en las fuentes de nitrógeno en la fecha de siembra 1, siendo Verde Bonita el cultivar que presentó la mayor cantidad, con una unidad más que Retaca. Respecto al efecto de la fuente de nitrógeno, el tratamiento con inoculante presentó un valor significativamente superior al testigo en 0,4 unidades (Cuadro 7).

En la fecha de siembra 2 se encontraron diferencias significativas solo entre los cultivares, donde Verde Bonita presentó el mayor número de nudos vegetativos del eje central; no obstante en este caso la diferencia con respecto a Retaca fue de 0,7 nudos más (Cuadro 7).

En relación al promedio de nudos vegetativos en los tallos, en ambas fechas de siembra se obtuvieron diferencias significativas entre los cultivares, donde Verde Bonita presentó la mayor cantidad de nudos vegetativos promedio. En este caso el número de nudos vegetativos fue siempre inferior al observado en el eje central.

En cuanto a los nudos reproductivos del eje central se obtuvieron diferencias significativas en la primera fecha de siembra (fecha de siembra 1), donde Verde Bonita presentó 0,5 nudos reproductivos más que Retaca; sin embargo, en la segunda fecha solo se presentaron diferencias significativas a nivel de tallo, donde Retaca logró un 9% más de nudos reproductivos en comparación a Verde Bonita (Cuadro 7). Cabe destacar la similitud en el número de nudos reproductivos del eje central y los tallos en cada uno de los tratamientos.

Cuadro 7. Número de nudos vegetativos y reproductivos del eje central y los tallos, en la fecha de siembra 1 y la fecha de siembra 2.

Factor	Número de nudos			
	Eje Central		Tallos	
	Vegetativos	Reproductivos	Vegetativos	Reproductivos
Fecha de siembra 1				
Cultivar				
Retaca	6,9 b	3,8 b	4,6 b	4,0
Verde Bonita	7,9 a	4,3 a	5,2 a	4,2
Fuente de Nitrógeno				
Inoculante	7,6 a	4,1	4,9	4,2
Nitrógeno	7,5 ab	4,0	5,0	4,1
Testigo	7,2 b	4,1	4,7	4,0
Fecha de siembra 2				
Cultivar				
Retaca	5,7 b	3,7	3,4 b	3,4 a
Verde Bonita	6,4 a	4,0	4,1 a	3,1 b
Fuente de Nitrógeno				
Inoculante	6,1	3,9	3,7	3,2
Nitrógeno	6,0	3,9	3,8	3,3
Testigo	6,0	3,8	3,8	3,3

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada fecha de siembra y factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Al analizar el número total de nudos reproductivos por planta de la fecha de siembra 1, se obtuvieron diferencias significativas en la interacción “Cultivares x Fuente de Nitrógeno”, donde Retaca con aplicación de nitrógeno presentó un valor significativamente superior en 3 nudos reproductivos en comparación al obtenido por este mismo cultivar, pero con inoculante y al de Verde Bonita testigo (Cuadro 8).

En cuanto a los nudos productivos, es decir aquellos nudos reproductivos que originaron vainas comerciales, en la fecha de siembra 1 se observaron diferencias significativas en la interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno”, en el que el cultivar Retaca con inoculante presentó un valor significativamente inferior a los obtenidos por los tratamientos Retaca con aplicación de nitrógeno y Retaca testigo, observándose en estos últimos 1,2 nudos productivos más que Retaca con inoculante. Además, al comparar todos los tratamientos, Retaca con inoculante obtuvo solo un 19% de nudos productivos, valor significativamente menor a Retaca con aplicación de nitrógeno, Verde Bonita con inoculante y Verde Bonita testigo, que obtuvieron en promedio un 4% más de nudos productivos (Cuadro 8).

Cuadro 8. Número de nudos reproductivos y productivos totales por planta, en la fecha de siembra 1.

Factor	Número de nudos totales por planta		
	Reproductivos	Productivos	%
Cultivar x Fuente de Nitrógeno			
Retaca x Inoculante	17,4 bc	3,3 b	19,0 b
Retaca x Nitrógeno	20,3 a	4,5 a	22,2 a
Retaca x Testigo	20,0 ab	4,4 a	22,0 ab
Verde Bonita x Inoculante	18,6 abc	4,2 ab	22,6 a
Verde Bonita x Nitrógeno	18,2 abc	3,9 ab	21,4 ab
Verde Bonita x Testigo	17,1 c	4,1 ab	24,0 a

Letras diferentes en sentido vertical, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En la fecha de siembra 2 no se observó interacción entre los factores y solo se presentaron diferencias significativas entre los cultivares, donde Retaca obtuvo 1,7 nudos reproductivos más que Verde Bonita. Esta situación se revierte al comparar el número de nudos productivos entre ambos cultivares, donde Verde Bonita obtiene 0,5 (6,5%) nudos productivos más que Retaca (Cuadro 9).

Cuadro 9. Número de nudos reproductivos y productivos totales por planta, en fecha de siembra 2

Factor	Número de nudos totales por planta		
	Reproductivos	Productivos	%
Cultivar			
Retaca	14,6 a	2,9 b	19,9 b
Verde Bonita	12,9 b	3,4 a	26,4 a
Fuente de Nitrógeno			
Inoculante	13,6	3,3	24,3
Nitrógeno	13,2	3,0	22,7
Testigo	14,4	3,1	21,5

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Peso seco de las estructuras aéreas

Con el objeto de evaluar la biomasa producida por las plantas, se determinó el peso seco de folíolos, tallos y vainas en los distintos estados de desarrollo (Apéndices IIf al Iii). Observándose que en general las diferencias se producen entre cultivares y entre las fechas de siembra, existiendo una tendencia a obtener mayores valores en la fecha de siembra 1.

En esta sección se presenta la materia seca total por planta a la cosecha. En la fecha de siembra 1 y fecha de siembra 2, no se encontraron diferencias significativas en la interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno” en el peso seco aéreo total (folíolos, tallos y vainas), y solo se obtuvieron diferencias significativas entre los cultivares en la fecha de siembra 1, donde Verde Bonita superó significativamente a Retaca en un 17% (5 gramos). En la fecha de siembra 2 no se observaron diferencias significativas, obteniéndose un promedio de 21 gramos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Peso seco aéreo total por planta, en la fecha de siembra 1 y fecha de siembra 2.

Factor	Peso seco aéreo total por planta	
	g	
Fecha de siembra 1		
Cultivar		
Retaca	25,7	b
Verde Bonita	30,9	a
Fuente de Nitrógeno		
Inoculante	28,9	
Nitrógeno	28,5	
Testigo	27,5	
Fecha de siembra 2		
Cultivar		
Retaca	21,4	
Verde Bonita	21,3	
Fuente de Nitrógeno		
Inoculante	20,0	
Nitrógeno	21,5	
Testigo	22,5	

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada fecha de siembra y factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Al comparar las fechas de siembra mediante un análisis combinado de varianza, para el peso seco total de la planta, se encontraron diferencias significativas en las interacciones “Fecha de Siembra x Cultivar” “Fecha de Siembra x Fuente de Nitrógeno” y “Cultivar x Fuente de Nitrógeno” (Cuadro 11). Los resultados del análisis combinado de varianza de las estructuras de la planta por separado (hojas, tallos y vainas) se muestran en los apéndices del IIIj al IIIo.

En cuanto a la interacción “Fecha de Siembra x Cultivar” se observa que Verde Bonita en la fecha de siembra 1, logró un valor significativamente superior en 8 gramos respecto de los otros tratamientos. Los valores más bajos se presentan con este mismo cultivar en la fecha de siembra 2 y en Retaca en la misma fecha.

Con respecto a la interacción “Fecha de Siembra x Fuente de Nitrógeno”, las fuentes correspondientes al fecha de siembra 1 obtuvieron mayores pesos secos totales, siendo en promedio un 25% superior a las de la fecha de siembra 2.

En relación a la interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno”, los tratamientos con Verde Bonita obtuvieron los mayores pesos con un promedio de 26 g, significativamente mayores en 4 g al obtenido por Retaca con inoculante.

Cuadro 11. Peso seco total de las estructuras aéreas de la planta, en la combinación de ambas fechas de siembra.

Interacción	Peso seco aéreo total por planta
	g
Fecha de Siembra x Cultivar	
Fecha de siembra 1 x Retaca	25,6 b
Fecha de siembra 1 x Verde Bonita	30,9 a
Fecha de siembra 2 x Retaca	21,4 c
Fecha de siembra 2 x Verde Bonita	21,3 c
Fecha de Siembra x Fuente de Nitrógeno	
Fecha de siembra 1 x Inoculante	28,9 a
Fecha de siembra 1 x Nitrógeno	28,5 a
Fecha de siembra 1 x Testigo	27,5 a
Fecha de siembra 2 x Inoculante	20,0 b
Fecha de siembra 2 x Nitrógeno	21,4 b
Fecha de siembra 2 x Testigo	22,5 b
Cultivar x Fuente de Nitrógeno	
Retaca x Inoculante	22,1 b
Retaca x Nitrógeno	24,6 ab
Retaca x Testigo	23,8 ab
Verde Bonita x Inoculante	26,7 a
Verde Bonita x Nitrógeno	25,3 a
Verde Bonita x Testigo	26,3 a

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada interacción, indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

En el apéndice III se muestran los resultados de la comparación entre las fechas (análisis combinado de varianza) para los parámetros de crecimiento que no fueron descritos.

Efecto de los tratamientos en la nodulación

Peso seco de los nódulos

No se encontraron diferencias significativas en el peso seco de los nódulos para la interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno”, en ambas fechas de siembra, sin embargo en la primera fecha de siembra se encontraron diferencias significativas entre los cultivares, donde Retaca presentó el mayor peso, con un 35% y un 26% mayor que Verde Bonita en inicios de floración y en inicio de llenado de granos, respectivamente (Cuadro 12). Un resultado similar se obtuvo en la segunda fecha de siembra, donde Retaca presentó valores significativamente superiores a Verde Bonita en todos los estados de desarrollo, siendo en el estado de inicio de llenado de granos donde la diferencia es mayor, con un 30% (Cuadro 12). En esta fecha también se observaron diferencias significativas en fuente de nitrógeno, en el estado de inicio de llenado de granos, donde la aplicación de nitrógeno produjo un 23% menos de peso seco de nódulos que los tratamientos con inoculante y los testigos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Peso seco de los nódulos, durante el desarrollo del cultivo, en la fecha de siembra 1 y la fecha de siembra 2.

Factor	Estado de desarrollo		
	Etapa vegetativa	Inicio de floración	Inicio de llenado de granos
g			
Fecha de siembra 1			
Cultivar			
Retaca	0,11	0,23 a	0,39 a
Verde Bonita	0,10	0,15 b	0,29 b
Fuente de Nitrógeno			
Inoculante	0,12	0,20	0,35
Nitrógeno	0,11	0,18	0,32
Testigo	0,10	0,20	0,34
Fecha de siembra 2			
Cultivar			
Retaca	0,14	0,26 a	0,33 a
Verde Bonita	0,13	0,21 b	0,23 b
Fuente de Nitrógeno			
Inoculante	0,13	0,25	0,30 a
Nitrógeno	0,14	0,23	0,23 b
Testigo	0,14	0,23	0,30 a

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada fecha de siembra y factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En el análisis combinado de varianza del peso seco de los nódulos se observó que existieron diferencias significativas entre las fechas de siembra durante el desarrollo del cultivo (Cuadro 13), donde la fecha de siembra 2 obtuvo mayor peso en la etapa vegetativa e inicios de floración superando en un 19% a la fecha de siembra 1. Esta situación se revierte en el estado de inicio de llenado de granos, observándose que el peso seco de los nódulos fue un 18% superior en la fecha de siembra 1.

Además se obtuvieron diferencias significativas entre los cultivares, siendo Retaca el que logró el mayor peso seco en los tres estados de desarrollo medidos (9%, 25% y 27% superior respecto a Verde Bonita, respectivamente) (Cuadro 13).

En el factor fuente de nitrógeno se observaron diferencias significativas solo a inicios de llenado de granos, siendo la aplicación de nitrógeno quien presentó el menor peso seco de nódulos con una reducción del 14% con respecto al promedio de los otros niveles de fuente de nitrógeno (Cuadro 13).

Cuadro 13. Peso seco de los nódulos, durante el desarrollo del cultivo, en la combinación de ambas fechas de siembra.

Factor	Estado de desarrollo		
	Etapa Vegetativa	Inicio de Floración	Inicio de llenado de granos
g			
Fecha de Siembra			
Fecha de siembra 1	0,109 b	0,192 b	0,339 a
Fecha de siembra 2	0,135 a	0,238 a	0,279 b
Cultivar			
Retaca	0,128 a	0,246 a	0,357 a
Verde Bonita	0,117 b	0,184 b	0,261 b
Fuente de Nitrógeno			
Inoculante	0,124	0,223	0,328 a
Nitrógeno	0,124	0,205	0,279 b
Testigo	0,119	0,216	0,321 a

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada factor, indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

Actividad de los nódulos

Mediante observación visual del color de los nódulos se determinó indirectamente su actividad. De esta manera, del total de nódulos obtenidos por muestra se cuantificó el porcentaje de nódulos blancos, rojos y verdes (Cuadro 2).

En la primera fecha de siembra no se encontraron diferencias significativas durante el estado vegetativo, encontrándose un 64% de nódulos activos y un 36% de inactivos. En este estado no se encontraron nódulos senescentes (Figura 6).

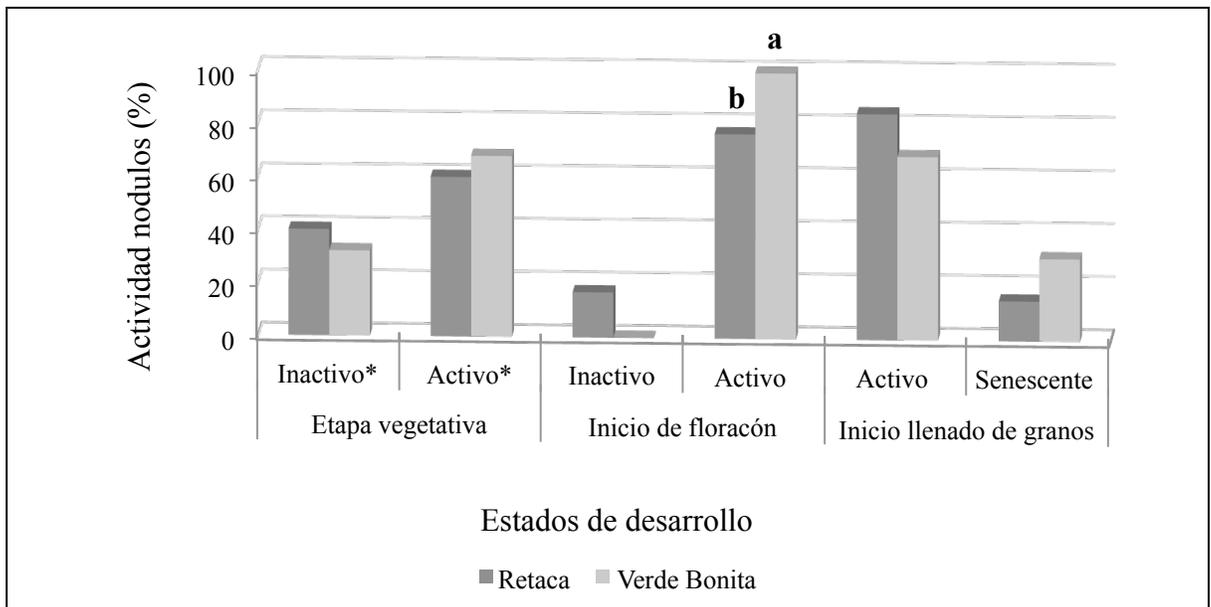


Figura 6. Actividad de los nódulos durante el cultivo, en la fecha de siembra 1
 * Datos analizados por la prueba no paramétrica de Friedman ($p \leq 0,05$).

A inicios de floración se observaron diferencias significativas en los nódulos activos, donde el cultivar Retaca presentó un 23% menos de nódulos activos en comparación a los tratamientos que incluían Verde Bonita (Figura 6). En los nódulos senescentes de esta etapa se observó interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno”, donde en el tratamiento Retaca con aplicación de nitrógeno se presentó un 13 % más de nódulos senescentes que los tratamientos Retaca testigo y Verde Bonita con sus tres fuentes de nitrógeno (que no presentaron este tipo de nódulos) (Figura 7).

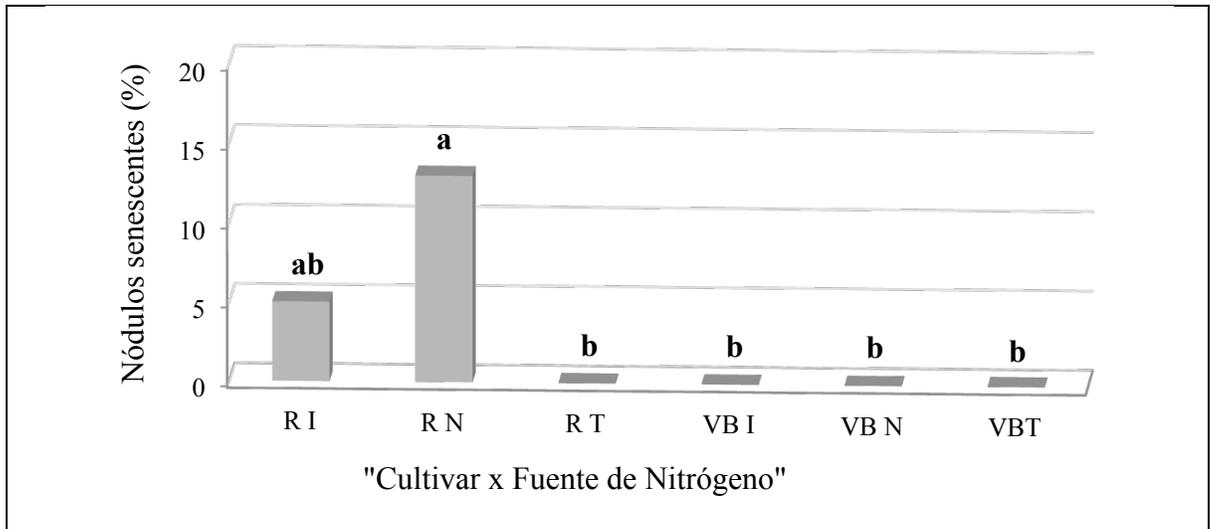


Figura 7. Nódulos senescentes en inicios de floración en la fecha de siembra 1. Abreviaciones: R I= Retaca con inoculante; R N= Retaca con aplicación de nitrógeno; R T= Retaca testigo; VB I=Verde Bonita con inoculante; VB N= Verde Bonita con aplicación de nitrógeno; VB T= Verde Bonita testigo. Datos analizados por la prueba no paramétrica de Friedman ($p \leq 0,05$).

Posteriormente en el estado de inicio de llenado de granos solo se encontraron nódulos activos y senescentes, sin embargo no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, obteniéndose en promedio un 77% de nódulos activos y un 23% de nódulos senescentes (Figura 6).

En la segunda fecha de siembra no se encontraron diferencias significativas, tanto para la etapa vegetativa como en inicios de floración el 100% de los nódulos se encontraron activos. Posteriormente a inicios de llenado de granos se observó en promedio un 58% de nódulos senescentes.

Al analizar ambas fechas de siembra se observaron diferencias significativas en fecha de siembra, donde en el estado vegetativo la fecha de siembra 1 presentó nódulos inactivos, sin embargo en la fecha de siembra 2 en este estado de desarrollo, no existía este tipo de nódulos (Cuadro 14). En cuanto a los nódulos activos, estos fueron un 36% superior en la fecha de siembra 2. No se observaron nódulos senescentes en ninguna de las dos fechas en este estado de desarrollo (Cuadro 14).

A inicios de floración se observó que para ambas fechas de siembra, el mayor porcentaje de nódulos correspondió a la categoría de activos, siendo en la fecha de siembra 2 donde este valor fue máximo. Por otra parte los nódulos senescentes se encontraron solo en la fecha de siembra 1 (3%).

En inicios de llenado de granos se observó un descenso en el número de nódulos activos y aumentó en ambas fechas del porcentaje de nódulos senescentes. En este estado de desarrollo la fecha de siembra 1 logró el mayor porcentaje de nódulos activos y el menor porcentaje de nódulos senescentes (Cuadro 14).

Cuadro 14. Actividad de los nódulos, durante el desarrollo del cultivo, en la combinación de ambas fechas de siembra.

Fecha de Siembra	Actividad de los nódulos								
	Etapa vegetativa			Inicio de floración*			Inicio llenado de granos		
	Inactivos	Activos	Senescente	Inactivos	Activos	Senescente	Inactivos	Activos	Senescente
	Porcentaje								
Fecha de siembra 1	36 a	64 b	0 a	9 a	88 b	3 a	0 a	77 a	23 b
Fecha de siembra 2	0 b	100 a	0 a	0 b	100 a	0 b	0 a	42 b	58 a

Letras diferentes en sentido vertical, indican diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

* Datos fueron analizados mediante prueba no paramétrica de Friedman ($p \leq 0,05$).

Efecto de los tratamientos en el rendimiento y sus componentes

El rendimiento en semillas de las leguminosas de grano es el resultado de diferentes procesos del crecimiento de las plantas, los cuales están finalmente expresados en los componentes del rendimiento como número de vainas por planta, semillas por vaina y peso medio de dichas semillas, lográndose el más alto rendimiento de granos cuando dichos componentes están maximizados (Ayaz *et al.*, 2004). En el Apéndice IV se presenta un cuadro resumen con las diferencias e interacciones encontradas.

Número de vainas comerciales

En la fecha de siembra 1 se encontraron diferencias significativas en la interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno”, para número de vainas comerciales por metro cuadrado. Donde, Retaca con inoculante fue el tratamiento que logró los mayores valores, siendo significativamente diferente en 23 vainas por metro cuadrado, a los tratamientos de Retaca con aplicación de nitrógeno, Verde Bonita con inoculante y Verde Bonita testigo (Cuadro 15).

Cuadro 15. Número de vainas comerciales por metro cuadrado, en la fecha de siembra 1.

Interacción	Número de vainas
	m ²
Cultivar x Fuente de Nitrógeno	
Retaca x Inoculante	146 a
Retaca x Nitrógeno	126 b
Retaca x Testigo	130 ab
Verde Bonita x Inoculante	124 b
Verde Bonita x Nitrógeno	131 ab
Verde Bonita x Testigo	118 b

Letras diferentes en sentido vertical, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Por su parte, en la fecha de siembra 2 no se presentó interacción entre los factores, observándose que en la producción de vainas comerciales por metro cuadrado se encontraron diferencias significativas entre los cultivares teniendo Retaca 33 vainas más (Cuadro 16). Además se observaron diferencias en el factor fuente de nitrógeno, donde el testigo fue mayor en 15 vainas más por metro cuadrado, que el inoculante.

Cuadro 16. Número de vainas comerciales por metro cuadrado, en la fecha de siembra 2.

Factor	Número de vainas
	m ²
Cultivar	
Retaca	140 a
Verde Bonita	107 b
Fuente de Nitrógeno	
Inoculante	116 b
Nitrógeno	124 ab
Testigo	131 a

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Peso de vainas comerciales

Respecto al peso de las vainas comerciales por planta en ambas fechas de siembra no se presentó interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno”. En la fecha de siembra 1 se presentan diferencias significativas solo a nivel de cultivar, en el cual Verde Bonita logró el mayor valor, superando en 4,5 gramos a los obtenidos por Retaca (Cuadro 17).

En la fecha de siembra 2 no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los factores, obteniéndose un promedio de 35 g de vainas comerciales, (Cuadro 17).

Cuadro 17. Peso de las vainas comerciales por planta, en la fecha de siembra 1 y la fecha de siembra 2.

Factor	Peso de vainas por planta	
	g	
Fecha de siembra 1		
Cultivar		
Retaca	36,1	b
Verde Bonita	40,6	a
Fuente de Nitrógeno		
Inoculante	38,4	
Nitrógeno	39,8	
Testigo	36,9	
Fecha de siembra 2		
Cultivar		
Retaca	35,8	
Verde Bonita	34,0	
Fuente de Nitrógeno		
Inoculante	32,8	
Nitrógeno	35,4	
Testigo	36,5	

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada fecha de siembra y factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Número y peso de granos

Respecto al número de granos por vaina no hubo interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno” en ninguna de las fechas de siembra, observándose que en ambos casos se presentaron diferencias significativas a nivel de cultivar, donde Verde Bonita produjo 0,5 y 0,3 granos más que Retaca en la fecha de siembra 1 y 2, respectivamente (Cuadro 18).

En cuanto al peso de 100 granos en ambas fecha de siembra no se observaron diferencias significativas, obteniéndose un promedio de 78 g en la fecha de siembra 1 y 73 gramos en la fecha de siembra 2. Este resultado era esperable dado que, los criterios de cosecha fueron similares para ambas fechas y cultivares (Cuadro 18).

Cuadro 18. Número de granos por vaina y peso de 100 granos, en la fecha de siembra 1 y la fecha de siembra 2.

Factor	Nº de granos por vaina	Peso 100 granos (g)
Fecha de siembra 1		
Cultivar		
Retaca	3,1 b	77,9
Verde Bonita	3,6 a	78,0
Fuente de Nitrógeno		
Inoculante	3,2	76,0
Nitrógeno	3,4	79,3
Testigo	3,4	78,7
Fecha de siembra 2		
Cultivar		
Retaca	3,3 b	73,2
Verde Bonita	3,6 a	72,6
Fuente de Nitrógeno		
Inoculante	3,4	73,2
Nitrógeno	3,5	72,9
Testigo	3,4	72,6

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada fecha de siembra y factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

A partir del número de vainas por planta y del número de granos por vaina se puede deducir el componente de rendimiento número de granos por metro cuadrado, el cual está directamente relacionado con el rendimiento (Barker y Dennett, 2013; Ayaz *et al.*, 2004), al igual que el número de granos por m^2 .

Al analizar estos parámetros se observó que la interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno” fue significativa en la fecha de siembra 1, observándose que el tratamiento Verde Bonita con aplicación de nitrógeno originó un valor significativamente superior, equivalente a 98 granos por metro cuadrado, que el obtenido por el cultivar Retaca con aplicación de nitrógeno (Cuadro 19).

Cuadro 19. Número y peso de los granos por metro cuadrado, en la fecha de siembra 1.

Interacción	Nº granos m ⁻²
Cultivar x Fuente de Nitrógeno	
Retaca x Inoculante	450 ab
Retaca x Nitrógeno	392 b
Retaca x Testigo	408 ab
Verde Bonita x Inoculante	415 ab
Verde Bonita x Nitrógeno	490 a
Verde Bonita x Testigo	430 ab

Letras diferentes en sentido vertical, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Para la fecha de siembra 2 no se presentó interacción en “Cultivar x Fuente de Nitrógeno” en número de granos por m². A nivel de cultivar Retaca logró los mayores valores, siendo un 15% superior, que Verde Bonita (Cuadro 20). Estas diferencias son atribuidas al mayor número de vainas que presentó Retaca en esta fecha de siembra (Cuadro 16).

Cuadro 20. Número y peso de granos por metro cuadrado en la fecha de siembra 2.

Factor	Nº granos m ⁻²
Cultivar	
Retaca	457 a
Verde Bonita	388 b
Fuente de Nitrógeno	
Inoculante	394
Nitrógeno	433
Testigo	441

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Rendimiento de vainas y granos por hectárea

Para rendimiento en vaina y rendimiento en grano por hectárea, no hubo interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno” en ninguna de las fechas de siembra. Las únicas diferencias obtenidas fueron a nivel de cultivar, encontrándose que en la fecha de siembra 1 Verde Bonita superó a Retaca solo en el Rendimiento en vaina, con un 7% más. En tanto que en la fecha de siembra 2, Retaca superó a Verde Bonita solo en rendimiento en granos con un 15% más (Cuadro 21). El rendimiento en granos de la fecha de siembra 1, fue en promedio 3.424 kg ha⁻¹, no existiendo diferencias significativas en ninguno de los factores, lo mismo ocurrió para rendimiento en vaina de la fecha de siembra 2, con un valor promedio de 9.982 kg ha⁻¹ (Cuadro 21).

Cuadro 21. Rendimiento por hectárea de granos y vainas, para la fecha de siembra 1 y la fecha de siembra 2.

Factor	Rendimiento	
	Vaina	Granos
	kg ha ⁻¹	
Fecha de siembra 1		
Cultivar		
Retaca	10.332 b	3.302
Verde Bonita	11.616 a	3.546
Fuente de Nitrógeno		
Inoculante	10.983	3.346
Nitrógeno	11.375	3.568
Testigo	10.564	3.358
Fecha de siembra 2		
Cultivar		
Retaca	10.246	3.422 a
Verde Bonita	9.718	2.878 b
Fuente de Nitrógeno		
Inoculante	9.394	2.963
Nitrógeno	10.122	3.218
Testigo	10.430	3.268

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada fecha de siembra o factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En cuanto al análisis combinado de varianza solo se encontraron diferencias significativas en la interacción “Fecha de Siembra x Cultivar”, para rendimiento de vainas y granos por hectárea (Figura 8). En el caso de las vainas, el cultivar Verde Bonita en la fecha de siembra 1 obtuvo 11.616 kg ha⁻¹. En cuanto a los granos, Verde Bonita en la fecha de siembra 2 obtuvo el menor rendimiento, con 2.878 kg ha⁻¹ (Figura 8). Los resultados del análisis combinado de varianza de los componentes del rendimiento se observan en el apéndice VI.

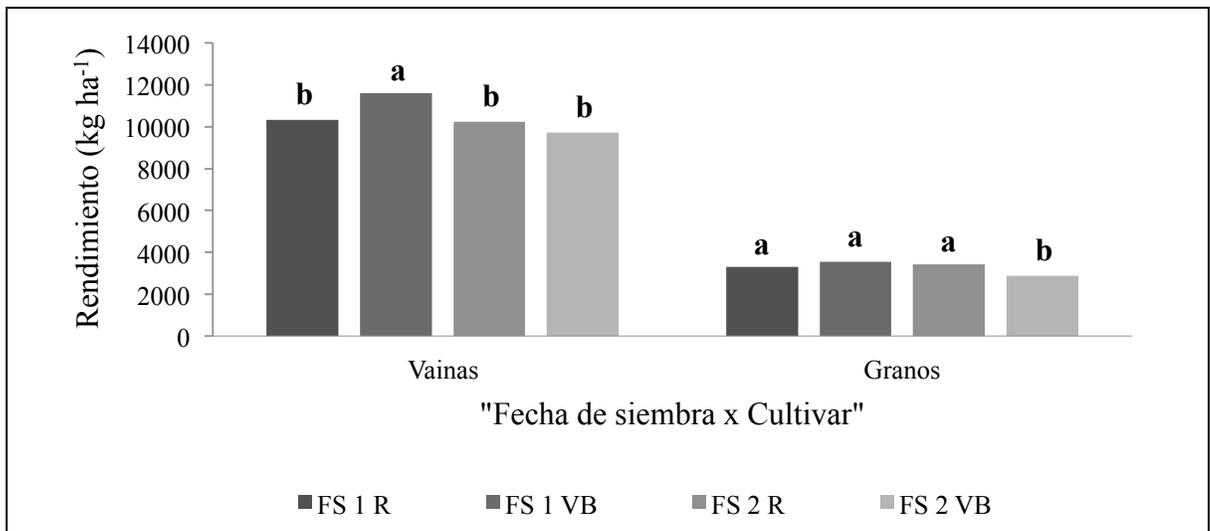


Figura 8. Rendimiento de vainas y granos en la combinación de ambas fechas de siembra, en la interacción “Fecha de Siembra x Cultivar”. Abreviaciones: FS 1 R= Retaca en la fecha de siembra 1; FS 1 VB= Verde Bonita en la fecha de siembra 1; FS 2 R= Retaca en la fecha de siembra 2; FS 2 VB= Verde Bonita en la fecha de siembra 2. Letras diferentes dentro de cada parámetro evaluado indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Rendimiento industrial

En relación al rendimiento industrial, que representa el porcentaje de granos producidos respecto a la vaina completa, no se presentó interacción entre cultivar y fuente de nitrógeno en ninguna de las dos fechas de siembra (Cuadro 22). Cabe destacar además que en ninguna de las fechas de siembra hubo diferencias significativas en el factor fuente de nitrógeno, observándose valores de 31,3% en la fecha de siembra 1 y 31,6% en la fecha de siembra 2. Respecto a las diferencias a nivel de cultivar, solo en la fecha de siembra 2 Retaca superó a Verde Bonita, logrando un rendimiento industrial superior en un 4%. La razón de esta diferencia podría estar dada porque Verde Bonita produce vainas más anchas en relación a Retaca, y como en esta fecha no hay diferencias en el largo de la vaina (ver apéndice Vc), y la diferencia en el número de granos por vaina es tan solo de 0,3 granos por vaina (Cuadro 18), la relación grano/vaina es menor.

Cuadro 22. Rendimiento industrial, para la fecha de siembra 1 y la fecha de siembra 2.

Factor	Rendimiento industrial	
	%	
Fecha de siembra 1		
Cultivar		
Retaca	32,0	
Verde Bonita	30,6	
Fuente de Nitrógeno		
Inoculante	30,6	
Nitrógeno	31,4	
Testigo	31,8	
Fecha de siembra 2		
Cultivar		
Retaca	33,5	a
Verde Bonita	29,6	b
Fuente de Nitrógeno		
Inoculante	31,5	
Nitrógeno	31,7	
Testigo	31,5	

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada fecha de siembra y factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En el análisis combinado de varianza se observó interacción “Fecha de Siembra x Cultivar”, obteniéndose que el cultivar Retaca obtiene los mayores rendimientos industriales en ambas fechas de siembra (Figura 9), y el cultivar Verde Bonita los menores porcentajes.

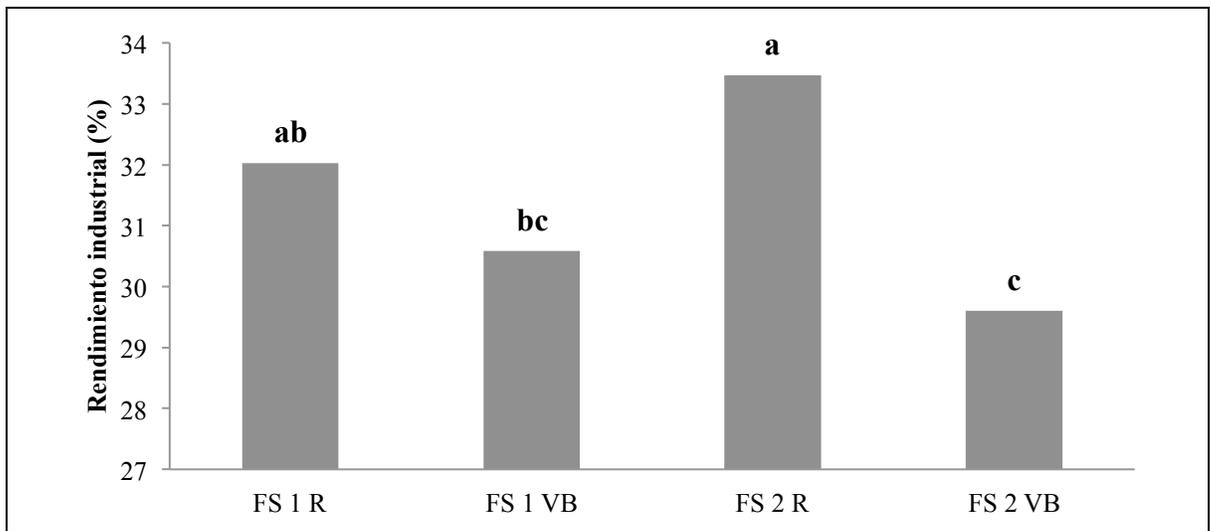


Figura 9. Rendimiento industrial (%) en la combinación de ambas fechas de siembra, para la interacción “Fecha de siembra x Cultivar”. Abreviaciones: FS 1 R= Retaca en la fecha de siembra 1; FS 1 VB= Verde Bonita en la fecha de siembra 1; FS 2 R= Retaca en la fecha de siembra 2; FS 2 VB= Verde Bonita en la fecha de siembra 2. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Magnitud de la respuesta al variar la fecha de siembra

Con el fin de determinar la magnitud en que variaron los parámetros de rendimiento y crecimiento al atrasar la fecha de siembra, se compararon con sus respectivos testigos el rendimiento en vaina, el rendimiento en grano y peso seco aéreo total por planta de los tratamientos con aplicación de nitrógeno e inoculación con *Rhizobium*. En la fecha de siembra 1 Retaca logró en todos los parámetros evaluados superar al testigo, sin embargo en la fecha de siembra 2 estos valores fueron menores o iguales al testigo respectivo. Similares resultados se obtuvieron con el cultivar Verde Bonita, donde los valores de la fecha de siembra 1 son mayores a los de la fecha de siembra 2.

DISCUSIÓN

Efecto del factor fuente de nitrógeno

Al igual que en muchos cultivos la producción de haba varía en función del genotipo y del manejo del cultivo, y dentro de este la fertilización nitrogenada tiene un efecto preponderante sobre la acumulación de la materia seca y por ende sobre el rendimiento, dada la alta correlación existente entre estos dos últimos parámetros (Katerji *et al.*, 2011; Guadarrama *et al.*, 2007; Hatami *et al.*, 2009; Costa *et al.*, 1997). En relación a la materia seca aérea producida, los resultados de este estudio determinaron que las fuentes de nitrógeno utilizadas no afectaron el peso seco aéreo total por planta (Cuadro 10). Además, los resultados indican que tanto en el rendimiento en grano como en vaina no se obtuvieron diferencias significativas con las distintas fuentes de nitrógeno evaluadas (Cuadro 21). Esto es contrario a lo encontrado por Khamooshi *et al.* (2012), donde el rendimiento de semillas de haba aumentó con una dosis de nitrógeno similar a la usada en este estudio (60 kg ha^{-1}). En este mismo sentido Hatami *et al.*, (2009), observaron que en soya las mayores dosis de nitrógeno se asociaron a los mayores rendimientos. El hecho de obtener rendimientos similares en las distintas fuentes de nitrógeno utilizadas podría deberse a que tanto las bacterias inoculadas como las nativas del suelo fueron capaces de suplir los requerimientos de nitrógeno de las plantas. Cabe destacar además que en el presente estudio las evaluaciones fueron hechas a madurez de cosecha en verde y no para grano seco como lo determinaron los estudios antes mencionados.

El factor fecha de siembra incidió fuertemente en la respuesta de los cultivares frente a la fuente de nitrógeno, es así, como en la fecha de siembra 1, a nivel de componentes del rendimiento, el número de vainas por planta y por m^2 fueron afectados en el cultivar Retaca, observándose un mayor número de ellas cuando las plantas fueron inoculadas (Cuadro 15), aspecto que no se observó en Verde Bonita, cuyo número de vainas no varió con la fuente de nitrógeno (Cuadro 15). Distinto es el caso de la segunda fecha de siembra donde la fuente de nitrógeno, no tuvo una incidencia marcada en este componente (Cuadro 16). Los resultados de ambas fechas difieren a lo obtenido por Guadarrama *et al.* (2007) donde el nitrógeno (en dosis de 100 kg ha^{-1}) aumentó el número de vainas por m^2 . Por su parte Hatami *et al.*, (2009) obtuvieron, en soya, un mayor número de vainas en los tratamientos con nitrógeno (en relación al testigo sin aplicación).

Respecto al componente número de granos por m^2 , no existió una tendencia tan clara del efecto de la fuente de nitrógeno en la primera fecha de siembra, no obstante, el cultivar Retaca tendió a presentar una mayor respuesta en este componente cuando la fuente de nitrógeno fue a través del inoculante, en cambio Verde Bonita, respondió mejor a la fertilización nitrogenada (Cuadro 19). En la segunda fecha de siembra, nuevamente se observó que la fuente de nitrógeno no tuvo efecto sobre la producción de granos, siendo Retaca el que produjo el mayor valor (Cuadro 20).

El efecto del nitrógeno en el peso de 100 semillas no fue significativo en este ensayo al igual a lo encontrado por Khamooshi *et al.* (2012) donde no encontraron diferencias en este parámetro al evaluar distintas dosis de nitrógeno en haba (0, 20, 40, 60 kg ha⁻¹). Este hecho además se explica debido a que el criterio de cosecha fue el mismo para todos los tratamientos y ambas fechas de siembra.

Efecto del factor cultivar

Las diferencias en rendimiento solo fueron observadas a nivel de cultivar, en la primera fecha de siembra el rendimiento de vainas (kg ha⁻¹) fue superior en el cultivar Verde Bonita con un 7% más que Retaca (Cuadro 21), lo cual se debería al mayor número de granos por vaina, el peso de las vainas por planta y el mayor largo de vaina obtenido por este cultivar (Cuadros 17, 18 y 23). En la segunda fecha de siembra las diferencias se presentaron en el rendimiento en grano (kg ha⁻¹), siendo Retaca en este caso el cultivar que obtuvo un 15% más de rendimiento, valor que estuvo asociado al mayor número de granos y vainas por m² y peso de los granos por planta (Cuadros 16 y 20). Al respecto Confalone *et al.* (2010) señalan que el mayor rendimiento de granos lo obtuvieron las plantas que presentaron el mayor número de vainas y número de semillas por m².

Respecto a los parámetros de crecimiento medidos se observó diferencia entre los cultivares, donde Verde Bonita obtuvo los mayores valores en altura de planta, número de folíolos y de nudos vegetativos y reproductivos. Todo esto provocó que el peso seco aéreo total de este cultivar sea mayor.

Por otra parte, determinar la altura de inserción de la primera vaina es relevante cuando se pretende mecanizar la cosecha, tal como se realiza por la agroindustria en países como España (Díaz, 2011). En este estudio se encontró que el cultivar Verde Bonita con sus tres fuentes de nitrógeno en la fecha de siembra 1 obtuvo la primera vaina 23 cm más alto que Retaca con sus tres fuentes de nitrógeno en la fecha de siembra 2 (Apéndice IIIb). Este hecho obedece a que Verde Bonita es el cultivar más alto. Figueroa (2009) también obtuvo una menor inserción de la primera vaina en la segunda fecha de siembra.

Efecto de la fecha de siembra

Uno de los factores claves para un buen desarrollo del cultivo es la fecha de siembra, debido a que determina las condiciones bajo las cuales este se va a desarrollar (Soto, 2009). En general la fecha de siembra debe permitir a los agricultores optimizar las condiciones en las cuales crecerá el cultivo, para potenciar el rendimiento, así como lograr cosechas en momentos que el precio pueda ser más alto, o, en el caso de la agroindustria, cuando esta tenga la capacidad técnica para procesarla. Entre los factores climáticos, la temperatura es una de las principales variables ambientales que influyen en el desarrollo del cultivo, es así como mediante la utilización de las sumas de temperatura (comúnmente conocidas como unidades térmicas o días grado), se pueden predecir eventos fenológicos de los cultivos (Baker y Reddy, 2001).

En el estudio realizado se emplearon dos fechas de siembra, la segunda fecha fue llevada a cabo 48 días después, sin embargo, las plantas fueron cosechadas solo con 16 días de diferencia, es decir el periodo de siembra a cosecha se acortó en 32 días. Este hecho se debe a que en la segunda fecha de siembra las temperaturas promedios en cada etapa fenológica fueron más altas (Anexo II), lo cual produce una aceleración en la ocurrencia de estados de desarrollo específicos (Confalone *et al.*, 2010). Los días de siembra a cosecha observados en el estudio fueron de un promedio de 148 días para la primera fecha y 116 para la segunda fecha de siembra. Este resultado se ajusta a lo descrito en literatura donde se señalan valores entre 128 y 138 días de siembra a cosecha (Baginsky, 2008). Las unidades calóricas en este estudio para Retaca fueron 1.452 y 1.441 para Verde Bonita (Figura 5); sin embargo, Briones (2008) obtuvo 729,3 unidades calóricas en Retaca y 734,3 en Verde Bonita. Por su parte Figueroa (2009) encontró valores de 567,5 y 646,5 en dos fechas de siembra estudiadas. Estos valores son menores a los mostrados en este estudio, debido a que el valor que se utilizó en la temperatura base para calcular los requerimientos calóricos fue de 5 °C en esos ensayos, y a que el tamaño de los granos cosechados fue menor. Respecto al efecto del nitrógeno, estudios realizados por Guadarrama *et al.* (2007) señalan que la aplicación de nitrógeno no afectó la fenología del cultivo, sin embargo en este estudio se observó a cosecha en la segunda fecha de siembra, que el cultivar Retaca con aplicación de nitrógeno requirió 14 unidades calóricas más que Retaca con inoculante (Figura 5), en tanto en Verde Bonita no se observó efecto de la fuente de nitrógeno.

Hay que destacar que el crecimiento depende de la habilidad del cultivo de capturar luz y la eficiencia de convertir la luz interceptada en biomasa (Confalone *et al.*, 2010). Es por esto que al realizar siembras tempranas se produce un mayor rendimiento de semillas, ya que la planta presenta una mayor duración de la etapa vegetativa, y por tanto absorbe más radiación fotosintéticamente activa, y por ende una mayor biomasa total, que cuando la siembra se atrasa (Loss *et al.*, 1997). En concordancia a lo señalado, en el presente estudio se observó que en la segunda fecha de siembra, hasta inicios de floración se produjo un 25% menos de materia seca aérea, lo que llevó a que el rendimiento fuera un 9% menor.

En cuanto a los parámetros de crecimiento la materia seca total producida fue menor en un 24% en la segunda fecha de siembra (Cuadro 11), esto debido principalmente a que la altura de la planta y el número de folíolos disminuyeron sus valores (Apéndice IIIb y IIIf). La disminución de la altura al atrasar la fecha de siembra fue de 17 cm (24%), menor a lo obtenido por Thalji y Saladle (2006) en cultivares de crecimiento indeterminado (32%), sin embargo Soto (2009) obtuvo una diferencia entre fechas de tan solo el 10% en estos nuevos cultivares.

A nivel de cultivar, Verde Bonita presentó diferencias al variar la fecha de siembra, presentando tanto en rendimiento en granos como en vaina una disminución de su producción (Figura 8). Por su parte, Retaca logró mantener sus rendimientos presentándose más estable en el tiempo.

Relación entre la nodulación, crecimiento, rendimiento y fecha de siembra

Otro de los parámetros evaluados en este estudio fue la nodulación, ya que, la masa de los nódulos de las leguminosas puede proporcionar una guía general del nivel de nitrógeno atmosférico fijado (N_2). Además la evaluación visual del contenido de leghemoglobina (grado de pigmentación roja) de los nódulos, puede proporcionar una indicación relativa de su efectividad (Hardarson y Atkins, 2003; Kellman, 2008). En este estudio el peso seco de los nódulos, en la segunda fecha de siembra, fue menor en los tratamientos con aplicación de nitrógeno en un 14% respecto a los tratamientos con inoculante y testigo (Cuadro 12). Este resultado es similar a lo encontrado por Otieno *et al.*, (2009) y Hill-Cottingham y Lloyd-Jones (1980), quienes encontraron que el peso de los nódulos disminuyó con las dosis más altas de nitrógeno, existiendo una correspondiente reducción en la cantidad de nitrógeno atmosférico fijado. Por otra parte, Thalji y Saladle (2006) encontraron una correlación positiva entre el peso seco de los nódulos y el rendimiento en grano. Sin embargo en este estudio no se observó dicha correlación (Apéndice VII), y como se mencionó anteriormente no se encontraron diferencias en el rendimiento con las distintas fuentes de nitrógeno empleadas.

En cuanto a la actividad de los nódulos solo se observó el efecto de la aplicación de nitrógeno en el porcentaje de nódulos senescentes (Figura 7), a inicios de floración en la primera fecha de siembra, donde los tratamientos Retaca con inoculante y Retaca con aplicación de nitrógeno presentaron nódulos senescentes, es decir nódulos que ya no fijaban nitrógeno; sin embargo, Verde Bonita seguía teniendo el 100% de sus nódulos activos, esta diferencia entre los cultivares se podría explicar por la especificidad entre la planta hospedera y la bacteria (Rodríguez y López, 2009), siendo Verde Bonita la que respondería mejor al inoculante, ya que los nódulos se mantienen activos por más tiempo y por ende fijando mayor cantidad de nitrógeno atmosférico.

En cuanto a la fecha de siembra, en este estudio se encontró que el peso seco de los nódulos a inicio de llenado de granos fue mayor en la primera fecha (18%). Lo mismo observó Thalji y Saladle (2006), donde en siembras tempranas el peso de los nódulos fue mayor, ya que la extensión de la fase vegetativa aumenta el crecimiento vegetativo y también el peso seco de los nódulos.

Además, se observó que los pesos secos de los nódulos en la etapa vegetativa e inicios de floración (Cuadro 13) fueron mayores en la segunda fecha de siembra, y a su vez se encontraban todos activos (Cuadro 14), a diferencia de la primera fecha, donde no todos los nódulos se encontraron fijando nitrógeno. Esto debido a que las bajas temperaturas reducen la formación de nódulos y por lo tanto la fijación (Bordeleau y Prevost, 1994). Si bien se observa que a inicio de floración en la fecha de siembra 2 hay una mayor cantidad de nódulos activos estos tienden a bajar significativamente a inicio de llenado de granos, encontrándose la mayor cantidad de nódulos senescentes en esta fecha (Cuadro 14).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio se puede concluir que:

Los rendimientos en vaina y granos no varían por la inoculación con *Rhizobium* ni por la aplicación de nitrógeno, por lo tanto la inoculación permite suplir los requerimientos de nitrógeno de la planta.

Las diferencias en rendimiento se dan a nivel de cultivar en cada fecha de siembra. Además hay interacción “Fecha de Siembra x Cultivar”, y el tipo de respuesta depende si es rendimiento en grano o rendimiento en vaina, la fuente de nitrógeno no influyó, es así como:

- Retaca obtiene los mejores rendimientos en granos en la segunda fecha de siembra, además mantiene el mismo rendimiento al variar la fecha de siembra
- Verde Bonita logra los mejores rendimientos en vaina en la primera fecha de siembra, sin embargo disminuye sus rendimientos al atrasar la fecha de siembra.

El atraso en la fecha de siembra del cultivo de haba provoca una disminución en el crecimiento de las plantas, manifestándose en una menor acumulación de biomasa, producto de la reducción de la altura de planta y producción de folíolos.

La magnitud de la respuesta del rendimiento (en vainas y granos) y del crecimiento (biomasa) a la inoculación disminuye al atrasar la fecha de siembra, en el cultivar Retaca y Verde Bonita.

BIBLIOGRAFÍA

- ABI-GHANEM, R., L CARPENTER-BOGGS, J SMITH, and G. VANDEMARK. 2012. Nitrogen Fixation by US and Middle Eastern Chickpeas with Commercial and Wild Middle Eastern Inocula. ISRN Soil Science 2012, Article ID 981842
- AFIPA. 2009. Manual fitosanitario 2009. 973 p. Asociación Nacional de Fabricantes e Importadores de Productos Fitosanitarios Agrícolas (AFIPA), Santiago, Chile.
- ATLAS AGROCLIMATOLÓGICO DE CHILE. 1990. Regiones IV a IX. Publicación nº 87.
- AYAZ, S., B. MCKENZIE, G. HILL and D. MCNEIL. 2004. Variability in yield of four grain legume species in a subhumid temperate environment I. Yields and harvest index. Journal of Agricultural Science 142: 9-19.
- BAGINSKY, C. 2008. Haba en Chile, nuevas alternativas para su producción hortícola. Antumapu 6 (1-2).
- BAKER, J and V. REDDY. 2001. Temperature effects on phenological development and yield of muskmelon. Annals of Botany 87: 605-613.
- BARKER, S. and M. DENNETT. 2013. Effect of density, cultivar and irrigation on spring sown monocrops and intercrops of wheat (*Triticum aestivum* L.) and faba beans (*Vicia faba* L.). European Journal of Agronomy 51: 108-116.
- BASCUR, G. 1997. Adaptación de la variedad de haba (*Vicia faba* L.) Portuguesa-INIA para producción en grano seco y uso agroindustrial en la zona centro norte de Chile. Agricultura Técnica 57 (1): 70-76.
- BOOTE, K., M. MÍNGUEZ and F. SAU. 2002. Adapting the CROPGRO legume model to simulate growth of faba bean. Agronomy Journal 94: 743-756.
- BORDELEAU, L. and D. PREVOST. 1994. Nodulation and nitrogen fixation in extreme environments. In: Symbiotic Nitrogen Fixation. Springer Netherlands. pp. 115-125.
- BRAVO, A. y P. ALDUNATE. 1990. El cultivo del haba. El Campesino 121(5): 42-51.
- BRIONES, Y. 2009. Evaluación de dos cultivares de haba tipo “baby” (*Vicia faba* L.) bajo diferentes poblaciones para la industria de congelado. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 64 p.

- CAMPILLO, R., S. Urquiaga, I. Pino, y A. Montenegro. 2003. Estimación de la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas forrajeras mediante la metodología del ^{15}N . *Agricultura Técnica* 63: 169-179.
- COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO, CHILE. 1981. Estudio de suelos del Proyecto Maipo. (Ed) Agrológ Chile Limitada, Santiago, Chile. 10 volúmenes.
- CONFALONE, A. 2008. Crecimiento y desarrollo del cultivo del haba (*Vicia faba* L.). Parametrización del submodelo de fenología CROPGRO-FABABEAN. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Lugo, España.
- CONFALONE A., J. LIZASO, B. RUIZ-NOGUEIRA, F. LÓPEZ-CEDRÓN and F. SAU. 2010. Growth, PAR use efficiency, and yield components of field-grown *Vicia faba* L. under different temperature and photoperiod regimes. *Field Crops Research* 115:140-148.
- CONFALONE, A., BOOTE, K., LIZASO, J. and SAU, F. 2011. Temperature and photoperiod effects on phenology simulated by CROPGRO-Fababean. *Agronomy Journal* 103: 1036-1050.
- COSTA, W., M. DE DENNETT, U. RATNAWEERA and K. NYALEMEGBE. 1997. Effects of different water regimes on field-grown determinate and indeterminate faba bean (*Vicia faba* L.). I. Canopy growth and biomass production. *Field Crops Research* 49:83-93
- DÍAZ, M. 2011. Selección de individuos de un material F2 en haba potencialmente interesantes para la agroindustria. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 51p.
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA). 2013. disponible en: <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>. Leído el: 18 de Julio de 2013.
- DUC, G, 1997. Faba vean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research* 53 (1-3): 99-109
- EGUILLOR, P. y FLAÑO, A. 2011. Boletín estadístico de hortalizas frescas: superficie, precios y comercio exterior octubre 2011. ODEPA. 20p
- FAIGUENBAUM, H. 2003. Haba. pp. 425-468. In: Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Ediciones Vivaldi y Asociados. Santiago, Chile. 760p.
- FIA. 2010. Resultados y Lecciones en Producción de Habas tipo *Baby* Proyecto de Innovación en Zona Centro y Centro-sur. 34p.
- FIGUEROA, P. 2009. Efecto de dos fechas de siembra en tres cultivares de haba tipo "baby" (*Vicia faba* L.) de crecimiento determinado en la localidad de Rancagua. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 61p.

- GONZALES, C., C. BENAVIDES y M. VARNERO. 1993. Efecto de la fertilización química nitrogenada y de los abonos orgánicos sobre la nodulación y producción de haba (*Vicia faba* L.). *Simiente* 63(2): 98-102.
- GUADARRAMA, A., J. ESCALANTE, M. RODRÍGUEZ, P. SÁNCHEZ y E. SANDOVAL. 2007. Biomasa, proteína, taninos y rendimiento en haba en función del nitrógeno. *TERRA Latinoamericana* (25) 2:169-175.
- HARDARSON, G., and S. DANSON. 1993. Methods for measuring biological nitrogen fixation in grain legumes. *Plant and Soil* 152: 19-2.
- HARDARSON, G. and C. ATKINS. 2003. Optimising biological N₂ fixation by legumes in farming systems. *Plant and Soil* 252:41-54.
- HATAMI, H., A. AYENEHBAND, M. AZIZI and A. DADKHAH. 2009. Effect of fertilizer on growth and yield of soybean at north Khorasan. *Journal of Crop Production*, 2(2): 25- 42.
- HERRIDGE, D., M. PEOPLES and R. BODDEY. 2008. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant Soil* 311:1-18.
- HILL-COTTINGHAM, D. y LLOYD-JONES, C. 1980. The influence of nitrate supply on nitrogen fixation during growth of the field bean *Vicia faba* in sand. *Physiology Plantarum*. 48:116-120.
- KATERJI, N, M. MASTRORILLI, F. LAHMERC, F. MAALOUF and T. OWEIS. 2011. Faba bean productivity in saline–drought conditions. *European Journal Agronomy* 35:2-12.
- KELLMAN, A. 2008. *Rhizobium* inoculation, cultivar and management effects on the growth, development and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis doctoral, Lincoln University. Canterbury, New Zealand. 257p.
- KHAMOOSHI, H., N. MOHAMMADIAN, M. SAAMDALIRI and Z. FOROUGH. 2012. Study on Effect of Plant Density and Nitrogen on Yield and Yield Components of *Visia faba* (Faba Bean). *Journal of Ornamental and Horticultural Plants* 2 (3):161-167.
- KRARUP, A. 1983. Fechas de siembra y aplicación de nitrógeno sobre el rendimiento de haba (*Vicia faba* L.). *Agro Sur* 11 (2): 105-109.
- LABBÉ, S. 2008. Caracterización molecular de aislados silvestres de *Rhizobium* sp. y evaluación de la eficiencia de fijación simbiótica de nitrógeno en plantas de poroto. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile.

- LOSS, S., K. SIDDIQUE and L. MARTIN, 1997. Adaptation of faba bean (*Vicia faba* L.) to dryland Mediterranean-type environments II. Phenology, canopy development, radiation absorption and biomass partitioning. *Field Crops Research* 52:29-41.
- NADAL, S., M.T. MORENO y J.I. CUBERO. 2000. Nuevas variedades de haba de crecimiento determinado. *Agricultura*. 812:108-109.
- NADAL, S., M.T. MORENO y J.I. CUBERO. 2004. Habas (*Vicia faba* L.). pp. 211-229. *Las leguminosas de grano en la agricultura moderna*. (Ed.) Mundi-prensa. Madrid, España. 318 p.
- PEOPLES, M., D. HERRIDGE and J. LADHA 1995. Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production *Plant Soil* 174:2-28.
- OTIENO, P., J. MUTHOMI, G. CHEMINGWA and J. NDERITU. 2009. Effect of rhizobio inoculation, farmyard manure and nitrogen fertilizer on nodulation and yield of food grain legumes. *African Crops Science* 8: 305-312
- PICHARDO, J. 2010. Crecimiento y rendimiento de haba (*Vicia faba* L.) en ambientes contrastantes. Tesis doctoral. Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco, México.
- REYES, E. 1991. Efecto de la fertilización nitrogenada e inoculación con *Rizobium leguminosarium* biovar viceae en la nodulación y rendimiento de habas (*Vicia faba* L.). Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Quillota, Chile. 68p.
- RODRÍGUEZ, J., D. PINOCHET Y F. MATUS. 2001. Fertilización de los Cultivos. Ediciones LOM. Santiago, Talca, Valdivia. 117 p.
- RODRÍGUEZ, B. y M. LÓPEZ. 2009. Evaluación de la fertilización biológica del frijol con cepas nativas de *rhizobium* aisladas de un ultisol de la altiplanicie del estado guarico. *Agronomía Tropical* 59(4):381-386.
- SCHUMPP, O. and W. DEAKIN. 2010. How inefficient rhizobia prolong their existence within nodules. *Trends in Microbiology* 15(4):189-195.
- SOTO, C. 2009. Evaluación de tres cultivares de haba (*Vicia faba* L.) tipo “baby” de crecimiento determinado, bajo dos fechas de siembra en la zona de Talagante. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile, 50 p.
- TALADRIZ, L. y H. PINILLA. 2001. Fertilización de cultivos anuales en la zona sur de Chile. pp. 341-365. In: *Agenda del Salitre*. Sociedad química y minera de Chile S.A. 1515p.

- TAPIA, F., C. COVARRUBIAS y P. SEPULVEDA. 1995. El cultivo del haba. El Campesino 126 (6):24-36.
- THALJI, T. and SHALALDEH, G. 2006. Effect of planting date on faba vean (*Vicia faba* L.) nodulation and performance under semiarid conditions. World journal of Agricultural Sciences. 2 (4):477-482.
- URBANO, P. 2002. Fertilización mineral. pp.139-244 In: Fitotecnia, ingeniería de la producción agrícola. (Ed.) Mundi-Prensa. Madrid, España. 528p.
- URZUA, H., L. BARRALES, H. FAIGUENBAUM, M. GALVEZ, R. ORMAZABAL y R. PIZARRO. 2003. Fertilización nitrogenada de porotos verdes para uso agroindustrial en la zona central de Chile: Indicaciones preliminares. Ciencias e Investigación Agraria 30(1):57-60.
- URZUA, H. 2005. Beneficios de la Fijación Simbiótica de Nitrógeno en Chile. Ciencias e Investigación Agraria 32(2):133-150.
- VILLALOBOS, F., L. MATEOS, F. ORGAZ y E. FERERES. 2002. Nitrógeno, producción de los cultivos y fertilización nitrogenada. pp. 289-312. Fitotecnia: Bases y Tecnologías de la Producción Agrícola. (Ed.) Mundi-Prensa. Madrid, España. 496 p.
- WANG, D., S. Yang, F.Tang and H. Zhu. 2012. Symbiosis specificity in the legume-rhizobial mutualism. Cellular Microbiology 14(3):334-342.

ANEXOS

ANEXO I. Análisis de suelo

Localidad:	Talagante		Fecha muestreo:	11-4-2008
			Fecha informe:	21-4-2008
Fertilidad				
pH suspensión H ₂ O	1:2,5	8,1	Alcalino	
Conductividad eléctrica e	dS/m	2,2	Lev. Salino	
Materia orgánica	%	3,2	Medio	
Nitrógeno disponible (N)	ppm	25	Regular	
Fosforo disponible (P)	ppm	20	Adecuado	
Potasio disponible (K)	ppm	122	Regular	

ANEXO II. Condiciones climáticas de Talagante durante la temporada 2008.

Día	Mayo 2008			Junio 2008			Julio 2008		
	T. Mín.	T. Máx.	Precipitación	T. Mín.	T. Máx.	Precipitación	T. Mín.	T. Máx.	Precipitación
1	2.4	19.8	-	4.4	19.0	-	1.8	19.8	-
2	3.4	24.0	-	4.0	17.6	-	3.0	20.0	-
3	3.8	25.0	-	8.0	12.0	12.6	1.6	20.6	-
4	5.2	22.0	-	10.0	11.8	51.2	8.0	10.6	-
5	6.0	23.0	-	10.6	18.2	-	1.4	12.4	-
6	8.0	19.0	-	3.0	17.4	-	5.0	15.2	-
7	8.6	17.0	-	1.4	15.0	-	4.0	15.0	-
8	2.6	20.8	-	1.2	14.0	-	6.3	19.5	-
9	2.6	19.0	-	2.0	15.4	-	3.4	19.5	-
10	2.0	21.0	-	0.0	16.0	-	3.4	19.7	-
11	1.8	20.4	-	0.2	15.4	-	3.2	11.0	-
12	0.0	22.2	-	-0.4	16.6	-	3.3	9.5	15.0
13	0.6	20.4	-	-0.6	16.5	-	2.7	17.5	-
14	3.8	19.2	-	-0.3	17.8	-	3.0	20.0	-
15	2.0	22.0	-	-1.8	20.0	-	2.2	20.0	-
16	2.8	20.8	-	0.4	19.2	-	2.1	20.5	15.0
17	5.8	13.6	-	5.6	11.8	-	2.1	20.0	-
18	9.8	17.0	7.8	3.8	8.0	16.0	2.0	16.0	-
19	13.0	18.2	4.3	6.0	14.0	12.8	1.4	9.0	-
20	12.0	15.0	40.7	2.4	9.4	-	4.0	10.2	0.5
21	11.2	14.2	2.7	1.4	14.8	-	1.4	14.0	-
22	11.8	18.0	21.2	2.0	13.8	-	0.0	9.0	17.4
23	11.6	21.0	-	0.2	11.6	-	4.0	14.4	-
24	6.1	17.4	-	-0.2	11.4	-	2.0	15.1	-
25	7.0	12.6	-	3.4	14.8	-	6.0	15.0	-
26	9.0	11.6	44.2	0.2	16.0	-	-0.2	15.8	-
27	9.4	10.0	19.3	0.4	17.0	-	4.6	13.0	-
28	4.4	11.4	-	1.6	19.2	-	5.6	13.0	-
29	-0.8	16.6	-	2.4	18.2	-	1.4	15.4	-
30	-1.2	17.2	-	2.4	17.4	-	4.0	12.4	1.8
31	0.8	16.2	-				5.2	17.4	9.0

Continuación Anexo II. Condiciones climáticas de Talagante durante la temporada 2008.

Día	Agosto 2008			Septiembre 2008			Octubre 2008		
	T. Mín.	T. Máx.	Precipitación	T. Mín.	T. Máx.	Precipitación	T. Mín.	T. Máx.	Precipitación
1	10.2	12.0	38.4	5.2	18.0	-	3.4	20.6	-
2	10.0	17.0	-	5.8	11.8	2.8	4.0	19.4	-
3	6.2	18.0	-	6.6	12.4	-	8.4	18.0	-
4	8.0	12.8	4.3	6.8	13.6	-	4.2	22.0	-
5	0.4	16.4	-	7.4	13.0	-	5.2	21.6	-
6	1.2	15.6	-	1.3	18.2	-	4.4	27.4	-
7	3.0	17.2	-	3.8	16.8	-	6.8	24.8	-
8	0.8	20.0	-	4.0	19.2	-	9.0	18.0	-
9	4.0	19.8	-	6.0	16.0	-	9.8	20.8	-
10	6.0	13.4	-	7.0	18.0	-	9.4	13.8	-
11	8.6	14.6	-	3.0	18.4	-	7.6	17.4	-
12	0.0	19.0	-	2.4	22.4	-	6.2	15.4	-
13	4.0	13.4	-	5.0	23.0	-	5.8	16.2	-
14	7.2	14.4	10.0	4.2	22.8	-	2.6	21.2	-
15	8.4	11.4	73.0	4.4	26.4	-	4.0	24.2	-
16	8.8	14.6	-	5.6	26.4	-	6.0	25.0	-
17	2.2	16.6	-	5.6	18.0	-	6.0	27.5	-
18	6.6	12.0	0.6	9.2	18.6	-	8.3	28.0	-
19	5.0	14.8	-	4.2	22.4	-	8.2	26.2	-
20	1.0	14.8	-	4.8	26.2	-	8.2	23.4	-
21	1.0	15.6	-	6.2	28.6	-	5.4	24.6	-
22	0.0	16.2	-	10.8	17.6	-	6.2	24.0	-
23	4.6	13.6	-	9.0	20.4	-	5.4	26.4	-
24	0.0	19.2	-	6.0	25.0	-	7.4	23.5	-
25	1.0	20.0	-	6.8	14.0	1.0	9.0	14.8	-
26	3.6	13.0	2.4	8.8	16.0	-	7.8	23.8	-
27	9.0	15.6	11.4	9.0	18.8	-	8.2	19.0	-
28	2.2	17.8	-	6.4	20.0	-	6.8	21.2	-
29	5.2	22.0	-	4.0	23.6	-	7.2	26.4	-
30	4.0	24.8	-	9.0	12.6	-	7.0	23.4	-
31	4.0	18.2	-				8.4	21.8	-

APÉNDICES

APÉNDICE I. Cuadro de diferencias significativas en las variables de crecimiento.

Variable	Factor	Etapa vegetativa	Inicio de floración	Inicio llenado de granos	Cosecha
Altura Planta Fecha de siembra 1	Cultivar	*	*	*	*
	A. Nitrógeno	ns	ns	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns	ns	ns
Altura planta Fecha de siembra 2	Cultivar	ns	*	*	ns
	A. Nitrógeno	ns	ns	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns	ns	*
Número tallos Fecha de siembra 1	Cultivar	*	*	*	-
	A. Nitrógeno	ns	ns	ns	-
	C x A. Nitrógeno	ns	ns	ns	-
Número tallos Fecha de siembra 2	Cultivar	*	*	*	-
	A. Nitrógeno	ns	ns	*	-
	C x A. Nitrógeno	ns	ns	ns	-
Número foliolos Fecha de siembra 1	Cultivar	-	*	*	*
	A. Nitrógeno	-	ns	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	-	ns	ns	ns
Número foliolos Fecha de siembra 2	Cultivar	ns	ns	ns	ns
	A. Nitrógeno	*	ns	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns	ns	ns
Peso seco foliolos Fecha de siembra 1	Cultivar	*	*	ns	*
	A. Nitrógeno	ns	ns	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns	ns	ns
Peso seco foliolos Fecha de siembra 2	Cultivar	*	ns	*	ns
	A. Nitrógeno	ns	ns	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns	ns	ns
Peso seco tallos Fecha de siembra 1	Cultivar	ns	*	*	*
	A. Nitrógeno	ns	ns	ns	*
	C x A. Nitrógeno	ns	ns	ns	ns
Peso seco tallos Fecha de siembra 2	Cultivar	ns	ns	ns	ns
	A. Nitrógeno	ns	ns	*	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns	ns	ns
Peso seco vainas Fecha de siembra 1	Cultivar	-	-	*	*
	A. Nitrógeno	-	-	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	-	-	ns	ns
Peso seco vainas Fecha de siembra 2	Cultivar	-	-	ns	*
	A. Nitrógeno	-	-	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	-	-	ns	ns
Peso seco aéreo total Fecha de siembra 1	Cultivar	*	*	*	*
	A. Nitrógeno	ns	ns	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns	ns	ns
Peso seco aéreo total Fecha de siembra 2	Cultivar	*	ns	ns	ns
	A. Nitrógeno	ns	ns	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns	ns	ns

* Indica diferencias significativas ($p \leq 0,05$). ns= sin diferencias significativas. Abreviaciones: C= Cultivar; A. Nitrógeno= Aplicación de nitrógeno.

APÉNDICE II. Resultados variables de crecimiento de etapa vegetativa, inicio de floración e inicio de llenado de granos.

APÉNDICE IIa. Altura de la planta desde etapa vegetativa a inicio llenado de granos en la fecha de siembra 1.

Factor	Estado de desarrollo		
	Etapa vegetativa	Inicio de floración	Inicio llenado de granos
	cm		
Cultivar			
Retaca	15,8 b	39,6 b	61,3 b
Verde Bonita	17,4 a	51,3 a	67,7 a
Fuente de Nitrógeno			
Inoculante	16,7	43,8	64,4
Nitrógeno	16,6	46,9	63,5
Testigo	16,5	45,7	65,5

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada factor, indican diferencias significativas. Prueba de Tukey $p \leq 0,05$.

APÉNDICE IIb. Altura de la planta, desde etapa vegetativa a inicio llenado de granos en la fecha de siembra 2

Factor	Estado de desarrollo		
	Etapa vegetativa	Inicio de floración	Inicio llenado de granos
	cm		
Cultivar			
Retaca	25,2	38,5 b	49,8 b
Verde Bonita	26,0	42,6 a	56,5 a
Fuente de Nitrógeno			
Inoculante	25,7	40,5	52,4
Nitrógeno	25,6	40,6	53,1
Testigo	25,6	40,6	53,9

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada factor, indican diferencias significativas. Prueba de Tukey $p \leq 0,05$.

APÉNDICE IIc. Número de tallos por cultivar y fuente de nitrógeno, desde etapa vegetativa a inicio llenado de granos en la fecha de siembra 1 y 2.

Factor	Estado de desarrollo		
	Etapa vegetativa	Inicio de floración	Inicio llenado de granos
Fecha de siembra 1			
Cultivar			
Retaca	2,7 a	3,24 a	4,18 a
Verde Bonita	2,5 b	3,38 a	3,43 b
Fuente de Nitrógeno			
Inoculante	2,6	3,2	3,8
Nitrógeno	2,6	3,4	3,7
Testigo	2,5	3,4	3,8
Fecha de siembra 2			
Cultivar			
Retaca	1,99 a	1,89 a	3,18 a
Verde Bonita	1,72 b	1,62 b	2,68 b
Fuente de Nitrógeno			
Inoculante	1,81	1,60	2,98 ab
Nitrógeno	1,80	1,73	2,58 b
Testigo	1,97	1,93	3,24 a

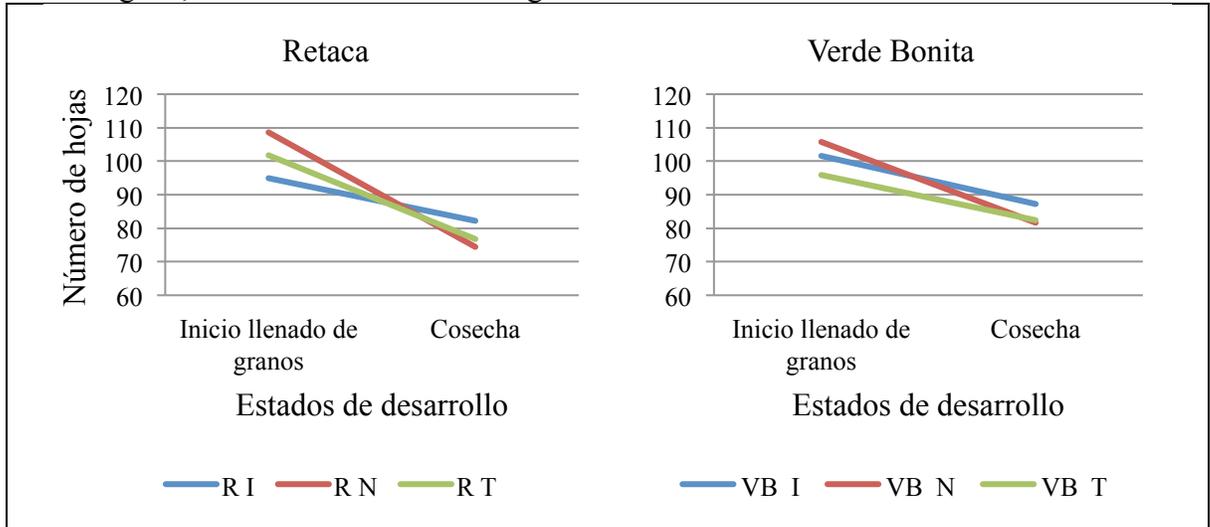
Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada fecha de siembra y factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE II. Número de foliolos, durante el desarrollo del cultivo, en la fecha de siembra 1 y 2.

Factor	Estado de desarrollo			
	Etapas vegetativa	Inicio de floración	Inicio llenado de granos	Cosecha
Fecha de siembra 1				
Cultivar				
Retaca	-	78,9 a	101,7 a	77,8 b
Verde Bonita	-	78,2 a	101,1 a	83,7 a
Fuente de Nitrógeno				
Inoculante	-	79,1	98,2	84,7
Nitrógeno	-	78,5	107,1	78,0
Testigo	-	78,0	98,9	79,6
Fecha de siembra 2				
Cultivar				
Retaca	31,6	50,5	73,3	77,5
Verde Bonita	30,9	48,8	71,6	73,0
Fuente de Nitrógeno				
Inoculante	28,9 b	49,1	70,8	73,5
Nitrógeno	33,4 a	48,0	70,5	75,7
Testigo	31,5 ab	51,9	76,1	76,5

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada fecha de siembra y factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IIe. Porcentaje de disminución del número de hojas desde inicio de llenado de granos a cosecha en la fecha de siembra 1, en los cultivares Retaca y Verde Bonita. Abreviaciones: R I= Retaca con inoculante; R N= Retaca con aplicación de nitrógeno; R T= Retaca testigo; VB I=Verde Bonita con inoculante; VB N= Verde Bonita con aplicación de nitrógeno; VB T= Verde Bonita testigo.



APÉNDICE III. Peso seco de los folíolos por planta durante el desarrollo del cultivo, en la fecha de siembra 1 y 2.

Factor	Estado de desarrollo			
	Etapas vegetativa	Inicio de floración	Inicio llenado de granos	Cosecha
g				
Fecha de siembra 1				
Cultivar				
Retaca	1,1 b	3,4 b	5,6	4,1 b
Verde Bonita	1,3 a	4,5 a	6,0	4,8 a
Fuente de Nitrógeno				
Inoculante	1,2	4,0	5,9	4,5
Nitrógeno	1,2	3,9	5,7	4,4
Testigo	1,2	3,9	5,9	4,4
Fecha de siembra 2				
Cultivar				
Retaca	1,8 b	3,0	4,4 b	4,4
Verde Bonita	2,0 a	3,2	4,9 a	4,7
Fuente de Nitrógeno				
Inoculante	1,8	3,2	4,9	4,3
Nitrógeno	2,0	3,1	4,2	4,5
Testigo	2,0	3,1	4,9	4,9

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada fecha de siembra y factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IIg. Peso seco de los tallos durante el desarrollo del cultivo, en la fecha de siembra 1 y 2.

Factor	Estado de desarrollo			
	Etapa vegetativa	Inicio de floración	Inicio llenado de granos	Cosecha
g				
Fecha de siembra 1				
Cultivar				
Retaca	1,4	5,1 b	13,7 b	13,9 b
Verde Bonita	1,5	8,0 a	14,8 a	17,3 a
Fuente de Nitrógeno				
Inoculante	1,4	6,5	14,1	16,2 a
Nitrógeno	1,5	6,5	14,2	15,8 a
Testigo	1,5	6,7	14,4	14,9 b
Fecha de siembra 2				
Cultivar				
Retaca	2,6	4,6	8,5	9,2
Verde Bonita	2,7	4,8	9,2	9,9
Fuente de Nitrógeno				
Inoculante	2,6	4,6	9,1 ab	8,7
Nitrógeno	2,7	4,8	7,9 b	9,6
Testigo	2,7	4,8	9,6 a	10,3

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada fecha de siembra y factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IIIh. Peso seco de las vainas por planta en durante el desarrollo del cultivo, en la fecha de siembra 1 y 2.

Factor	Estado de desarrollo	
	Inicio llenado de granos	Cosecha
g		
Fecha de siembra 1		
Cultivar		
Retaca	2,0 b	7,6 b
Verde Bonita	2,8 a	8,9 a
Fuente de Nitrógeno		
Inoculante	2,5	8,2
Nitrógeno	2,4	8,3
Testigo	2,5	8,3
Fecha de siembra 2		
Cultivar		
Retaca	2,8	7,7 a
Verde Bonita	2,6	6,7 b
Fuente de Nitrógeno		
Inoculante	2,8	7,0
Nitrógeno	2,6	7,3
Testigo	2,7	7,3

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada fecha de siembra y factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE Iii. Peso seco aéreo total por planta durante el desarrollo del cultivo, en la fecha de siembra 1 y 2.

Factor	Estado de desarrollo			
	Etapa vegetativa	Inicio de floración	Inicio llenado de granos	Cosecha
g				
Fecha de siembra 1				
Cultivar				
Retaca	2,5 b	8,8 b	21,4 b	25,7 b
Verde Bonita	2,8 a	12,5 a	23,7 a	30,9 a
Fuente de Nitrógeno				
Inoculante	2,7	10,5	22,4	28,9
Nitrógeno	2,7	10,4	22,3	28,5
Testigo	2,6	10,6	22,8	27,5
Fecha de siembra 2				
Cultivar				
Retaca	4,4 b	7,6	15,7	21,4
Verde Bonita	4,7 a	8,0	16,5	21,3
Fuente de Nitrógeno				
Inoculante	4,4	7,8	16,8	20,0
Nitrógeno	4,6	7,8	14,7	21,5
Testigo	4,7	7,8	16,8	22,5

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada fecha de siembra y factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE III. Análisis combinado de varianza para las variables de crecimiento

APÉNDICE IIIa. Altura de la planta desde etapa vegetativa a inicio llenado de granos, para la interacción “Fecha de Siembra x Cultivar x Fuente de Nitrógeno”, en la combinación de ambas fechas de siembra.

Interacción	Estado de desarrollo		
	Etapa vegetativa	Inicio de floración	Inicio llenado de granos
	cm		
Fecha de Siembra x Cultivar x Fuente de nitrógeno			
FS 1 x Retaca x Inoculante	15,9 b	38,4	62,9
FS 1 x Retaca x Nitrógeno	15,5 b	40,8	58,8
FS 1 x Retaca x Testigo	16,0 b	39,8	62,1
FS 1 x Verde Bonita x Inoculante	17,4 b	49,3	66,0
FS 1 x Verde Bonita x Nitrógeno	17,7 b	52,9	68,2
FS 1 x Verde Bonita x Testigo	17,0 b	51,6	69,0
FS 2 x Retaca x Inoculante	24,2 a	38,3	48,7
FS 2 x Retaca x Nitrógeno	26,3 a	38,5	50,3
FS 2 x Retaca x Testigo	25,2 a	38,7	50,4
FS 2 x Verde Bonita x Inoculante	27,2 a	42,7	56,1
FS 2 x Verde Bonita x Nitrógeno	25,0 a	42,7	55,8
FS 2 x Verde Bonita x Testigo	26,0 a	42,6	57,5

Letras diferentes en sentido vertical indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IIIb. Altura de la planta y altura inserción de la primera vaina a cosecha, para la interacción “Fecha de Siembra x Cultivar x Fuente de Nitrógeno”.

Interacción	cm	
	Altura planta	Altura 1° vaina
Fecha de Siembra x Cultivar x Acceso de nitrógeno		
Fecha de siembra 1 x Retaca x Inoculante	67,5 b	42,2 b
Fecha de siembra 1 x Retaca x Nitrógeno	68,8 b	43,5 b
fecha de siembra 1 x Retaca x Testigo	66,4 bc	42,5 b
Fecha de siembra 1 x Verde Bonita x Inoculante	80,3 a	52,5 a
Fecha de siembra 1 x Verde Bonita x Nitrógeno	80,7 a	54,0 a
Fecha de siembra 1 x Verde Bonita x Testigo	81,0 a	54,3 a
Fecha de siembra 2 x Retaca x Inoculante	49,1 f	29,7 d
Fecha de siembra 2 x Retaca x Nitrógeno	54,5 e	32,1 d
Fecha de siembra 2 x Retaca x Testigo	54,4 e	31,3 d
Fecha de siembra 2 x Verde Bonita x Inoculante	61,7 cd	41,2 bc
Fecha de siembra 2 x Verde Bonita x Nitrógeno	58,1 de	38,2 c
Fecha de siembra 2 x Verde Bonita x Testigo	61,5 cd	41,1 bc

Letras diferentes en sentido vertical indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IIIc. Número de tallos desde la etapa vegetativa hasta inicio de llenado de granos, en ambas fechas de siembra, para las interacciones de “Fecha de Siembra x Cultivar” y “Cultivar x Fuente de Nitrógeno”.

Interacción	Estado de desarrollo		
	Etapa vegetativa	Inicio de floración	Inicio llenado de granos
Fecha de Siembra x Cultivar			
FS 1 x Retaca	2,7	3,2 a	4,2
FS 1 x Verde Bonita	2,5	3,4 a	3,4
FS 2 x Retaca	2,0	1,9 b	3,2
FS 2 x Verde Bonita	1,7	1,6 b	2,7
Cultivar x Fuente de Nitrógeno			
Retaca x Inoculante	2,3	2,4	3,4 ab
Retaca x Nitrógeno	2,3	2,6	3,6 ab
Retaca x Testigo	2,4	2,7	4,0 a
Verde Bonita x Inoculante	2,1	2,3	3,4 abc
Verde Bonita x Nitrógeno	2,1	2,6	2,7 c
Verde Bonita x Testigo	2,1	2,6	3,1 bc

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada interacción, indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IIIId. Número de tallos productivos en la interacción “Fecha de Siembra x Cultivar”

Interacción	Número de tallos productivos	
	Cosecha	
Fecha de Siembra x Cultivar		
Fecha de siembra 1 x Retaca	2,5 b	
Fecha de siembra 1 x Verde Bonita	2,7 a	
Fecha de siembra 2 x Retaca	2,2 c	
Fecha de siembra 2 x Verde Bonita	2,0 d	

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IIIe. Número de foliolos, en los estados de inicio de floración e inicio de llenado de granos, en la combinación de ambas fechas de siembra.

Factor	Estado de desarrollo	
	Inicio de floración	Inicio llenado de granos
Fecha de Siembra		
Fecha de siembra 1	78,5 a	101,4 a
Fecha de siembra 2	49,6 b	72,5 b

Letras diferentes en sentido vertical indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IIIf. Número de foliolos para la interacción “Fecha de Siembra x Cultivar”, a cosecha.

Interacción	Número de foliolos	
	Cosecha	
Fecha de Siembra x Cultivar		
Fecha de siembra 1 x Retaca	77,8 ab	
Fecha de siembra 1 x Verde Bonita	83,7 a	
Fecha de siembra 2 x Retaca	77,5 ab	
Fecha de siembra 2 x Verde Bonita	73,0 b	

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IIIg. Número de nudos vegetativos y reproductivos del eje principal y los tallos, en la combinación de ambas fechas de siembra.

Factor	Eje central		Tallos
	Vegetativos	Reproductivos	Vegetativos
Fecha de Siembra			
Fecha de siembra 1	7,4 a	4,1	4,9 a
Fecha de siembra 2	6,3 b	3,9	4,2 b
Cultivar			
Retaca	6,3 b	3,8 b	4,2 b
Verde Bonita	7,4 a	4,2 a	4,9 a

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada factor, indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IIIh. Número de nudos reproductivos de los tallos, en la combinación de ambas fechas de siembra.

Interacción	Tallos
	Número de nudos reproductivos
Fecha de Siembra x Cultivar	
Fecha de siembra 1 x Retaca	4,0 a
Fecha de siembra 1 x Verde Bonita	4,2 a
Fecha de siembra 2 x Retaca	3,4 b
Fecha de siembra 2 x Verde Bonita	3,1 b

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IIIi. Número de nudos productivos y reproductivos totales por planta, en la combinación de ambas fechas de siembra.

Interacción	Número de nudos totales por planta		
	Reproductivos	Productivos	%
Cultivar x Fuente de Nitrógeno			
Retaca x Inoculante	15,5 abc	3,1 b	20,0
Retaca x Nitrógeno	17,4 ab	3,7 ab	21,3
Retaca x Testigo	17,7 a	3,7 ab	20,9
Verde Bonita x Inoculante	16,1 abc	4,0 a	24,8
Verde Bonita x Nitrógeno	15,1 c	3,5 ab	23,2
Verde Bonita x Testigo	15,3 bc	3,7 ab	24,2

Letras diferentes en sentido vertical indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IIIj. Peso seco de los folíolos, en la combinación de ambas fechas de siembra.

Factores	Estado de desarrollo		
	Etapa vegetativa	Inicio llenado de granos	Cosecha
Fecha de Siembra			
Fecha de siembra 1	1,2 b	5,8 a	4,4
Fecha de siembra 2	1,9 a	4,7 b	4,6
Cultivar			
Retaca	1,5 b	5,0 b	4,2 b
Verde Bonita	1,7 a	5,5 a	4,8 a
Fuente de Nitrógeno			
Inoculante	1,5	5,4 a	4,4
Nitrógeno	1,6	5,0 b	4,5
Testigo	1,6	5,4 ab	4,6

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada factor, indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IIIk. Peso seco de los folíolos en la interacción “Fecha de siembra x Cultivar”, a inicios de floración.

Interacción	Inicio de floración
	g
Fecha de Siembra x Cultivar	
FS 1 x Retaca	3,4 b
FS 1 x Verde Bonita	4,5 a
FS 2 x Retaca	3,0 c
FS 2 x Verde Bonita	3,2 bc

Letras diferentes en sentido vertical indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE III. Peso seco de los tallos por planta, en la combinación de las dos fechas de siembra, para la etapa vegetativa e inicio de llenado de granos.

Factor	Estado de desarrollo	
	Etapa vegetativa	Inicio llenado de granos
g		
Fecha de Siembra		
Fecha de siembra 1	1,5 b	14,2 a
Fecha de siembra 2	2,7 a	8,9 b
Cultivar		
Retaca	2,0	11,1 b
Verde Bonita	2,1	12,0 a

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada factor, indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE III_m. Peso seco de los tallos por planta, en la combinación de las dos fechas de siembra, para inicio de floración y cosecha.

Interacción	Estado de Desarrollo	
	Inicio de floración	Cosecha
	g	
Fecha de Siembra x Cultivar		
FS 1 x Retaca	5,1 b	13,9 b
FS 1 x Verde Bonita	8,0 a	17,3 a
FS 2 x Retaca	4,6 b	9,2 c
FS 1 x Verde Bonita	4,8 b	9,9 c
Fecha de Siembra x Fuente de Nitrógeno		
FS 1 x Inoculante	6,5	16,2 a
FS 1 x Nitrógeno	6,5	15,8 a
FS 1 x Testigo	6,6	14,9 a
FS 2 x Inoculante	4,6	8,7 c
FS 2 x Nitrógeno	4,8	9,6 bc
FS 2 x Testigo	4,8	10,3 b
Cultivar x Fuente de Nitrógeno		
Retaca x Inoculante	4,8	11,0 c
Retaca x Nitrógeno	4,8	12,3 bc
Retaca x Testigo	4,9	11,5 c
Verde Bonita x Inoculante	6,3	13,9 a
Verde Bonita x Nitrógeno	6,4	13,1 ab
Verde Bonita x Testigo	6,5	13,7 b

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada interacción, indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE III_n. Peso seco de las vainas en la combinación de ambas fechas de siembra, para la interacción “Fecha de siembra x Cultivar”.

Factor	Estado de desarrollo	
	Inicio llenado de granos	Cosecha
	g	
Fecha de Siembra x Cultivar		
FS 1 x Retaca	2,0 b	7,6 b
FS 1 x Verde Bonita	2,8 a	8,9 a
FS 2 x Retaca	2,8 a	7,7 b
FS 2 x Verde Bonita	2,6 a	6,7 c

Letras diferentes en sentido vertical indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IIIo. Peso seco total de las estructuras aéreas de la planta, en el desarrollo del cultivo, en la combinación de ambas fechas de siembra.

Factor	Estado de desarrollo			
	Etapa vegetativa	Inicio de floración	Inicio llenado de granos	Cosecha
g				
Fecha de Siembra x Cultivar				
FS 1 x Retaca	2,5	8,5 b	21,4	25,6 b
FS 1 x Verde Bonita	2,8	12,5 a	23,7	30,9 a
FS 2 x Retaca	4,4	7,6 c	15,7	21,4 c
FS 2 x Verde Bonita	4,7	8,0 bc	16,5	21,3 c
Fecha de Siembra x Fuente de Nitrógeno				
FS 1 x Inoculante	2,7	10,5	22,4	28,9 a
FS 1 x Nitrógeno	2,7	10,4	22,3	28,5 a
FS 1 x Testigo	2,6	10,6	22,8	27,5 a
FS 2 x Inoculante	4,4	7,8	16,8	20,0 b
FS 2 x Nitrógeno	4,6	7,8	14,7	21,4 b
FS 2 x Testigo	4,7	7,8	16,8	22,5 b
Cultivar x Fuente de Nitrógeno				
Retaca x Inoculante	3,3	8,0	18,4	22,1 b
Retaca x Nitrógeno	3,5	8,1	17,7	24,6 ab
Retaca x Testigo	3,6	8,0	19,5	23,8 ab
Verde Bonita x Inoculante	3,8	10,2	20,8	26,7 a
Verde Bonita x Nitrógeno	3,8	10,2	19,3	25,3 a
Verde Bonita x Testigo	3,7	10,4	20,2	26,3 a

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada interacción, indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE IV. Cuadro de diferencias significativas del rendimiento, componentes del rendimiento y caracterización de vainas y granos.

Variable	Factor	Fecha de siembra 1	Fecha de siembra 2
Número de vainas por planta	Cultivar	ns	*
	A. Nitrógeno	ns	*
	C x A. Nitrógeno	*	ns
Número de vainas por m ²	Cultivar	ns	*
	A. Nitrógeno	ns	*
	C x A. Nitrógeno	*	ns
Peso de vainas por planta	Cultivar	*	ns
	A. Nitrógeno	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns
Número de granos por vaina	Cultivar	*	*
	A. Nitrógeno	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns
Peso 100 granos	Cultivar	ns	ns
	A. Nitrógeno	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns
Número de granos por planta	Cultivar	ns	*
	A. Nitrógeno	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	*	ns
Número de granos por m ²	Cultivar	ns	*
	A. Nitrógeno	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	*	ns
Peso granos por planta	Cultivar	ns	*
	A. Nitrógeno	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns
Rendimiento en vainas (kg ha ⁻¹)	Cultivar	*	ns
	A. Nitrógeno	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns
Rendimiento en granos (kg ha ⁻¹)	Cultivar	ns	*
	A. Nitrógeno	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns
Rendimiento industrial	Cultivar	ns	*
	A. Nitrógeno	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns
Largo vaina	Cultivar	*	ns
	A. Nitrógeno	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	*
Ancho vaina	Cultivar	*	*
	A. Nitrógeno	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns
Largo grano	Cultivar	*	ns
	A. Nitrógeno	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns
Ancho grano	Cultivar	ns	ns
	A. Nitrógeno	ns	ns
	C x A. Nitrógeno	ns	ns

* Indica diferencias significativas ($p \leq 0,05$). ns= sin diferencias significativas. Abreviaciones: C= Cultivar; A. Nitrógeno= Aplicación de nitrógeno.

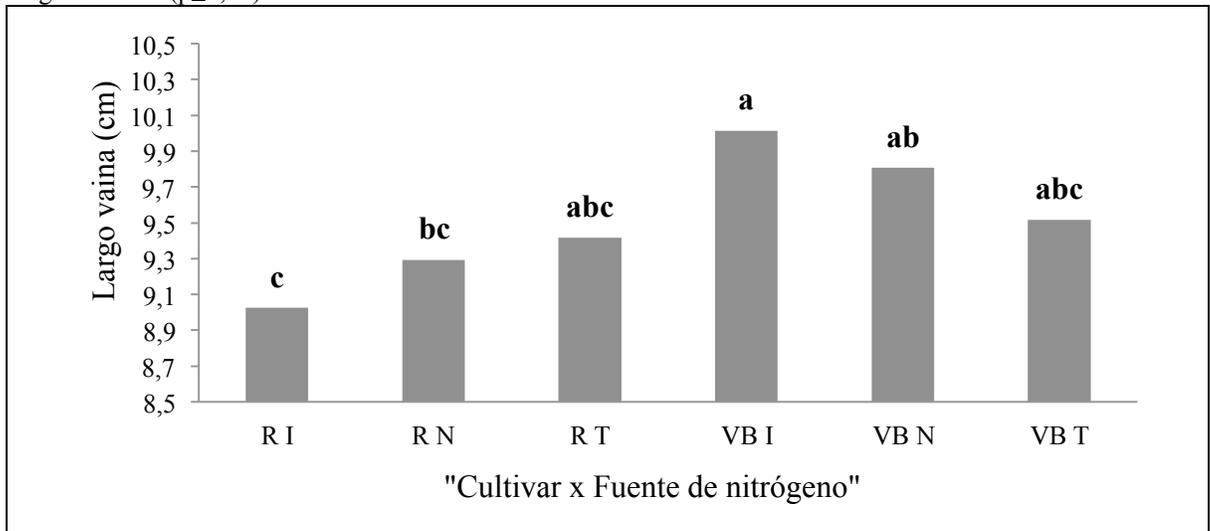
APÉNDICE V. Caracterización de vainas y granos en la fecha de siembra 1 y 2

APÉNDICE Va. Largo y ancho de granos y vainas en la fecha de siembra 1.

Factor	Vaina		Grano	
	Largo	Ancho	Largo	Ancho
cm				
Cultivar				
Retaca	9,9 b	1,3 b	1,42 b	1,06
Verde Bonita	10,8 a	1,5 a	1,47 a	1,06
Fuente de Nitrógeno				
Inoculante	10,3	1,4	1,44	1,06
Nitrógeno	10,3	1,4	1,45	1,05
Testigo	10,5	1,4	1,45	1,05

Letras diferentes en sentido vertical, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE Vb. Largo de las vainas en la fecha de siembra 2, para la interacción “Cultivar x Fuente de Nitrógeno”. R I= Retaca con inoculante; R N= Retaca con aplicación de nitrógeno; R T= Retaca testigo; VB I=Verde Bonita con inoculante; VB N= Verde Bonita con aplicación de nitrógeno; VB T= Verde Bonita testigo. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).



APÉNDICE Vc. Largo y ancho de granos y ancho de vainas en la fecha de siembra 2.

Factor	Vaina		Grano	
	Ancho	Largo	Ancho	Largo
cm				
Cultivar				
Retaca	1,2 b	1,39	0,99	
Verde Bonita	1,4 a	1,41	0,98	
Fuente de Nitrógeno				
Inoculante	1,3	1,39	0,99	
Nitrógeno	1,3	1,41	1,00	
Testigo	1,3	1,39	0,97	

Letras diferentes en sentido vertical, dentro década factor, indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE VI. Análisis combinado de varianza para rendimiento, componentes del rendimiento y caracterización de vainas y granos.

APÉNDICE VIa. Número de vainas por planta y por metro cuadrado, en la combinación de ambas fechas de siembra.

Interacción	Número de vainas	
	Planta	m ²
Fecha de Siembra x Cultivar		
Fecha de siembra 1 x Retaca	4,8 ab	134 ab
Fecha de siembra 1 x Verde Bonita	4,4 b	124 b
Fecha de siembra 2 x Retaca	5,0 a	140 a
Fecha de siembra 2 x Verde Bonita	3,8 c	107 c
Fecha de Siembra x Fuente de N		
Fecha de siembra 1 x Inoculante	4,8 a	135 a
Fecha de siembra 1 x Nitrógeno	4,6 ab	129 ab
Fecha de siembra 1 x Testigo	4,4 ab	124 ab
Fecha de siembra 2 x Inoculante	4,2 b	116 b
Fecha de siembra 2 x Nitrógeno	4,4 ab	124 ab
Fecha de siembra 2 x Testigo	4,7 a	131 a

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada interacción, indican diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE VIb. Peso de vainas por planta en la combinación de ambas fechas de siembra.

Interacción	Peso de vainas por planta
	g
Fecha de Siembra x Cultivar	
Fecha de siembra 1 x Retaca	36,1 b
Fecha de siembra 1 x Verde Bonita	40,6 a
Fecha de siembra 2 x Retaca	35,8 b
Fecha de siembra 1 x Verde Bonita	34,0 b

Letras diferentes en sentido vertical indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE VIc. Número de granos por vaina, en cultivar y tratamiento, en la combinación de ambas fechas de siembra.

Factor	Nº de granos por vaina
Cultivar	
Retaca	3,2 b
Verde Bonita	3,6 a
Fuente de Nitrógeno	
Inoculante	3,3 b
Nitrógeno	3,5 a
Testigo	3,4 ab

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada factor, indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE VIId. Peso y número de granos por planta de la interacción “Fecha de Siembra x Cultivar” en la combinación de ambas fechas.

Factor	Planta		
	Nº de granos	Nº granos m ⁻²	Peso granos (g)
Fecha de Siembra x Cultivar			
Fecha de siembra 1 x Retaca	14,9 ab	417 ab	11,5 a
Fecha de siembra 1 x Verde Bonita	15,9 a	445 a	12,4 a
Fecha de siembra 2 x Retaca	16,3 a	457 a	12,0 a
Fecha de siembra 2 x Verde Bonita	13,9 b	388 b	10,1 b

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE VIe. Largo y ancho de vainas en la combinación de ambas fechas de siembra.

Factor	Largo vaina	Ancho vainas
	cm	
Fecha de Siembra		
Fecha de siembra 1	10,3 a	1,4 a
Fecha de siembra 2	9,5 b	1,3 b
Cultivar		
Retaca	9,6 b	1,3 b
Verde Bonita	10,3 a	1,4 a

Letras diferentes en sentido vertical, dentro de cada factor, indican que existen diferencias significativas para análisis combinado de varianza ($p \leq 0,05$).

APÉNDICE VII. Matrices de correlaciones y probabilidades de rendimiento, componentes del rendimiento y variables de crecimiento. Abreviaciones: NGV= Número de granos por vaina; P100G= Peso de 100 granos; NVA= Número de vainas por metro cuadrado; NGR=Número de granos por metro cuadrado; RVA= Rendimiento en vaina (kg ha⁻¹); RGR= Rendimiento en grano(kg ha⁻¹); AP= Altura de la planta; NT= Número de tallos; NF= Número de foliolos; PST= Peso seco aéreo total; PSN= Peso seco nodulos.

Matriz de correlación/Coeficientes

	NGV	P100G	RVA	RGR	NVA	NGR	AP	NT	NF	PST	PSN
NGV	1.00										
P100G	-4.8E-04	1.00									
RVA	0.73	0.09	1.00								
RGR	-0.22	0.34	0.49	1.00							
NVA	0.07	-0.38	-0.59	-0.92	1.00						
NGR	-0.27	0.17	0.45	0.98	-0.89	1.00					
AP	0.93	0.01	0.43	-0.53	0.37	-0.59	1.00				
NT	0.58	-0.41	0.15	-0.57	0.52	-0.53	0.71	1.00			
NF	0.07	-0.38	-0.59	-0.92	1.00	-0.89	0.37	0.52	1.00		
PST	0.77	0.23	0.21	-0.61	0.41	-0.70	0.93	0.63	0.41	1.00	
PSN	-0.98	-0.10	-0.75	0.15	0.03	0.23	-0.88	-0.41	0.03	-0.74	1.00

Matriz de correlación/Probabilidades

	NGV	P100G	RVA	RGR	NVA	NGR	AP	NT	NF	PST	PSN
NGV											
P100G	0.9993										
RVA	0.1004	0.8721									
RGR	0.6755	0.5033	0.3285								
NVA	0.9023	0.4603	0.2216	0.0089							
NGR	0.5995	0.7469	0.3660	0.0005	0.0188						
AP	0.0075	0.9904	0.3938	0.2775	0.4655	0.2144					
NT	0.2299	0.4190	0.7776	0.2366	0.2926	0.2818	0.1167				
NF	0.9023	0.4602	0.2217	0.0089	<0.0001	0.0188	0.4655	0.2926			
PST	0.0727	0.6670	0.6951	0.2016	0.4201	0.1185	0.0067	0.1842	0.4201		
PSN	0.0006	0.8562	0.0856	0.7719	0.9544	0.6672	0.0193	0.4160	0.9545	0.0901	