

# Capacidad combinatoria general y específica de seis clones de alfalfa (*Medicago sativa* L.) para resistencia a *Meloidogyne* spp. y rendimiento en forraje<sup>1</sup>

Claudio Cafati K.<sup>2</sup> y Raúl Avendaño T.<sup>3</sup>

## INTRODUCCION

Los alfalfares del Llano Central de Chile han experimentado una notoria disminución en la longevidad, siendo una de las causas más importantes la acción de los nematodos. En este sentido *Ditylenchus dipsaci* (Kühn) Filipjev, y *Meloidogyne* spp. Göeldi, aparecen como la especie y el género de mayor importancia para el país.

El nematodo de la raíz (*Meloidogyne* spp. Göeldi) ataca desde el establecimiento a los alfalfares ubicados principalmente en suelos livianos, desde La Serena a Osorno (10). El síntoma más característico consiste en la deformación del sistema radicular con la formación de agallas. Las plantas que presentan estos síntomas se tornan amarillentas y marchitas. Por

lo general no se observa muerte de plantas, sino que una disminución de los rendimientos y recuperación más lenta de la pradera. Sin embargo, la muerte aislada de plantas observada en los suelos regados de la Zona Central ha sido explicada por Walters y Slack (23) postulando que en terrenos infestados de nematodos, éstos podrían ser los agentes transmisores de pudriciones de la raíz causadas por bacterias y hongos del género *Fusarium*.

Los nematodos se controlan principalmente a base de variedades resistentes. La variedad Ligüén de reconocido buen comportamiento en el país, bajo una alta población de nematodos no mantiene su población a un nivel aceptable más allá de dos temporadas (2).

El Proyecto Praderas de Riego del Instituto de Investigaciones Agropecuarias ha aislado algunos genotipos de alfalfa procedentes de la variedad Moapa, que mostraron una mayor persistencia bajo una alta población de nematodos<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Parte de la Tesis presentada por el autor principal como uno de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo en la Universidad de Chile.

Recepción manuscrito: 9 de abril de 1968.

<sup>2</sup>Ingeniero Agrónomo, Proyecto Leguminosas, Estación Experimental La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

<sup>3</sup>Ingeniero Agrónomo M. S., Proyecto Praderas de Riego y Producción Animal, Estación Experimental La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

<sup>4</sup>Segunda y Tercera Memoria Anual del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile, 1965-66, p. 108, y 1966-67, p. 120.

Con el objeto de determinar la acción génica que gobierna las características resistencia a *Meloidogyne* spp. y rendimiento en forraje en la época fría del año, y recomendar la combinación clonal que saque un mayor provecho de ella, en la presente investigación se estudió la capacidad combinatoria general y específica de seis clones de alfalfa según su comportamiento a las dos características mencionadas.

#### REVISION DE LITERATURA

En la mayoría de las plantas forrajeras de polinización cruzada donde el objetivo final del mejoramiento es la obtención de una variedad superior, una gran parte de los estudios se ha concentrado en evaluaciones de capacidad combinatoria (13).

Según Sprague y Tatum (20), la capacidad de un clon o una línea para transmitir caracteres superiores a su progenie, se denomina capacidad combinatoria. El comportamiento promedio de un determinado clon o línea en una serie de combinaciones híbridas se denomina capacidad combinatoria general, y el término capacidad combinatoria específica es usado para designar aquellos casos en los cuales ciertas combinaciones se comportan mejor o peor de lo que se esperaría a base del comportamiento promedio de los clones o líneas consideradas.

Sprague y Tatum (20) así como Rojas y Sprague (18), opinan que la capacidad combinatoria general puede ser considerada como una estimación de una acción génica del tipo aditivo, y la capacidad combinatoria específica como una estimación de los efectos de una acción génica no aditiva.

Según Carnahan *et al.* (5), es necesario conocer el tipo de acción génica tanto para rendimiento como para otros caracteres cualitativamente heredados, ya que de él depende el desarrollo eficiente de nuevas variedades de alfalfa.

En opinión de Tysdal, Crandall y Bliss (22), el máximo avance en la obtención de nuevas variedades de alfalfa y de otras plantas heterógamas se puede obtener solamente utilizando genotipos de alta capacidad combinatoria.

Jinks y Hayman (12), han descrito un método que permite la evaluación rápida de ciertas relaciones genéticas que entran en un cruzamiento dialelo. Esta información se usa en la identificación de híbridos promisorios. Además, la determinación de capacidad combinatoria general y específica, nos permite saber de qué manera están actuando los genes, si se trata de una acción aditiva o no aditiva y el grado de ésta (1).

Las técnicas de cruzamientos dialelos pueden variar, dependiendo de los genotipos in-

cluidos en la prueba; según esto, Griffing (9) establece cuatro métodos experimentales diferentes, cada uno con tres modelos.

Al estudiar la importancia relativa de la capacidad combinatoria general sobre la específica de cuatro caracteres fenotípicos, en un cruzamiento dialelo de seis clones de alfalfa, Kehr (14) determinó que el crecimiento en otoño y la recuperación después del corte estaban gobernados por una acción génica del tipo aditivo, mientras que rendimiento en forraje y crecimiento de primavera dependían de genes de tipo no aditivo.

En un cruzamiento dialelo que incluía nueve selecciones de alfalfa, Wilcox y Wilsie (24) encontraron que la capacidad combinatoria general era más importante que la específica para las características: hábito de crecimiento en otoño, rendimiento en forraje y vigor primaveral. Además, observaron diferencias marcadas entre los clones para los efectos de capacidad combinatoria general y específica, principalmente con respecto a rendimiento en forraje.

El reconocimiento del área de dispersión de *Meloidogyne* spp. en alfalfa y trébol rosado, realizado en 1962, constató la presencia de este parásito desde la provincia de Coquimbo a Llanquihue. En alfalfa el ataque más intenso se presentó en las provincias de Santiago, Valparaíso, Aconcagua y Coquimbo (10).

Según Willhite y Smith, citado por Reynolds (17), en suelos infestados de nematodos pueden presentarse problemas desde el establecimiento de las plántulas de alfalfa. El ataque se concentra en el sistema radicular con la formación de agallas en las raíces principales y raicillas; se produce entonces un detrimento en la altura de la planta, bajando la capacidad de producción tanto en cantidad como en calidad de forraje.

La relación parásito-huésped depende de la especie de *Meloidogyne* y del grado de resistencia de la planta a dicha especie. Esto último puede variar desde la total susceptibilidad a la inmunidad completa (6).

En las plantas susceptibles las larvas del nematodo penetran a las raíces y son capaces de desarrollarse y reproducirse, manifestándose los síntomas característicos de la enfermedad, o bien, debilitan la planta dejándola apta para el ataque de otras enfermedades (6).

En caso que las plantas no sean dañadas por el nematodo de la raíz, esto puede deberse, según Christie (6), a dos razones: a) la larva no es capaz de penetrar a las raíces, o b) la larva penetra, pero no es capaz de desarrollarse y reproducirse. En el primer caso se habla de plantas inmunes y en el segundo, de plantas resistentes.

Existen pocos antecedentes acerca de las características morfológicas y fisiológicas de las plantas que pueden condicionar la resistencia. Goplen y Stanford (8), estudiando la naturaleza de la resistencia en alfalfa al nematodo de la raíz, establecieron que la resistencia a *Meloidogyne hapla* se debía a la completa incapacidad de los nematodos para penetrar a las raíces de las plantas resistentes. Pero no se pudo determinar si esto era causado por una inhibición química o una barrera morfológica presentada por las raíces, ya que no encontraron diferencias estructurales entre las raíces de plantas susceptibles y resistentes.

Reynolds (17) y Stanford, Goplen y Allen (21), informaron haber encontrado fuentes de resistencia varietal a *Meloidogyne* spp. Según estos autores, con tales fuentes de resistencia y el conocimiento de su comportamiento genético, es posible emprender un programa de mejoramiento con el objeto de obtener una variedad de alfalfa resistente al nematodo de la raíz.

#### MATERIAL Y METODO

La investigación se realizó en la Estación Experimental La Platina del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, ubicada en terrenos de riego de la provincia de Santiago, desde julio de 1966 a septiembre de 1967.

El estudio de la capacidad combinatoria general y específica de los seis clones de alfalfa (L.P. C-27-62, L.P. C-3262, L.P. C-36-62, L.P. C-37-62, L.P. C-61-62 y L.P. C-76-62), tanto para reacción a *Meloidogyne* spp. como para rendimiento en forraje, se realizó mediante un cruzamiento dialélico siguiendo el método 3 informado por Griffing (9), el cual incluye los  $F_1$  directos, y los  $F_1$  recíprocos. Los cruzamientos entre los padres fueron realizados bajo condiciones de invernadero. Las flores se emascularon a mano usando succión según el método propuesto por Kirk, citado por Hayes (11), y modificado por Bahamonde (3). Las condiciones adecuadas de temperatura, humedad, fertilidad y fotoperíodo mantenidas durante esta labor, aseguraron una permanente existencia de flores. Las semillas provenientes de los cruzamientos fueron cosechadas en su madurez, cuatro semanas después de la polinización.

La mitad del material obtenido fue asignado al estudio de capacidad combinatoria general y específica para rendimiento en forraje, y el resto, al estudio de capacidad combinatoria general y específica con respecto a *Meloidogyne* spp.

Plántulas provenientes de los 30 genotipos obtenidos, y previamente criadas en invernadero, fueron trasplantadas al campo a comienzos de 1967 y organizadas según el diseño de

Lattice Rectangular de  $5 \times 6$  con tres repeticiones. Los cruzamientos simples incluidos en cada repetición ocuparon una hilera de cuatro metros de largo con plantas espaciadas a 0,20 metro. Entre línea se consideró una separación de 0,5 metro.

Se prefirió germinar este material en bandejas metálicas y bajo condiciones de invernadero, para luego trasplantarlas al campo cuando tenían tres a cuatro hojas verdaderas, con el fin de asegurar la población del ensayo.

La información de rendimiento, en toneladas de materia seca por hectárea, se obtuvo mediante cortes realizados cuando las plantas alcanzaron un 10% de flor, o una altura de 0,50 metro, o cuando los rebrotes provenientes de la corona tenían 0,05 metro. En cada hilera se cosecharon dos metros, descartándose un metro de borde en cada extremo. En el momento del trasplante se aplicaron 15 unidades de N y 92 unidades de  $P_2O_5$  por hectárea. Los riegos se efectuaron normalmente de acuerdo a las condiciones climáticas. Se hicieron dos aplicaciones de Malathion 57% (L) al 2‰, para el control de larvas e insectos masticadores.

El estudio de capacidad combinatoria general y específica para resistencia a *Meloidogyne* spp., se realizó en tres mesones de invernadero llenos de arena previamente esterilizada con bromuro de metilo. Además, contaban con cables calentadores a 15 cm. de profundidad. El inóculo consistió en una mezcla de agallas, previamente partidas, de raíces de plantas fuertemente atacadas de nematodos de la raíz, y que en un 85% provenían de tomates de la zona de Vicuña y en un 15% de trébol rosado de la Estación Experimental La Platina. Con la colaboración del laboratorio de Nematología del Instituto, se pudo determinar en el inóculo las siguientes especies de nematodos de la raíz: *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood, *Meloidogyne arenaria* (Neal) Chitwood, *Meloidogyne javanica* (Treub.) Chitwood y *Meloidogyne hapla* Chitwood.

La inoculación del suelo se efectuó siguiendo el método descrito originalmente por Barrons (4). Se hicieron, además, dos determinaciones tendientes a evaluar la población de nematodos existentes en la arena de los mesones y en las raíces de las plantas. Una vez inoculados los mesones, se procedió a sembrar la progenie del cruzamiento dialélico, organizándose el material experimental en un ensayo de líneas según el diseño de Lattice Rectangular de  $5 \times 6$  y con tres repeticiones. Se sembraron 10 semillas a 0,10 m. de distancia sobre la línea y a 0,25 m. entre hileras. La semilla se puso a 1,5 cm. de profundidad y sobre el surco donde se depositó el inóculo, de manera tal, que desde el estado de plántula hubo un contacto directo de las raíces con el inóculo.

Después de cuatro meses creciendo bajo una alta población de nematodos, se procedió a desenterrar las plantas, tratando de conservar el sistema radicular lo más completo posible. Posteriormente, éste fue analizado en el laboratorio de Nematología, donde se determinó el número de plantas atacadas por línea, considerando la presencia de deformaciones radiculares o agallas. Además, se puso una nota del ataque a base del "Índice de Nematodo de la Raíz"<sup>1</sup>, descrito por Smith y Taylor (19). Luego, considerando un número uniforme de ocho plantas por línea, se determinó el peso de cada una en gramos de materia seca de follajes y raíces.

**Análisis Estadístico.** Como se expresó anteriormente, el diseño experimental usado en ambos ensayos fue un Ládice Rectangular de  $5 \times 6$  con tres repeticiones que siguió al modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \pi_k + \varepsilon_{ijk}$$

donde:

- $\mu$  = Media verdadera de la población.
- $\tau_i$  = Efecto diferencial asociado a tratamientos. Fijo,  $i$  va de 1 a 30.
- $\beta_j$  = Efecto diferencial asociado a bloques incompletos. Aleatorio,  $j$  va de 1 a 6.
- $\pi_k$  = Efecto diferencial asociado a repeticiones. Fijo,  $k$  va de 1 a 3.
- $\varepsilon_{ijk}$  = Error entre bloques. Aleatorio.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 1 se incluyen los cuadrados medios obtenidos del análisis de capacidad combinatoria general y específica, para producción en forraje de cuatro cortes, realizados en otoño, invierno y principios de primavera, además de su rendimiento total correspondiente. En el Cuadro 2 se presentan los cuadrados medios obtenidos del análisis de capacidad combinatoria general y específica correspondiente a peso seco de follaje, peso seco de raíces y número de plantas atacadas por *Meloidogyne* spp.

Considerando el Cuadro 1 se puede apreciar que los valores obtenidos para capacidad combinatoria general y específica, fueron altamente significativos (a nivel de 0,01) para los cuatro cortes y para el rendimiento total de forraje. Sin embargo, los valores calculados para capacidad combinatoria general fueron

mayores que para capacidad combinatoria específica, en el primero, segundo y tercer cortes, y en el rendimiento en forraje total del período controlado. En cambio, en el cuarto corte, realizado a entradas de primavera cuando las condiciones ambientales eran más favorables para el crecimiento de la alfalfa, capacidad combinatoria específica presentó un valor mayor que el calculado para capacidad combinatoria general.

Lo expuesto sugiere que el rendimiento en forraje producido por el material bajo estudio durante el tiempo frío de otoño e invierno, estaría más bien controlado por genes de tipo aditivo, y que el rendimiento en forraje a principio de primavera sería gobernado por genes del tipo aditivo y no aditivo, siendo más importantes estos últimos. Esto estaría de acuerdo con Daday (7) y Kehr (14), quienes informaron que el crecimiento en tiempo frío estaba controlado por genes del tipo aditivo y el crecimiento bajo condiciones favorables, por genes de tipo aditivo y no aditivo.

En el Cuadro 2, se determinaron valores significativos (a nivel de 0,01) de capacidad combinatoria general para peso seco de follaje, raíces y plantas atacadas por *Meloidogyne* spp. Además, se obtuvieron efectos recíprocos significativos al nivel de 0,05 y 0,01, para las características peso seco de follaje y plantas atacadas por *Meloidogyne* spp., respectivamente. En cambio, no se observaron valores significativos para capacidad combinatoria específica en ninguna de las tres características consideradas en el ensayo de reacción al nematodo de la raíz.

Si se considera que peso seco de follaje está controlado por genes de tipo aditivo (Cuadro 2), ello no estaría de acuerdo con lo expresado por los autores mencionados (7, 14), ya que en el invernadero imperaron condiciones de temperatura favorables para el desarrollo de la alfalfa. Sin embargo, si consideramos que la información de peso seco de follaje fue obtenida en el momento de desenterrar las plantas de los mesones, es decir, a los 108 días después de sembradas, podría inferirse que esta determinación correspondería más bien a una estimación del vigor de plántula, que a una medición del crecimiento bajo condiciones favorables. Luego, se desprendería que el vigor de establecimiento está controlado por genes del tipo aditivo, información que concuerda perfectamente con lo observado por Carnahan *et al.* (5) referente a esta característica.

Finalmente, de la información analizada se deriva que la resistencia al nematodo de la raíz del material en estudio, estaría gobernada por genes del tipo aditivo.

<sup>1</sup>Donde: 0 = sin infección; 1 = indicio de infección; 2 = infección ligera; 3 = infección moderada, y 4 = infección alta.

Cuadro 1 — Cuadrados medios obtenidos en el análisis de capacidad combinatoria del rendimiento en forraje de cuatro cortes obtenidos durante el otoño, invierno y principios de primavera de 1967, en la progenie de un cruzamiento dialelo formado por seis clones de alfalfa.

FUENTES DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS				
		CORTES				RENDIMIENTO TOTAL
		3-IV-67	8-V-67	30-VI-67	14-IX-67	
C. C. General	5	0,0336*	0,0558*	0,0179*	0,0289*	0,4889*
C. C. Especifica	9	0,0163*	0,0148*	0,0095*	0,0495*	0,1792*
Efectos Recíprocos	15	0,0058	0,0077	0,0023	0,0082	0,0702
Error	43	0,0052	0,0051	0,0022	0,0054	0,0540

\*A nivel de 0,01.

Cuadro 2 — Cuadrados medios obtenidos en el análisis de capacidad combinatoria de peso seco de follaje, de raíces y plantas atacadas por *Meloidogyne* spp. en la progenie de un cruzamiento dialelo formado por seis clones de alfalfa.

FUENTES DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADOS MEDIOS		
		PESO SECO FOLLAJE 29-IX-67	PESO SECO RAICES 29-IX-67	PLANTAS ATACADAS POR <i>Meloidogyne</i> spp. 27-IX-67
C. C. General	5	2,554**	2,922**	0,036**
C. C. Especifica	9	0,134	0,168	0,013
Efectos Recíprocos	15	0,471*	0,487	0,026**
Error <sup>1</sup>	43	0,211	0,338	0,010

\*A nivel de 0,05.

\*\*A nivel de 0,01.

<sup>1</sup>El error calculado para analizar la capacidad combinatoria de la última característica se obtuvo de la siguiente manera: 
$$\frac{1}{30-1} \left( \frac{\sum r_i}{\sum r_i} - \frac{\sum r_i^2}{\sum r_i} \right)$$

C. M. totales

donde  $r_i$  = número total de plantas, con 654 grados de libertad.

Cuadro 3 — Estimación de los efectos de capacidad combinatoria general ( $\hat{g}_i$ ) para rendimiento en forraje de cuatro cortes realizados en otoño, invierno y primavera de 1967, en la progenie de un cruzamiento dialelo formado por seis clones de alfalfa.

CLONES	EFECTOS DE CAPACIDAD COMBINATORIA GENERAL ( $\hat{g}_i$ )				
	CORTES				RENDIMIENTO TOTAL
	3-IV-67	8-V-67	30-IV-67	14-IX-67	
C - 1	- 0,038	- 0,005	0,042	0,195	0,187
C - 2	- 0,020	- 0,058	- 0,057	- 0,069	- 0,239
C - 3	- 0,043	- 0,059	- 0,039	- 0,098	- 0,224
C - 4	- 0,016	- 0,034	- 0,007	- 0,057	- 0,111
C - 5	0,104	0,155	0,068	0,029	0,387
C - 6	0,012	0,016	- 0,007	- 0,002	- 0,001
Error estandar					
E. S. ( $\hat{g}_i - \hat{g}_j$ )	0,051	0,050	0,033	0,052	0,164

Al analizar los resultados del Cuadro 3, donde se presentan los efectos principales de capacidad combinatoria general para rendimiento en forraje por corte y por clon, se desprende que el clon C-5 es el que mejor se comportó, tanto en tiempo frío como a entradas de primavera. El clon C-1, que tiene un comportamiento significativamente inferior en los dos primeros cortes, mejora notablemente a fines de invierno y principios de primavera, lo que indicaría que este genotipo tiene un lento establecimiento o no crece bien a bajas temperaturas. Sin embargo, manifiesta un mejor comportamiento bajo condiciones más favorables de crecimiento. El clon C-6 demostró tener un excelente establecimiento, decayendo en la segunda mitad del período controlado. En general, los demás clones demostraron ser inferiores, siendo el clon C-3 el de más bajo rendimiento en todos los cortes realizados.

Con respecto a la reacción a *Meloidogyne* spp. por parte de los genotipos estudiados, como se observa en el Cuadro 4, hubo una mayor proporción de plantas sanas en las progenies que se originaron en los clones C-2, C-3 y C-4, ya que dichos clones presentaron un efecto principal de capacidad combinatoria general positivo y significativamente superior a los clones C-5 y C-1.

Cuadro 4 — Estimación de los efectos de capacidad combinatoria general ( $\hat{g}_i$ ) para peso seco de follaje, peso seco de raíces y plantas atacadas por *Meloidogyne* spp., en la progenie de un cruzamiento dialélico formado por seis clones de alfalfa.

CLONES	EFECTOS DE CAPACIDAD COMBINATORIA GENERAL ( $\hat{g}_i$ )		
	PESO SECO FOLLAJE	PESO SECO RAICES	PLANTAS ATACADAS POR <i>Meloidogyne</i> spp.
C — 1	0,6212	0,1153	— 0,0909
C — 2	— 0,0964	0,2102	0,0404
C — 3	— 0,4574	— 0,6687	0,0389
C — 4	— 0,3314	— 0,3142	0,0774
C — 5	0,7829	1,0382	— 0,0695
C — 6	— 0,5190	— 0,3806	0,0038
Error estandar			
E. S. ( $\hat{g}_i - \hat{g}_j$ )	0,3248	0,4111	0,0721

Al observar, sin embargo, la información presentada con respecto a peso seco de raíces, se puede deducir que bajo las condiciones en

que se realizó esta investigación, las combinaciones que incluían aquellos clones menos resistentes no mostraron un menor desarrollo en su sistema radicular. Los resultados sugieren que el clon C-5 y sus combinaciones presentaron un mayor desarrollo radicular; en segundo lugar, el clon C-2, siendo el de menor desarrollo el clon C-3. Además, el análisis anterior induciría a sospechar la existencia de un alto índice de correlación positiva entre desarrollo radicular y producción de follaje.

Es importante señalar que la intensidad de ataque observada en todos los cruzamientos fue bastante baja, clasificándose dentro del grado "indicios de infección a infección ligera", según el Índice de Ataque de Nematodo de la Raíz, de Smith y Taylor (19). Las deformaciones radiculares o agallas observadas fueron escasas, de reducido tamaño y, en su mayoría, se presentaron secas. Según Christie (6) esto puede ocurrir cuando los nematodos penetran a las raíces de plantas que presentan algún tipo de resistencia. En ella, las larvas viven sólo por un corto tiempo, por lo que el daño que producen es leve.

Se dijo anteriormente que capacidad combinatoria específica fue significativa para rendimiento en forraje. Al respecto, en el Cuadro 5 se incluyen los valores estimativos correspondientes. Observando estos valores se pueden notar a simple vista grandes diferencias entre los cruzamientos estudiados. En los cuatro cortes y en el rendimiento total, se pudo determinar que las combinaciones C-4  $\times$  C-5, C-5  $\times$  C-6, C-1  $\times$  C-6, C-2  $\times$  C-3 y C-1  $\times$  C-4 presentaron los coeficientes de capacidad combinatoria específica positivos más elevados, en cuanto a producción de forraje se refiere. La combinación C-4  $\times$  C-5 fue significativamente superior a los demás cruzamientos simples en tres cortes y en el total; sólo en el primer corte es estadísticamente inferior a la combinación C-5  $\times$  C-6. En un plano inferior, aun con valores positivos, vale la pena mencionar las combinaciones C-3  $\times$  C-6 y C-1  $\times$  C-2. En cambio, los cruzamientos simples C-1  $\times$  C-5, C-2  $\times$  C-5, C-2  $\times$  C-6 y C-3  $\times$  C-4 presentaron los valores negativos más elevados, sugiriendo la posibilidad de una baja producción de forraje.

En cuanto al ensayo de invernadero ya se informó la falta de valores significativos relacionados con capacidad combinatoria específica. El hecho de que tanto plantas atacadas con *Meloidogyne* spp. como peso seco de follaje hayan demostrado efectos recíprocos significativos, sugiere la presencia de efecto maternal asociado a resistencia a *Meloidogyne* o cierto grado de autofecundación por parte de los clones cuando actuaban como hembras.

Cuadro 5 — Estimación de los efectos de capacidad combinatoria específica ( $\hat{s}_{ij}$ ) para rendimiento en forraje de cuatro cortes realizados en otoño, invierno y principios de primavera de 1967, en la progenie de un cruzamiento dialélico formado por seis clones de alfalfa.

CLONES	CORTES	CLONES				
		c-2	c-3	c-4	c-5	c-6
C-1	3-IV-67	- 0,009	- 0,011	0,063	- 0,105	0,063
	8- V-67	0,003	0,009	0,061	- 0,151	0,080
	30-VI-67	0,016	- 0,008	0,021	- 0,102	0,073
	14-IX-67	- 0,031	- 0,006	0,037	- 0,111	0,111
	R. total	- 0,049	- 0,001	0,194	- 0,480	0,336
C-2	3-IV-67		0,074	- 0,013	- 0,023	- 0,027
	8- V-67		0,067	- 0,020	- 0,009	- 0,039
	30-VI-67		0,051	- 0,017	- 0,003	- 0,047
	14-IX-67		0,018	0,009	- 0,022	- 0,024
	R. total		0,197	- 0,022	- 0,024	- 0,104
C-3	3-IV-67			- 0,058	- 0,021	0,017
	8- V-67			- 0,033	- 0,049	0,006
	30-VI-67			- 0,028	- 0,030	0,014
	14-IX-67			- 0,015	0,034	- 0,019
	R. total			- 0,142	- 0,059	0,005
C-4	3-IV-67				0,104	- 0,096
	8- V-67				0,124	- 0,132
	30-VI-67				0,100	- 0,076
	14-IX-67				0,074	- 0,093
	R. total				0,385	- 0,415
C-5	3-IV-67					0,442
	8- V-67					0,085
	30-VI-67					0,036
	14-IX-67					0,036
	R. total					0,178
Error estandar		3-IV-67	8-V-67	30-VI-67	14-IX-67	R. total
E. S. ( $\hat{s}_{ij}-\hat{s}_{ik}$ )		0,088	0,086	0,057	0,090	0,285
E. S. ( $\hat{s}_{ij}-\hat{s}_{kl}$ )		0,072	0,071	0,047	0,072	0,232

La información obtenida en este estudio indicó que rendimiento en forraje en otoño, invierno y principio de primavera, importante componente en el rendimiento total, estaría controlado por genes de tipo aditivo, y aditivo y no aditivo, respectivamente. Además, el estudio de reacción al nematodo de la raíz sugiere la idea que resistencia a *Meloidogyne* estaría gobernada por genes de tipo aditivo; luego, y de acuerdo con Tysdal *et al.* (22) y Pearson y Elling (15, 16), se deduciría que la combinación clonal que sacaría más provecho de los genotipos considerados sería un sintético. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de desarrollar, además, un cruzamiento simple entre los clones C-4 y C-5. Al respecto, el estudio de la capacidad combinatoria general y específica de este material durante el ve-

rano, arrojará más luz en relación a esta alternativa.

A base de los resultados obtenidos hasta el momento parece aconsejable incluir en un sintético: el clon C-5, por su alto efecto de capacidad combinatoria general y específica en producción de forraje; el clon C-4 por su alto índice de capacidad combinatoria general para resistencia al nematodo de la raíz; los clones C-6 y C-1 por su buen establecimiento y rendimiento en tiempo frío y por su destacado comportamiento bajo condiciones favorables de crecimiento, respectivamente. Finalmente el clon C-2 debería también ser incluido por su alta resistencia a nematodos y por presentar una mayor tolerancia a Mildew (*Pezizomyces trifoliorum*).

## R E S U M E N

Con el objeto de determinar la acción génica que gobierna las características resistencia a *Meloidogyne* spp. y rendimiento en forraje durante la época fría del año, y recomendar la combinación clonal que obtenga mayor provecho de ella, se estudió la capacidad combinatoria general y específica en la progenie de un cruzamiento diallelo compuesto por seis clones de alfalfa. Estos genotipos fueron seleccionados desde la variedad Moapa, por su alta tolerancia a nematodos y su capacidad para transmitir esta característica a su progenie.

En este estudio se usó el método 3 modelo 1 informado por Griffing (9), utilizando, tanto en el ensayo de rendimiento en forraje realizado en el campo como en el de reacción a *Meloidogyne* spp. realizado en el invernadero, el diseño de Lattice Rectangular de  $5 \times 6$  con tres repeticiones.

Los valores obtenidos en el análisis de capacidad combinatoria general y específica sugieren que el rendimiento en forraje producido en otoño e invierno, estaría controlado por genes de tipo aditivo y que el rendimiento en forraje a principio de primavera estaría gobernado por genes de tipo aditivo y no aditivo, siendo más importante este último.

En relación con la misma característica, la estimación de los efectos principales de ccc indicó diferencias entre los clones en estudio desde el efecto de un clon que demostró altos índices durante todo el período, hasta clones que tuvieron un comportamiento significativamente inferior. Sin embargo, un genotipo demostró un buen comportamiento durante los dos primeros cortes y otro genotipo sobresalió sólo a mediados de invierno y a principio de primavera. Al estimar los efectos principales de cce se determinó una combinación superior en tres de los cuatro cortes realizados, en la que uno de los padres se destacó por su alto efecto de ccc para rendimiento en forraje y el otro por su alto índice de ccc para resistencia a nematodos.

En cuanto a reacción a *Meloidogyne* spp. la resistencia de este material parecería estar controlada por genes de tipo aditivo. Aunque no se detectaron efectos específicos significativos, se encontraron diferencias recíprocas, las que sugieren la presencia de efectos maternos o cierto grado de autofecundación.

A base de esta información preliminar, se recomienda un sintético que contenga cinco de los seis clones estudiados. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de desarrollar, además, una combinación formada por dos genotipos.

## S U M M A R Y

A general and specific combining ability study was done on the progeny of a six clone alfalfa diallel cross. This study was done to determine the gene action controlling forage yield and resistance to *Meloidogyne* spp. during the cool season in central Chile.

The genotypes herein considered were selected from the open-pollinated variety Moapa on the basis of their resistance to nematodes and their ability to transfer this trait to their progeny.

For this study, Griffing's Method 3, Model I was used on both: the yield determination in the field and the reaction to *Meloidogyne* spp. under greenhouse conditions. Both experiments were organized in a Rectangular Lattice design, including three replications.

The mean squares values obtained in the analysis for GCA and SCA suggested that forage yield in the Fall and Winter was controlled by additive gene action. Also this same character was found to be controlled by both additive and non-additive gene action in early spring.

This study also yielded large differences between clones for GCA main effects. One clone had high positive values throughout this study, while three other clones had negative GCA values and significantly inferior performance. Still another genotype demonstrated a high GCA main effect only for the first two cuttings, and the remaining clone had negative values for the first two cuttings but the values were positive for middle winter and early spring crops.

The determination of SCA main effects indicated a superior two clone combination in three out of four cuttings. One of the parental clones also had an outstanding GCA main effect for forage yield, while the other had a high GCA main effect for nematode resistance.

Regarding *Meloidogyne* spp. the resistance offered by these genotypes was controlled by additive gene action. Also no specific effects were detected, significant reciprocal differences resulted, suggesting either maternal effects or some selfing occurred during crossing.

Considering the data accumulated in this preliminary report, it is suggested that a synthetic combination including five of the six original clones be investigated. The possibility of developing a two clone combination should also be considered.

#### LITERATURA CITADA

1. ALLARD, W. R. Estimation of propotency from lima bean diallel cross data. *Agronomy Journal* 48 (12): 537-548. 1956.
2. AVENDAÑO T., R. y GUIÑEZ S., A. Comportamiento de diez variedades de alfalfa bajo una alta población de nematodos. *Agricultura Técnica (Chile)* 26 (4): 158-160, 1966.
3. BAHAMONDE Q., J. Métodos de emasculación y polinización artificial en alfalfa *Medicago sativa* L. Tesis Ing. Agr., Santiago, Universidad de Chile. 1963. 108 p. (mimeografiada).
4. BARRONS, C. K. A method of determining root-knot resistance in beans and cowpeas in the seedling stage. *Journal of Agricultural Research* 57 (5): 363-370. 1938.
5. CARNAHAN, H. L. *et al.* General versus specific combining ability in alfalfa for seedling vigor and fall growth habit in the year of establishment. *Agronomy Journal* 52 (9): 511. 1960.
6. CHRISTIE, R. J. Plant nematodes. Their bionomics and control. Florida, The H. and W. B. Drew Company. 1965. 256 p.
7. DADAY, H. General and specific combining ability for forage yield in Lucerne (*Medicago sativa* L.). *Australian Journal of Agricultural Research* 16: 293-299. 1965.
8. GOPLEN, P. B. and STANFORD, E. H. Autotetraploidy and linkage in alfalfa. A study of resistance to two species of root-knot nematodes. *Agronomy Journal* 52 (6): 337-342. 1960.
9. GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Science* 9: 463-493. 1956.
10. GUIÑEZ S., A. Reconocimiento preliminar del área de dispersión de *Meloidogyne* spp. Goeldi en alfalfa (*Medicago sativa* L.) y trébol rosado (*Trifolium pratense* L.). *Agricultura Técnica (Chile)* 25 (3): 127-128. 1965.
11. HAYES, K. H. IMMER, R. F. and SMITH, C. D. *Methods of Plant Breeding*. 2nd ed. New York, Mc. Grow-Hill Book Co., 1955. 551 p.
12. JINKS, D. F. and HAYMAN, B. I. The analysis of diallel crosses. *Maize Genetics News Letter* 27: 48-54, 1953.
13. KALTON, R. R. and LEFFEL, C. R. Evaluation of combining ability in *Dactylis glomerata* L. III. General and specific effects. *Agronomy Journal* 47 (8): 370-373. 1955.
14. KEHR, W. R. General and specific combining ability for four agronomics traits in a diallel series among six alfalfa clones. *Crop Science* 1 (1): 53-55. 1961.
15. PEARSON, C. L. and ELLING, T. L. Predicting disease resistance in synthetic varieties of alfalfa from clonal cross data. *Agronomy Journal* 52 (5): 291-293. 1960.
16. ————— and ————— Predicting synthetic varietal performance in alfalfa from clonal cross data. *Crop Science* 1 (4): 263-266. 1961.
17. REYNOLDS, H. W. Varietal susceptibility of alfalfa to two species of root-knot nematodes. *Phytopathology* 45 (2): 70-72. 1965.
18. ROJAS H., B. and SPRAGUE, F. G. A comparison of variance components in corn yield trials. III. General and specific combining ability and their interaction with locations and years. *Agronomy Journal* 44 (9): 462-466. 1952.
19. SMITH, A. L. and TAYLOR, L. A. Field method of testing for root-knot infestation. *Phytopathology* 37 (12): 85-93. 1947.
20. SPRAGUE, C. F., and TATUM, L. A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *Journal of the American Society of Agronomy* 34: 923-932. 1942.
21. STANFORD, H. E. *et al.* Sources of resistance in alfalfa to the northern root-knot nematode *M. hapla*. *Phytopathology* 48 (7): 347-349. 1958.
22. TYSDAL, H. M. *et al.* The polycross progeny performance as an index of the combining ability of alfalfa clones. *Journal of the American Society of Agronomy* 40 (4): 293-306. 1948.
23. WALTERS, R. J. and SLACK, A. D. Fusarium wilt plus nematodes . . . . . Hard on alfalfa. *Arkansas Farm Research* 5 (3): 7. 1956.
24. WILCOX, B. J. and WILSIE, P. C. Estimated general and specific combining ability effects and reciprocal effects in crosses among nine clones of alfalfa, *Medicago sativa* L. *Crop Science* 4 (4): 375-377. 1964.