



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO

MEJORA DEL DESEMPEÑO INVERNAL DE *SETARIA SPHACELATA* (SCHUMACH.)  
A TRAVÉS DE SELECCIÓN FENOTÍPICA

GUILLERMO DONALD MCLEAN

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGISTER EN GENÉTICA VEGETAL

DIRECTOR: ING. AGR. (MSc., PhD.). CARLOS A. ACUÑA

CO-DIRECTOR: BIÓLOGA (DRA.). KARINA GRUNBERG

Año 2017

MEJORA DEL DESEMPEÑO INVENCNAL DE *SETARIA SPHACELATA* (SCHUMACH.)  
A TRAVÉS DE SELECCIÓN FENOTÍPICA

Guillermo Donald McLean

Ingeniero Agrónomo – Universidad Nacional del Nordeste (UNNE)

Esta Tesis es presentada como parte de los requisitos para optar al grado académico de Magister en Genética Vegetal, de la Universidad Nacional de Rosario y no ha sido previamente presentada para la obtención de otro título en ésta u otra Universidad. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en la Estación experimental de INTA en Mercedes (Corrientes), durante el período comprendido entre los años 2015 y 2017, bajo la dirección del Ingeniero Agrónomo (MSc., PhD.) Carlos Alberto Acuña.

Nombre y firma del Maestrando

Nombre y firma del Director

Nombre y firma de Co-director

Defendida.....de 20.....

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea reconocer a las siguientes personas que fueron importantes de alguna u otra manera para llevar a cabo el presente trabajo:

- Al Ing. Agr. (PhD) Carlos Alberto Acuña y la Dra. Karina Grunberg, director y co-directora de la presente Tesis, cuya colaboración y conocimientos fueron cruciales para la realización del trabajo.
- Al grupo de Producción Vegetal de la Estación Experimental de INTA Mercedes (Corrientes), en especial a los técnicos y auxiliares que participaron en la plantación y evaluación de los ensayos.
- A la coordinadora del proyecto nacional de producción animal “Desarrollo de cultivares de especies forrajeras para sistemas ganaderos y agrícola-ganaderos” Ing. Agr. (PhD) Adriana Noemí Andres y a los integrantes del proyecto dentro del convenio INTA-AUDEAS-CONADEV “Generación y evaluación de poblaciones e híbridos de *Setaria sphacelata* y *Acroceras macrum*” por facilitar los recursos humanos y económicos indispensables para el desarrollo del trabajo.
- A Melina, por su incondicional ayuda y acompañamiento durante todo este tiempo de trabajo.
- A mis padres y hermanos.

## INDICE GENERAL

	N° de Página
INDICE DE FIGURAS.....	2
INDICE DE TABLAS.....	3
INDICE DE TABLAS DE ANEXO.....	5
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS.....	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	10
HIPÓTESIS.....	16
OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS.....	17
CAPÍTULO 1. Comparación del desempeño invernal entre poblaciones de <i>Setaria sphacelata</i> con y sin proceso de selección fenotípica, estimación de los parámetros genéticos y relaciones entre variables.	
Introducción.....	18
Materiales y Métodos.....	21
Resultados y Discusión.....	30
* Evaluación y selección dentro del Germoplasma inicial (C0).....	31
* Comparaciones entre poblaciones de base amplia (PBA) y estrecha (PBE).....	34
* Componentes genéticos y heredabilidades.....	36
* Correlaciones entre variables de desempeño invernal.....	39
* Respuesta a la selección.....	41
Conclusión.....	42

CAPÍTULO 2. Evaluación del comportamiento de genotipos en dos poblaciones de *Setaria sphacelata* simulando las condiciones invernales en cámara de crecimiento y su relación con el desempeño a campo.

Introducción.....	44
Materiales y Métodos.....	47
* Ensayo 1: Simulación de temperaturas medias invernales.....	47
* Ensayo 2: Simulación de Heladas.....	49
Resultados y Discusión.....	50
* Ensayo 1: Simulación de temperaturas medias invernales.....	50
* Ensayo 2: Simulación de Heladas.....	56
Conclusión Capítulo 1 y 2.....	58
CONCLUSION GENERAL.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	61
ANEXO.....	67

#### INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama del desarrollo de las poblaciones de base amplia (PBA) y estrecha (PBE) hasta la evaluación a campo en 2015.....	25
<b>Figura 2.</b> Temperaturas medias mensuales en °C durante 2012 y 2013 y las históricas (desde 1962 al 2016) y Precipitaciones acumuladas mensuales en mm durante 2012 y 2013 y las históricas (desde 1951 al 2016) registradas en la E.E.A. INTA Mercedes.....	30
<b>Figura 3.</b> Temperaturas medias mensuales en °C durante 2015 y las históricas (desde 1962 al 2016) y Precipitaciones acumuladas mensuales en mm durante 2015 y las históricas (desde 1951 al 2016) registradas en la E.E.A. INTA Mercedes.....	31
<b>Figura 4.</b> Frecuencias de genotipos con los distintos hábitos de crecimiento y afección por hongos foliares observados en los 227 genotipos de la población C0 y en los 40 genotipos seleccionados (C0 Sel.).....	33
<b>Figura 5.</b> Frecuencia de hábitos de crecimiento (postrado, semi-erecto, erecto) en la población de base amplia y de base estrecha.....	35

<b>Figura 6.</b> Frecuencia de genotipos con y sin floración invernal en la población de base amplia y de base estrecha.....	35
<b>Figura 7.</b> Frecuencia de genotipos con alta y baja incidencia de hongos (ausencia de manchas, presencia de manchas) en la población de base amplia y de base estrecha.....	35
<b>Figura 8.</b> Flujo de cambios de frecuencias relativas y medias en las poblaciones C0, C0 seleccionadas (40 plantas seleccionadas), base amplia (PBA), estrecha (PBE) y la C2 teórica de acuerdo a la respuesta esperada de la selección del 15% superior de PBE. La línea roja marca el 3 en la escala visual de rebrote (1: poco o nulo crecimiento, 5: elevado crecimiento).....	43
<b>Figura 9.</b> Altura promedio en cm y desvíos estándares en cada período después de corte de emparejamiento (DDC) de los 44 genotipos de la población de base amplia (PBA) y estrecha (PBE).....	50
<b>Figura 10.</b> Cantidad de hojas por macollo y desvíos estándares en cada período después de corte de emparejamiento (DDC) de los 44 genotipos de la población de base amplia (PBA) y estrecha (PBE).....	51
<b>Figura 11.</b> Longitud de hojas promedio en cm y desvíos estándares en cada período después de corte de emparejamiento (DDC) de los 44 genotipos de la población de base amplia (PBA) y estrecha (PBE).....	51
<b>Figura 12.</b> Análisis de Componentes principales de las variables hojas por macollo (hojas/mac.), área foliar por macollo (AF/mac.), altura de macollo (Alt.), longitud de hojas (LH), ancho de hojas (AH) y materia seca por macollo (MS/mac.) a los 35 días después del corte de emparejamiento a 10 cm de 22 genotipos de la PBA (A) y 22 genotipos de la PBE (E).....	53
<b>Figura 13.</b> Frecuencia de afección por heladas simuladas (escala visual del daño sobre el total de hojas siendo 1: susceptibilidad alta, 5: susceptibilidad baja) en la población de base amplia (PBA) y estrecha (PBE).....	56

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Poblaciones naturalizadas recolectadas en distintos ambientes del nordeste argentino, descripción de manejo, año de siembra, ubicación en el paisaje, tipo de suelo y cantidad de materiales evaluados a campo durante los años 2012 y 2013.....	21
--	----

<b>Tabla 2.</b> Media, Desvío estándar (D.E.) y coeficiente de varianza (CV) de las variables invernales evaluadas en el germoplasma inicial (C0) y de los 40 individuos seleccionados de C0.....	32
<b>Tabla 3.</b> Comparaciones de medias ajustadas entre población de base amplia (PBA) y estrecha (PBE) y grado de significancia ( $p \leq 0,05$ LSD Fisher) de las variables evaluadas durante el período invernal.....	34
<b>Tabla 4.</b> Varianza genética (V.G.), coeficiente de varianza genética en % (C.V.G.), heredabilidad en sentido amplio ( $H^2$ ) basado en los individuos y errores de estimación de la heredabilidad (E.E.) del diámetro de mata y del rebrote invernal evaluadas en el germoplasma inicial (C0), la población de base amplia (PBA) y en la población de base estrecha (PBE).....	37
<b>Tabla 5.</b> Varianzas familiares ( $\sigma^2$ Fliar), Heredabilidades en sentido estricto ( $h^2$ ) basado en los individuos y heredabilidades en sentido estricto basado en las medias de las familias de medios hermanos (FMH) y por el método de regresión entre un padre y la media familiar. Unidad de selección recomendada de acuerdo a la $h^2$ y rango de valores BLUPs del diámetro de mata y del rebrote invernal en la población de base estrecha (PBE).....	38
<b>Tabla 6.</b> Correlación de Pearson de las variables en el germoplasma inicial o C0. Coeficientes\probabilidades (ns: no significativo).....	39
<b>Tabla 7.</b> Correlación de Pearson de las variables evaluadas en las poblaciones de base amplia y población de base estrecha. Coeficientes\probabilidades. Todas fueron altamente significativas ( $<0,0001$ ).....	40
<b>Tabla 8.</b> Promedios, desvíos estándares (D.E.), coeficientes de variación (C.V.) en %, mínimos y máximos de las variables evaluadas y calculadas a los 35 días post-corte de emparejamiento en los genotipos de las poblaciones de base amplia (PBA) y estrecha (PBE).....	52
<b>Tabla 9.</b> Correlación de Pearson de todas las variables calculadas o medidas en los 44 genotipos en cámara de crecimiento y a campo durante invierno/2015 (rebrote invernal, materia seca y altura). *En rojo en la matriz solo las correlaciones que fueron significativas, en la sección de probabilidades, los casilleros vacíos no fueron significativos.....	54

## INDICE DE TABLAS DE ANEXO

<b>Tabla Anexo I.</b> Valores promedios y coeficientes de variación (%) de las variables materia seca invernal (MS inv.) y altura de planta sin ajuste por distribución y del diámetro de mata y rebrote invernal en la poblaciones de base amplia (PBA) y estrecha (PBE).....	67
<b>Tabla Anexo II.</b> Promedios y desvíos estándares de las Temperaturas (°C) y humedades relativas ambiente en % registradas en la cámara de crecimiento en los distintos períodos de evaluación y promedios registrados durante las 15 horas de oscuridad (Noche) y las 9 horas de luz (Día).....	67
<b>Tabla Anexo III.</b> Grados centígrados acumulados (°C acumulados) en cada período, grados días promedio por día (°C*día <sup>-1</sup> ) e iluminación (Lúmenes*m <sup>2</sup> ). ....	68
<b>Tabla Anexo IV.</b> Valores medios y desvíos estándares (D.E.) en las dos poblaciones de las variables estructurales (cantidad de hojas por macollo y longitud de hojas) y altura por macollo en cada período después del corte de emparejamiento (DDC).....	68
<b>Tabla Anexo V.</b> p-value de las variables altura, N° de hojas por macollo, longitud de hojas en cada población y fuente de variación.....	68
<b>Tabla Anexo VI.</b> Promedios, coeficientes de variación (C.V.) en %, valores mínimos y máximos de las variables Altura, hojas por macollo, longitud de hojas y área foliar por macollo registradas al final del ensayo (35 DDC) en los 22 genotipos de las poblaciones de base amplia (PBA) y estrecha (PBE).....	69



## ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

$\mu$  : promedio

PBA: Población de base amplia

$\sigma^2$ : varianza

PBE: Población de base estrecha

BLUP: Best Linear Unbiased Prediction

C0: Población de germoplasma inicial

C2: Ciclo 2 o población de segunda selección

CP: Componentes principales

C.V.: Coeficiente de variación

DDC: Días después del corte

D.E.: Desviación estándar

EE: Error de estimación

E.E.A.: Estación Experimental Agropecuaria

FMH: Familias de medios hermanos

$H^2$ : Heredabilidad en sentido amplio

$h^2$ : Heredabilidad en sentido estricto

$h^2_r$ : Heredabilidad realizada

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

LSD: Least significant difference

MS: Materia seca

NEA: Nordeste argentino

## RESUMEN

La generación de poblaciones con mayor tolerancia a estrés por frío y crecimiento a bajas temperaturas es uno de los objetivos del programa de mejoramiento de *Setaria sphacelata* en INTA. Esto es de importancia tanto para obtener pasturas más persistentes, con mayor rendimiento de forraje invernal como para incrementar la adecuación de la especie a regiones más templadas. Mediante la selección fenotípica es posible incrementar los caracteres relacionados al desempeño invernal generando poblaciones mejoradas a través de índices de selección y cuyos parámetros genéticos deben ser estimados para determinar el avance en las distintas generaciones. La selección por estrés a bajas temperaturas puede ser realizada eficientemente en condiciones controladas evitando largos períodos de ensayos a campo y muchas veces con condiciones ambientales que no permiten discriminar entre materiales. Este trabajo comprende dos capítulos, el primero aborda la comparación entre poblaciones con y sin proceso de selección, la estimación de sus componentes genéticos, la detección de variables correlacionadas y el uso de BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) como estimador para los índices de selección. En el segundo capítulo se evaluó el comportamiento de los genotipos en condiciones invernales simuladas en cámaras de crecimiento. En el primer capítulo se detectaron diferencias significativas entre una población de base genética amplia sin proceso de selección (PBA) y otra de base genética estrecha proveniente de un ciclo de selección (PBE), esta última tuvo mejor comportamiento invernal, definido a través del rendimiento de forraje acumulado durante el invierno ( 27,0 g\*planta<sup>-1</sup> en PBE vs 20.7 en PBA), de la altura (28,5 cm en PBE vs 23,9 en PBA), del diámetro de mata (17,4 cm en PBE vs 16,2 en PBA) y del rebrote invernal (3,3 vs 3,1 en PBA), siendo las diferencias estadísticas significativas al 5%. Las variables diámetro de mata y rebrote invernal (variables con distribución Normal) tuvieron valores moderados a altos de heredabilidad en sentido amplio ( $H^2$ ) en el germoplasma inicial, intermedios en PBE y los más bajos en PBA. En la PBE se estimó la heredabilidad en sentido estricto ( $h^2$ ) a través de distintos métodos y la heredabilidad realizada ( $h^2_r$ ) para el carácter rebrote invernal. Esta última arrojó un valor de 0,48, similar a la  $H^2$  y cercana a la  $h^2$  obtenida en base individual en dicha población. Con el método de regresión se obtuvieron los menores valores de  $h^2$  en PBE. Todas las variables evaluadas en PBA y PBE tuvieron correlaciones positivas y significativas. Se estimó un posible incremento del

12,5% del rebrote invernal en la población que se generaría por la selección del 15% de los genotipos superiores por este carácter en la PBE de acuerdo a la  $h^2_r$ . Las  $h^2$  en base individual obtenidas sugieren realizar selección masal considerando los valores de BLUPs para mejorar el rebrote invernal y el diámetro de mata en la PBE. Debido a que el rebrote invernal estuvo altamente correlacionado y de manera positiva con el rendimiento de forraje ( $r=0,68$  en PBA y  $r= 0,66$  en PBE) y la altura ( $r = 0,64$  en PBA y  $0,48$  en PBE), se considera su aplicación para realizar selección indirecta. El segundo capítulo se dividió en 2 ensayos, en el primero simulando las temperaturas invernales del centro-sur correntino se detectaron materiales de crecimiento más rápido a temperaturas medias de  $17,5^\circ\text{C}$ , las cuales rindieron más por macollo principalmente debido al incremento en el largo y el ancho de hojas. Se obtuvieron correlaciones positivas y significativas entre rebrote invernal, altura y rendimiento de materia seca evaluadas a campo durante 2015 con el rendimiento obtenido en cámara durante 35 días. El segundo ensayo permitió discriminar los genotipos por su tolerancia a heladas. Los resultados obtenidos indican que el mejoramiento genético del desempeño invernal de *S. sphacelata* a través de selección fenotípica se puede realizar mejorando la selección con la inclusión de los valores de BLUPs en los índices y lograr incrementos del rebrote invernal del orden del 12,5% en función de la intensidad de selección y la  $h^2$  del carácter, y que se podría utilizar la selección individual por rendimiento en cámaras de crecimiento aunque el avance podría diferir con respecto a las poblaciones generadas a través de la selección a campo.

## ABSTRACT

Improvement winter performance in *Setaria sphacelata* through phenotypic selection

Populations of *S. sphacelata* with higher winter yield and more adapted to winter stress can be achieved through phenotypic selection. Selection for some characteristics can increase others making the process simpler and effective, even with controlled environmental genotypes tests could be made by its performance on winter stress and conditions. We tested in field experiment variables related with the winter performance on a population with wide base (bulk of seeds of germplasm polycross denominated PBA) and other with narrow base (Half sib-families generated by the polycross of selected genotypes of germplasm denominated PBE) to evaluate differences between populations due to phenotypic selection, genetic and statistics parameters and correlations between characters. In controlled environments in two assays simulating winter conditions we test the methodology to detect more yielding at low temperatures and tolerant to frost genotypes. In field experiment performance of PBE was superior to PBA in each character used in the selection index. High and moderate heritability in width sense ( $H^2$ ) were estimated on germplasm population in winter regrowth (WR) and crown diameter (CD) with 0,61 and 0,71 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> year in WR respectively and 0,59 in CD, moderate values on PBE (0,48 in WR and 0,41 in CD) and lowest on PBA with 0,34 in WR and 0,28 in CD. On PBE we estimate narrow sense heritability ( $h^2$ ) on individual plant basis, on phenotypic mean basis considering family mean as a selection unit and the parent-offspring relationships, moderate values were obtained with individual plant basis, followed with phenotypic mean and lowest values with the regression parent- offspring. WR and CD were correlated with the others characters evaluated on winter suggesting its use to increase winter performance using the *Best Linear Unbiased Prediction* estimator obtained. We estimated response to selection of 12,5% more winter regrowth selecting the 15% superior genotypes on PBE. In controlled conditions we discriminate between genotypes by its yield at winter mean temperature of the south region of Corrientes province and a good screening simulating frost conditions. We propose a breeding scheme for improve winter performance of *S. sphacelata* selecting individuals yield in controlled conditions nevertheless, the genetic gain could be different than the obtained through field selection.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La utilización de pasturas cultivadas es cada día más necesaria debido a la intensificación de los sistemas de producción bovina en el norte argentino. En la actualidad alrededor del 34% de la ganadería argentina se lleva a cabo en las regiones subtropicales del país (NEA y NOA), y de estas, las subtropicales subhúmedas y semiáridas son las que presentan mayores posibilidades de incremento de la productividad mediante el uso de pasturas megatérmicas (Arroquy e Imaz, 2015). La marcada distribución de la producción de los pastizales naturales a través del año y su baja calidad sobre todo durante el período invernal hace que las pasturas implantadas jueguen un rol muy importante en estas regiones. En áreas donde los pastos naturales son de baja calidad, el impacto del reemplazo de éstas por pasturas subtropicales es muy alto (Pizzio et al. 2006).

Las pasturas cultivadas pueden utilizarse para intensificar la cría y diversificar la producción animal, otros usos están relacionados con la agricultura, especialmente con la producción de arroz en la región del noreste argentino (NEA), que determina grandes áreas disturbadas donde una especie forrajera formaría parte de la rotación, permitiendo el descanso, la recuperación de la fertilidad y la estructura del suelo (Borrajo et al. 2008).

El NEA ocupa una superficie de alrededor de 33.800.000 hectáreas abarcando las provincias de Formosa, Chaco, Corrientes, Misiones y tres departamentos del norte de Santa Fe. Se caracteriza por presentar un clima subtropical sin estación seca con precipitaciones que varían entre 500 mm al oeste del Chaco y Formosa hasta 2000 mm al este de Misiones y temperaturas medias anuales que varían entre 23°C y 20°C al norte y al sur de la región respectivamente (Gándara y Mañotti, 1999).

Dentro del NEA, la provincia de Corrientes presenta precipitaciones de alrededor de 1200 mm, siendo considerable la variabilidad con excesos hídricos en otoño y primavera, déficit en invierno y moderado déficit en verano, este último debido a la elevada evapotranspiración durante la estación (Escobar et al. 1996). La temperatura media anual de la región es de 21°C, con valores medios entre 26 y 28°C durante el mes de enero y entre 14 y 16°C en julio. Las heladas meteorológicas se presentan con frecuencias de 1 a 3 días al año y ocurren entre junio y julio, habiéndose registrado fechas desde mayo hasta fines de agosto. Esta provincia posee una heterogeneidad de ambientes y suelos, de estos últimos predominan los órdenes Alfisoles y Molisoles con alrededor del 60% de la superficie

provincial, a su vez, es común el exceso de agua en un 59,5% de la superficie, debido a la fisiografía, suelos y clima, los cuales generan cuerpos de agua y encharcamientos e inundaciones de distinta intensidad (Escobar et al. 1996). Desde el punto de vista de la fertilidad todos los suelos presentan una generalizada deficiencia de fósforo (P) para el crecimiento vegetal (Fernández López et al. 2006).

Las actividades económicamente importantes en la provincia son la ganadera, la cítrica y la arrocería (Escobar et al. 1996), con un incremento de la actividad forestal en los últimos años. Es la tercera provincia en relación al stock nacional desde el año 2010 pero, considerando el número de vacas, ocupa ese mismo lugar desde hace más tiempo. En el período 2010 -2016, participa en promedio con el 9,8% del stock bovino y 10,4% de las vacas del país (Calvi, 2017).

La ganadería se desarrolla fundamentalmente sobre pastizales naturales que constituyen la mayor parte de la superficie y que son el principal recurso forrajero; siendo la característica más importante de los mismos su crecimiento y desarrollo concentrado desde mediados de octubre hasta fines de abril, mientras que es nulo o escaso durante el invierno provocando un déficit en la oferta de pasto en esta época del año (Fernández et al. 1993).

Las pasturas cultivadas utilizadas en la provincia son en su mayoría gramíneas tanto estivales como invernales. Ensayos llevados a cabo por la E.E.A. INTA Mercedes en distintos ambientes de Corrientes con el fin de evaluar la producción primaria neta acumulada ( $\text{kg de forraje} \cdot \text{hectárea}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ) y la producción secundaria ( $\text{kg de carne} \cdot \text{hectárea}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ) de distintas especies forrajeras megatérmicas, han dejado en evidencia una adecuada producción y persistencia de la especie *Setaria sphacelata* (Schumacher) Moss en los distintos ambientes de la provincia (desde anegables a afloramientos rocosos) (Royo Pallarés y Goldfarb, 1999; Pizzio et al. 2006), siendo por ello una de las especies más utilizada en Corrientes.

*S. sphacelata* es una gramínea forrajera megatérmica nativa de África tropical y subtropical, ampliamente utilizada en pasturas destinadas al pastoreo de ganado de leche y carne, como así también para la conservación del forraje como heno y silaje. Su centro de origen se ubica en altitudes entre los 660 y 2600 m sobre el nivel del mar, aunque se han encontrado poblaciones por encima de los 3000 m de altura. Es por eso que al compararla

con otras gramíneas tropicales y subtropicales, tolera las heladas y puede crecer algo más durante el invierno (Hacker y Jones, 1969).

Esta especie fue introducida en Corrientes en la década de 1970 y a partir de allí se han registrado producciones anuales de materia seca que fluctúan entre 6000 a 10000 kg\*ha<sup>-1</sup> y persistencias de más de 10 años en ciertos ambientes y manejos de la provincia (Borrajo y Pizzio, 2006).

Desde el punto de vista taxonómico, el género *Setaria* pertenece a la familia Poaceae, subfamilia Panicoideae, tribu Paniceae. Comprende alrededor de 125 especies distribuidas a través de las regiones tropicales, subtropicales y templadas del mundo (Rominger, 1962).

*S. sphacelata* es una especie poliploide y presenta desde citotipos diploides hasta decaploides (Hacker, 1966). El número cromosómico básico de la especie es  $x=9$  e incluye las variedades *aurea* (A.Br) Clayton, *torta* (Stapf) Clayton, *sericea* (Stapf) Clayton, y *splendida* (Stapf) Clayton (Clayton y Renvoize, 1982). No hay una distinción morfológica clara entre estas variedades y ellas se entrecruzan fácilmente (Hacker, 1968).

Forma macollos de 45 a 180 cm de altura; con nudos inferiores del tallo comprimidos y vainas foliares dispuestas con frecuencia en forma de abanico. Posee panículas con forma de espiga falsa, densa, con cerdas o setas; y espiguillas subagudas entre 2,5 y 3 mm de largo (Napper, 1965). La polinización es cruzada, en consecuencia existe considerable variabilidad dentro de la especie, ya sea entre poblaciones, líneas y/o cultivares, para caracteres morfológicos de interés agronómico (Hacker, 2001; Jank et al. 2007).

Varios programas de mejoramiento genético de *Setaria* se han llevado a cabo en los cuales los principales objetivos de selección comprendían el incremento de rendimiento, la mayor producción de semillas y la tolerancia a las heladas (Wijk, 1980; Hacker, 1991a; 1991 b; Hacker y Cuany, 1997; Tomei et al., 1998; Jank et al., 2001; Jank et al., 2002), obteniendo cultivares a partir de ecotipos de distintas zonas de África y otras por hibridaciones (Hacker y Cuany, 1997). Los siguientes cultivares se pueden encontrar comercialmente en Argentina:

### **Kazungula**

Es un cultivar tetraploide ( $2n=4x=36$ ) oriundo de Zambia, se ha desarrollado en Sudáfrica para pastoreo directo y heno. La coloración de las vainas foliares de la base es

azul verdosa y los estigmas son morados. Es resistente al lunar de la hoja provocado por el hongo *Piricularia sp.*, se adapta a diferentes condiciones ambientales y tolera muy bien el anegamiento temporal (Skerman y Riveros, 1992).

### **Narok**

Se recolectó en la zona montañosa de Aberdare, en Kenya, y se introdujo en Australia en 1963. Se trata de un cultivar tetraploide menos robusto que el cultivar Kazungula y de un verde más intenso. Inflorescencias de hasta 38 cm de longitud, hojas anchas, suaves y sin vellos. En algunas plantas no se presenta la pigmentación rojiza en la base que es común al cultivar Kazungula. Su principal característica es la tolerancia a las heladas. A temperaturas entre -3,3 y -2,8 °C, las hojas se dañan muy poco, pero a temperaturas más bajas pueden morir. El pastoreo en invierno no debe ser intenso. (Skerman y Riveros, 1992). Es susceptible al lunar de la hoja producido por el hongo *Piricularia trisa* en condiciones de humedad y altas temperaturas (Barnard, 1972).

### **Splenda**

Es un cultivar tetraploide obtenido por J. B. Hacker a partir de los cruzamientos entre el tetraploide *S. sphacelata var. splendida* y dos tetraploides de *S. sphacelata var. sericea* (Clayton, 1979). Fue registrado en diciembre de 1982. Hojas anchas y glabras, vainas glabras o ligeramente pilosas. Se diferencia del cultivar Narok por su mayor crecimiento, predominantemente caular, y floración mucho más tardía (50% de floración aproximadamente 29 días después de Narok). Se distingue de Kazungula por sus hojas más anchas y su crecimiento vegetativo más erguido en invierno. Es una planta vigorosa que combina muchas de las mejores características agronómicas de las variedades botánicas *sericea* (producción de semillas) y *splendida* (floración tardía y foliosidad). En contraste con la variedad *splendida*, el cultivar Splenda es fértil y se han obtenido rendimientos de hasta 80 kg\*ha<sup>-1</sup> de semilla limpia. (Hacker, 1974).

### **Solander**

Fue seleccionado de una población derivada de cruzamientos entre accesiones tolerantes a heladas, susceptibles a heladas pero más robustas y la variedad Splendida. Las tres poblaciones fueron marcadamente superiores en la producción de semillas que Narok (Hacker, 1984). Una población fue seleccionada sobre la base de la alta producción de semillas y el cultivar fue registrado en Julio de 1985 por J. B. Hacker. Posee hojas de color



verde-azulado, de hasta 17 mm de ancho, glabras o con unos pocos pelos largos en la superficie. Macollos muy aplanados en estado vegetativo. Inflorescencias de 6-26 cm de longitud, con cerdas de color castaño o gris. Se trata de un material tetraploide con  $2n=4x=36$ . Su rendimiento de materia seca en verano es igual o superior a la de los cultivares Kazungula y Narok. El mérito particular de Solander es su alta producción de semillas. La proporción de tallos florales en Solander es el doble que en Narok, lo que conduce a una duplicación en la producción de semillas (Hacker, 1984). La mejora en la proporción de tallos florales en Solander no ha resultado en una disminución en el porcentaje de hojas.

Entre los cultivares de *S. sphacelata* el más utilizado en la provincia de Corrientes es Narok por presentar mejor comportamiento en invierno (Borrajo et al. 2009), ya que permanece por más tiempo con las hojas verdes y rebrota rápidamente al aumentar la temperatura (Borrajo y Pizzio, 2006). Este comportamiento invernal radica en que su centro de origen se encuentra en altitudes de alrededor de 2190 m sobre el nivel del mar (Barnard, 1972) y es de importancia ya que determina la persistencia de las plantas ante la ocurrencia de heladas y el crecimiento de forraje a bajas temperaturas. Sin embargo sería posible mejorar genéticamente aún más esta capacidad, logrando de esta manera una mayor oferta forrajera en un período crítico para la zona por estar la cadena forrajera dominada por especies  $C_4$  de crecimiento primavero-estival y para aumentar la adecuación de la especie a otras regiones con menores temperaturas, aunque con similares precipitaciones a las del nordeste argentino.

Con el fin de desarrollar nuevos cultivares forrajeros con ciertas características (incremento del aporte de forraje durante la estación invernal, la calidad y cantidad de forraje y semillas, mayor período vegetativo durante primavera y tolerancia a distintos factores bióticos y abióticos) y de acuerdo a lo expresado anteriormente sobre la *S. sphacelata*, en la Estación Experimental Agropecuaria de INTA en Mercedes a partir del año 2009 se comenzó con un proceso de evaluación y mejoramiento genético de la especie cuyas etapas y objetivos consisten en:

Programa de mejoramiento genético de *S. sphacelata* en Argentina

**Búsqueda de Germoplasma:** Colección de poblaciones de *S. sphacelata* en los distintos ambientes del nordeste argentino (NEA).

**Caracterización y Evaluación de Germoplasma:** Evaluación de la variabilidad genética en caracteres morfo-fisiológicos y a través de marcadores moleculares de las poblaciones.

**Ciclos de selección y cruzamiento de genotipos destacados:** Estimación de los parámetros genéticos indicadores del progreso esperable de la selección individual y/o familiar de las poblaciones consideradas. Selección entre y dentro de las poblaciones por caracteres relacionados con el crecimiento invernal, fecha de floración, producción de forraje y semillas.

**Obtención de materiales genéticos identificados con características agronómicas superiores a los existentes en el mercado y adaptados a los ambientes ganaderos correntinos:** Evaluación y descripción de nuevos materiales para el registro en el Instituto Nacional de semillas (INASE).

Las dos primeras etapas fueron completadas y se han comenzado los ciclos de selección y cruzamientos. En este trabajo se presenta parte de este proceso de mejoramiento en el cual se pretende incrementar el aporte y calidad de forraje durante el invierno.

Las evaluaciones de la tolerancia a frío en los programas de mejoramiento genético generalmente se basan en observaciones visuales en condiciones naturales de campo. La utilización de escalas de evaluación visual representa una gran ventaja práctica en determinaciones que involucran un gran número de materiales aunque implica la necesidad de un entrenamiento adecuado. En *S. sphacelata* se ha detectado una amplia variación para caracteres relacionados con la tolerancia al frío y se han encontrado valores de heredabilidad ( $h^2$ ) entre 0,5 y 0,35 para el carácter supervivencia invernal medido a través de una escala de rebrote (Jank et al. 2002). Esto permitiría seleccionar materiales con mejor comportamiento y esperar avances importantes en ese aspecto.

La aplicación de la selección fenotípica recurrente en mejoramiento genético se refiere a los mejoramientos cíclicos de las poblaciones, los mejores individuos son seleccionados y cruzados a fin de obtener una nueva generación o ciclo, es decir, un proceso continuo de selección-recombinación-selección (Bernardo, 2002). Una población

mejorada producto de este procedimiento puede ser liberado como un cultivar de polinización abierta.

G.W. Burton (1974) propuso la selección fenotípica restringida y recurrente que está basada en la selección masal pero aplicando ciertas modificaciones con las cuales se pueden lograr avances genéticos considerables en menor tiempo, siendo a su vez variable de acuerdo a la amplitud genética del material en estudio. Algunas restricciones utilizadas con esta técnica incluyen la utilización de semillas producto del policruzamiento de plantas seleccionadas para sembrar los nuevos ciclos imponiendo así una selección paterna y materna, y el empleo de germoplasma con un alto grado de auto incompatibilidad reduciendo con ello la posibilidad de autofecundación. Con este método se han utilizado evaluaciones en plantas aisladas, las cuales según Wijk (1980) ofrecen mejores condiciones para la caracterización por tolerancia a las condiciones invernales, tiempo a floración, hábito de crecimiento y resistencia enfermedades. Sin embargo, la discriminación de los materiales por sus caracteres de desempeño invernal estarán determinados por la ocurrencia y severidad de las heladas, y de las condiciones ambientales durante cada período invernal haciendo al proceso lento e ineficiente. La utilización de cámaras de crecimiento con condiciones ambientales controladas, ya sea simulando la ocurrencia de heladas o de las temperaturas medias invernales, pueden ser una alternativa para la evaluación sin depender de las ocurrencia de eventos meteorológicos adversos, siendo por lo tanto una herramienta atractiva para realizar la selección (Hacker, 2001) y eventualmente acelerar el proceso de mejoramiento.

Es por ello que en la presente Tesis se proponen las siguientes **hipótesis**:

- 1- *“El incremento en el desempeño invernal a través de procesos de selección fenotípica es considerable con respecto a poblaciones sin proceso de selección, y esto se podría incrementar aún más utilizando aquellas variables de fácil medición en plantas aisladas”.*
- 2- *“La simulación de las temperaturas invernales y de heladas en ambientes controlados permiten diferenciar los genotipos de *S. sphacelata* tolerantes a condiciones invernales adversas”.*

## OBJETIVO GENERAL

Desarrollar poblaciones de *S. sphacelata* mejor adaptadas a las condiciones invernales.

### Objetivos específicos

Comparar el desempeño invernal a través de diferentes atributos en dos poblaciones de *S. sphacelata* con y sin proceso de selección fenotípica, estimar los parámetros genéticos y relaciones entre variables a fin de detectar las variables de mayor importancia para la selección por desempeño invernal.

Evaluar el comportamiento de los materiales de *S. sphacelata* simulando las condiciones invernales en cámara de crecimiento y su relación con el desempeño a campo.

Con el fin de abordar cada uno de ellos se dividió la Tesis en 2 capítulos, el primero abarca la evaluación y comparación a campo entre las dos poblaciones durante el invierno del 2015 y el segundo las evaluaciones de algunos materiales de ambas poblaciones en condiciones controladas.

## CAPÍTULO 1

### COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO INVERNAL ENTRE POBLACIONES DE *SETARIA SPHACELATA* CON Y SIN PROCESO DE SELECCIÓN FENOTÍPICA, ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS Y RELACIONES ENTRE VARIABLES

#### **Introducción**

Una población puede ser definida como una comunidad de individuos que compartan un pool de genes (Allard, 1960). Al generar una población base se debe contar con una elevada frecuencia de alelos positivos para los caracteres de interés, esto se puede obtener a partir de varias fuentes desde ecotipos, materiales mejorados y variedades comerciales o incluso de materiales silvestres (Geiger, 1982). La diversidad entre y dentro de las poblaciones experimentales puede ser medida a nivel fenotípico a través de caracteres morfológicos, los cuales son considerados más diversos entre materiales no relacionados debido a las frecuencias génicas (Posselt, 2010), por lo tanto, las poblaciones pueden ser de amplia o estrecha base genética dependiendo del número de genotipos utilizados para generarlas, las primeras son más prometedoras para programas de selección a largo plazo, y las segundas cuando el propósito es comparar la respuesta a la selección (Posselt, 2010).

La selección recurrente es definida como cualquier sistema de mejoramiento genético diseñado para incrementar la frecuencia de alelos deseables de los caracteres de herencia cuantitativa a través de repetidos ciclos de selección (Sleper y Poehlman, 2006), estos ciclos deben ser repetidos mientras se obtengan genotipos superiores y las poblaciones generadas pueden ser usadas como una variedad *per se* o como fuente de unidades genéticas superiores para ser utilizadas como parentales en variedades sintéticas (Posselt, 2010). Los cambios que se manifiestan en los valores fenotípicos en distinto grado según el carácter están determinados por los parámetros genéticos que presenta cada una. Los componentes genéticos y ambientales que determinan la variabilidad fenotípica que exhibe una población pueden deducirse y cuantificarse, estos componentes son relevantes ya que la selección y su eficacia se fundamentan en la discriminación, evaluación y manejo de ellos (Mariotti y Collavino, 2014).

La heredabilidad es una propiedad de cada carácter en cada población, su utilidad radica en su sentido predictivo de la respuesta a la selección (Nyquist, 1991). Hay dos significados para esta propiedad, una denominada heredabilidad en sentido amplio ( $H^2$ ) que se refiere a la cantidad o proporción de la varianza fenotípica total determinada por la varianza genética, y la otra, denominada heredabilidad en sentido estricto ( $h^2$ ) que se refiere a la porción de la varianza fenotípica total determinada por la varianza aditiva, siendo esta la que determina la cantidad del progreso que puede ser obtenida a través de la selección y recombinación de los mejores individuos en una población (Bernardo, 2002). La heredabilidad realizada ( $h^2_R$ ), en cambio, describe empíricamente la efectividad de la selección para cada atributo, se calcula a través de la relación entre la respuesta a la selección ( $R = \text{media de la descendencia} - \text{media de la población original}$ ) y el diferencial de selección ( $S = \text{media de los individuos seleccionados en la población original} - \text{media de la población original}$ ) y, conociendo la  $h^2$  y el diferencial de selección, se puede predecir la respuesta a la selección (Bernardo, 2002; Mariotti y Collavino, 2014).

La selección puede ser realizada teniendo en cuenta diferentes unidades de recombinación (individuos, familias) y a través caracteres simples o múltiples para los cuales se utilizan índices de selección generalmente confeccionados a partir de los promedios. En ciertos casos, con el uso de análisis estadísticos con modelos mixtos se puede incrementar la precisión de las estimaciones, la selección de genotipos o familias mediante BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction* o mejor predictor lineal insesgado) puede resultar diferente a la que se encontraría usando los promedios bajo un modelo de efectos fijos. Esto puede disminuir el riesgo de determinar cómo diferentes a genotipos sin diferencias reales en mérito genético (Balzarini et al. 2004).

Otro aspecto de importancia es el grado de asociación entre caracteres evaluados, para definir los mejores criterios de selección se deben considerar adicionalmente las magnitudes o intensidades de las correlaciones entre componentes y de estos con el producto final perseguido. Cuando se examinan características complejas como el rendimiento, los cuales exhiben frecuentemente heredabilidades relativamente bajas, suele intentarse una aproximación selectiva a partir de algunos de sus componentes con heredabilidades relativamente más elevadas (Mariotti y Collavino, 2014), es decir, es posible realizar la selección indirecta de un carácter a través de otro, siempre que ambos

estén correlacionados y será más efectiva cuanto mayor sea la heredabilidad de este último y cuanto más sencilla sea su evaluación.

En función de todo lo anteriormente citado, en este capítulo se pretenden comparar las poblaciones de *S. sphacelata* para detectar los incrementos debidos a la selección fenotípica, estimar los parámetros genéticos que presentan las distintas poblaciones en determinados atributos y determinar las correlaciones entre las variables relacionadas al desempeño invernal a fin de definir el posible uso de una variable que permita mejorar de manera más eficiente la producción y persistencia de las poblaciones de *S. sphacelata* durante el invierno.

## Materiales y Métodos

Los datos meteorológicos del 2012, 2013 y 2015 fueron registrados en la estación meteorológica de la E.E.A. INTA Mercedes. El período de evaluación otoño - invernal comprendía entre el 15 de mayo al 15 de Septiembre (122 días) aproximadamente, por ser un período con elevada probabilidad de heladas.

### Material Vegetal y Evaluaciones

#### Germoplasma inicial o C0:

Durante los años 2012 y 2013 se realizaron las evaluaciones de 230 genotipos de *S. sphacelata* (227 sobrevivieron los dos años de evaluación) pertenecientes a 13 poblaciones naturalizadas provenientes de diversos ambientes del nordeste argentino, a los cultivares que se comercializan en Argentina (Kazungula, Narok, Solander y Splenda) y a un material denominado ecotipo local de INTA (McLean y Borrajo, 2015). La recolección de poblaciones naturalizadas fue realizada durante el año 2010 por técnicos de la estación experimental del INTA Mercedes como etapa inicial del programa de mejoramiento genético de especies forrajeras megatérmicas del INTA. Cada sitio de colección fue seleccionado con el fin de tener representados los diversos ambientes, manejos, edades de las pasturas y tipos de suelo (Tabla 1).

**Tabla 1.** Poblaciones naturalizadas recolectadas en distintos ambientes del nordeste argentino, descripción de manejo, año de siembra, ubicación en el paisaje, tipo de suelo y cantidad de materiales evaluados a campo durante los años 2012 y 2013.

<b>Población</b>	<b>Ambiente</b>	<b>Año de siembra/ Manejo/ubicación</b>	<b>Suelo</b>	<b>Plantas evaluadas a campo (2012-2013)</b>
P1	Afloramientos rocosos	Sembrada en 1990/ pastoreo continuo/ media loma	Alfisol	8
P2	Afloramientos rocosos	Sembrada en 1983/ Loma	Alfisol	9
P3	Malezal	Sembrada en 1985/ pastoreo continuo/ bajo inundable	Alfisol	20



P4	Monte de ñandubay	Sembrada en 1980/ rotación con Agricultura/ bordes de cultivo	Molisol	6
P6	Loma colorada	Sin dato de año de siembra/ Banquina del camino vecinal	Ultisol	13
P7	Afloramientos rocosos	Sembrada en 1987/ pastoreo y producción de semilla/ media loma	Alfisol	15
P8	Malezal - bañado	Sembrada en 1996/ pastoreo continuo/ bajo inundable	Alfisol	15
P9	Malezal playo	Sembrada en 1980/ Banquina de camino/ bajo inundable	Alfisol	5
P10	Malezal	Sembrada en 1996	Alfisol	11
P11	Triángulo del nordeste	Sembrada en 1990	Alfisol	19
P12	Loma colorada	Sembrada en 1970	Ultisol	8
P13	Loma colorada Misiones	Sembrada en 1975/ Parcela de evaluación cultivar Narok	Ultisol	10
P14	Loma colorada	Sin dato de fecha de siembra	Ultisol	11

Se plantaron en el campo de la Experimental de INTA Mercedes (Lat.: 29°11'48''S; Long.: 58°02'20''O) en un suelo típico de la Meseta Central Mercedense (orden Molisol, textura: franco-arcillosa, 5,5 ppm de fósforo, pH de 5,4 y 3% de materia orgánica) los individuos de cada población que sobrevivieron luego de 2 años en invernáculo (Tabla 1). Los tratamientos consistieron en las poblaciones (con sus respectivas plantas o genotipos) y los cultivares comerciales: Narok, representada por 20 plantas, Kazungula por 15 plantas, Solander por 14, Splenda por 14 y un material denominado ecotipo INTA proveniente del campo de la experimental por 14 genotipos, haciendo un total de 227 plantas. Cada planta fue clonada y dispuesta en un diseño en bloques completos al azar con 2 repeticiones.

En la presente tesis se utilizaron variables evaluadas en **C0** durante distintos períodos, principalmente otoño - invierno, como se detalla a continuación:

- Durante el invierno del 2012: altura de planta (medida a principios de primavera en cm), materia seca acumulada durante invierno (MS inv. en  $g \cdot planta^{-1}$ ), diámetro de mata (promedio de 2 medidas cruzadas en cm).

- Durante el período estival del 2012-2013: se registró la afección por hongos (presencia y ausencia) y hábito de crecimiento (postrada, semi-erecta y erecta).

- Durante el período otoño-invernal del 2012 y del 2013 se analizó el rebrote invernal (escala 1: poco o nulo crecimiento, 5: elevado crecimiento).

### Desarrollo de la población de base estrecha (PBE)

Se utilizó el siguiente índice de selección con el fin de generar una población a través de la selección individual y por policruzamiento de un sub-grupo de genotipos destacados por varias características evaluadas durante el 2012 y el 2013.

Índice de selección utilizado para generar la población de base estrecha (PBE):

$$Y = (MS \text{ inv.} \cdot 0,15) + (\text{Rebrote inv.} \cdot 0,30) + (\text{Tol. Heladas} \cdot 0,10) + (MS \text{ pri.} \cdot 0,10) + (MS \text{ ver.} \cdot 0,05) + (\text{Altura} \cdot 0,05) + (\text{per. veg. pri.} \cdot 0,1) + (\text{días a máx. flor} \cdot 0,05) + (\text{per. veg. ver.} \cdot 0,05) + (\text{cant. de inflo.} \cdot 0,05)$$

Dónde:

1. MS inv.: materia seca acumulada invernal en  $g \cdot planta^{-1}$ .
2. MS pri.: materia seca acumulada primaveral en  $g \cdot planta^{-1}$ .
3. MS ver.: materia seca acumulada estival en  $g \cdot planta^{-1}$ .
4. Rebrote invernal= aprox. 14 días post-heladas mediante escala 1: poco o nulo crecimiento, 5: elevado crecimiento.
5. Tol. Heladas: presencia de hojas verdes post-heladas mediante estimación visual con escala 1: pobre o nula tolerancia, 5: elevada tolerancia.
6. Altura: medida a principios de primavera en cm.
7. Per. veg. pri.: período vegetativo durante la primavera en días hasta aparición de inflorescencia.
8. per. veg. ver.: período vegetativo durante el verano en días hasta aparición de inflorescencia.

9. Días a máx. flor.: días hasta momento de máxima floración mediante estimación visual.
10. Cant. de inflor.: recuento de inflorescencias por planta y por unidad de superficie en primavera y verano.

Los valores promedios de las variables en cada genotipo fueron previamente transformadas a rangos en Infostat (Di Rienzo et al. 2013) y luego el índice se confeccionó en Microsoft Excel (2010). Los valores multiplicados a las variables corresponden a las ponderaciones de acuerdo a la importancia atribuida a cada una por el grupo de trabajo de la experimental, para esta ponderación se consideraron los caracteres de rendimiento y calidad de forraje (MS y períodos vegetativos primaveral y estival) con un total de ponderación del 30% en el índice, variables relacionadas al rendimiento de semillas (días a máxima floración y cantidad de inflorescencias) con un total de 10% y las de incremento en el desempeño invernal (rendimiento invernal, rebrote post-heladas, tolerancia a heladas y altura de planta) con un total de 60%. De los 227 genotipos se seleccionó el 17,6% superior entre y dentro de poblaciones y cultivares. La P14 se descartó de la selección por su escaso desempeño general, en la P9 y la P10 se obtuvo 1 material seleccionado en cada una, las restantes poblaciones y cultivares tuvieron entre 2 y 3 representantes elegidos y en el ecotipo fueron 4 los materiales selectos.

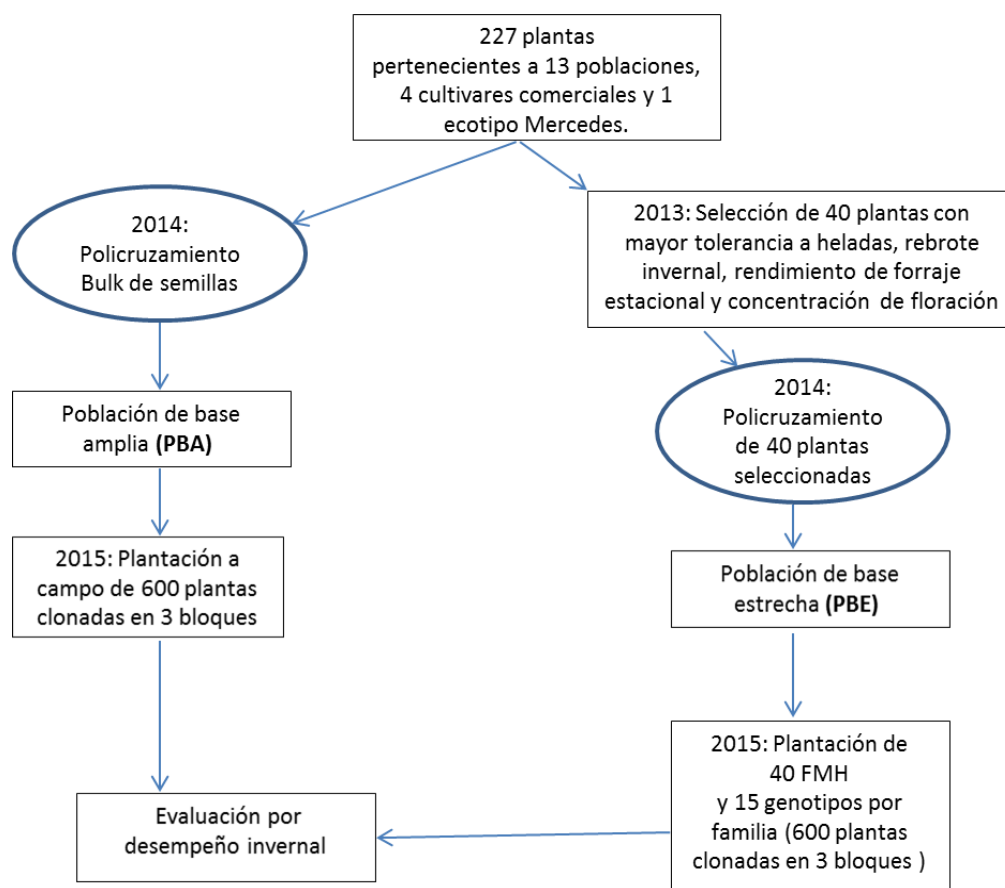
En diciembre de 2013 se trasplantaron macollos de las plantas seleccionadas y se fertilizaron con fósforo (5,9 g de superfosfato triple por planta<sup>-1</sup>), potasio (7,5 g cloruro de potasio por planta<sup>-1</sup>) y nitrógeno (4,6 g de urea por planta<sup>-1</sup>). El diseño utilizado para el policruzamiento fue en bloques completos al azar con 3 repeticiones. Se realizaron 4 cosechas de semillas de todas las plantas en el verano y otoño del 2014 utilizando una bolsa de papel por individuo, sin mezclar las semillas de distintas plantas madres, de esta manera se obtuvieron las 40 familias de medios hermanos maternos (FMH) en la población de base estrecha.

#### Desarrollo de la población de base amplia (PBA)

Durante verano y otoño del 2014 se recolectaron las semillas producidas en todos los materiales del germoplasma inicial en 3 fechas, luego se mezcló toda la semilla haciendo un “bulk” denominando a la población como base sin selección.

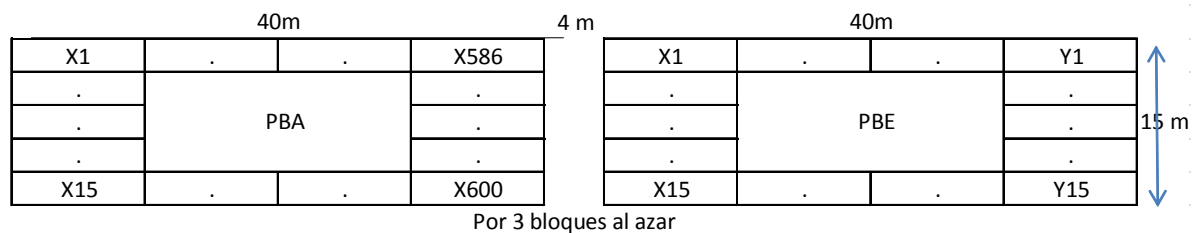
Se sembraron en invernáculo y luego se trasladaron (en Febrero del 2015) 600 genotipos provenientes del bulk de semillas de PBA y 600 genotipos de PBE (15 plantas por FMH) en un predio de 80 m por 45 m en la E.E.A. INTA Mercedes. El suelo presente en el lote fue clasificado como Argiudol vértico, con bajo contenido de fósforo y Ph. El diseño usado fue en bloques completos al azar con 3 repeticiones (clonados por división de macollos). Los fertilizantes y dosis aplicados fueron similares a las descriptas en las parcelas de policruzamiento de la PBE. Los tratamientos fueron PBA y PBE. La parcela tenía 40 \* 15 m (plantas espaciadas a 1m cada una), en PBE ordenadas 15 plantas por cada una de las 40 familias de medios hermanos (FMH) y en PBA 15 plantas por 40 hileras.

En la Figura 1, se esquematiza la secuencia el desarrollo de las poblaciones PBE y PBA, hasta la evaluación del período otoño – invernal del 2015.



**Figura 1.** Diagrama del desarrollo de las poblaciones de base amplia (PBA) y estrecha (PBE) hasta la evaluación a campo en 2015.

Esquema del diseño (X representa cada genotipo en PBA y X e Y familias y sus correspondientes genotipos dentro).



Las variables evaluadas en PBE y PBA fueron:

- \* Rebrote invernal: a los 14 días post-registro de heladas agronómicas o temperaturas bajas (1 a 3,5°C) mediante estimación visual según escala 1: poco o nulo crecimiento, 5: elevado crecimiento.
- \* Materia verde acumulada (MV) al 15/09 mediante corte a 10 cm de altura y estimación de materia seca (MS) a partir de 3 macollos tomados al azar de cada planta haciendo una muestra compuesta cada 50 plantas, se llevó a estufa a 60°C hasta peso constante.
- \* Diámetro de mata (1 sola vez después del corte MV)
- \* Hábito de crecimiento (1 sola vez antes del corte MV)
- \* Altura, previo al corte de MV, con regla desde el suelo hasta la lígula de la hoja más alta.
- \* Inicio de floración, hasta el corte de MV (0: ausencia, 1: presencia).
- \* Incidencia de Enfermedades: se realizó el 5 de marzo del 2016 (0: ausencia o baja presencia de síntomas, 1: presencia moderada a alta).

#### Análisis estadístico:

Las variables cualitativas hábito de crecimiento y afección por hongos foliares fueron comparados a través de frecuencias relativas en cada población. En el Germoplasma inicial (C0) y en las 40 plantas seleccionadas de C0 (C0 sel.) se analizaron los promedios y desvíos estándares de las variables materia seca invernal, altura, diámetro de mata y rebrote invernal promedio de los dos años y se calcularon los coeficientes de variación. Las varianzas de las fuentes de variación del rebrote invernal para cada año y del diámetro de mata en C0 se obtuvieron utilizando el modelo lineal generalizado mixto, con distribución normal, enlace identidad y estimador REML (Modelo I).

Para cada modelo estadístico, se considera su modelo matricial para el modelo generalizado mixto.

#### Modelo estadístico I para obtención de varianzas en C0

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + \varepsilon_{ijk}$$

Siendo  $i: 1, 2$ ;  $j: 1, \dots, 18$ ;  $k: 1, \dots, 227$ ;  $y_{ijk}$  =  $ijk$ -ésima observación de la variable  $y$ ;  $\mu$  = media general;  $\alpha_i$  = efecto aleatorio del  $i$ -ésimo bloque;  $\beta_j$  = efecto aleatorio de la  $j$ -ésima población;  $\delta_k$  = efecto aleatorio del  $k$ -ésimo genotipo;  $\varepsilon_{ijk}$  = error asociado con la  $ijk$ -ésima observación.

Para las **comparaciones entre PBA y PBE** se obtuvieron en principio las medias, desvíos y coeficientes de variación de las poblaciones y luego las variables fueron analizadas usando el modelo generalizado mixto con Infostat (Di Rienzo et al. 2016) debido a la falta de ajuste a la distribución normal de la materia seca invernal y la altura, en cambio diámetro de mata y rebrote invernal tuvieron distribución normal pero a modo de simplificar la obtención de las varianzas y otros estimadores (ver BLUP mas adelante) se procedió con el mismo modelo pero con distribución normal con enlace identidad. Se utilizó el software Infostat (Di Rienzo et al. 2016) y las comparaciones de medias utilizadas fue LSD (Fisher) al 5%. Para estas comparaciones los efectos fijos fueron las poblaciones y los aleatorios los bloques y genotipos (Modelo II).

#### Modelo estadístico II para la comparación entre PBA y PBE

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + \varepsilon_{ijk}$$

Siendo  $i: 1, 2, 3$ ;  $j: PBA, PBE$ ;  $k: 1, \dots, 600$ ;  $y_{ijk}$  =  $ijk$ -ésima observación de la variable  $y$ ;  $\mu$  = media general;  $\alpha_i$  = efecto aleatorio del  $i$ -ésimo bloque;  $\beta_j$  = efecto fijo de la  $j$ -ésima población;  $\delta_k$  = efecto aleatorio del  $k$ -ésimo genotipo;  $\varepsilon_{ijk}$  = error asociado con la  $ijk$ -ésima observación.

En materia seca (MS) y altura se ajustó mejor (AIC y BIC) la distribución Gamma con enlace log. Para diámetro y rebrote se utilizó la distribución Normal con enlace identidad. Posteriormente estas dos variables se analizaron en cada población por separado a fin de obtener los componentes de varianzas de los efectos aleatorios, en el caso de la PBA entre genotipos (Modelo III) y en el caso de PBE entre familias y genotipos dentro de

familias (Modelo IV), en ambos casos con el estimador REML y se solicitaron los valores de **BLUP** (*Best Linear Unbiased Prediction*) para cada fuente de variación, en cada población y variable.

Modelo III: para la obtención de varianzas en PBA

$$y_i = \mu + \alpha_i + \varepsilon_i$$

Siendo  $i: 1, \dots, 600$ ;  $y_i$  =  $i$ -ésima observación de la variable  $y$ ;  $\mu$  = media general;  $\alpha_i$  = efecto aleatorio del  $i$ -ésimo genotipo;  $\varepsilon_i$  = error asociado con la  $i$ -ésima observación.

Modelo IV: para la obtención de varianzas en PBE

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Siendo  $i: 1, \dots, 40$ ;  $j: 1, \dots, 600$ ;  $y_{ij}$  =  $ij$ -ésima observación de la variable  $y$ ;  $\mu$  = media general;  $\alpha_i$  = efecto aleatorio de la  $i$ -ésima familia;  $\beta_j$  = efecto aleatorio del  $j$ -ésimo genotipo;  $\varepsilon_{ij}$  = error asociado con la  $ij$ -ésima observación.

Con las varianzas se calcularon los coeficientes de variación genética (CVG) =  $(\sqrt{\sigma^2 G} * 100) / \bar{X}$ , donde  $\sigma^2 G$ : varianza genética y  $\bar{X}$ : media aritmética de acuerdo a Burton y DeVane (1953).

Se estimaron las **heredabilidades en sentido amplio** ( $H^2$ ) del rebrote invernal y del diámetro de mata en cada población en base genotípica (promedio de clones) según la fórmula:

$$H^2 = \sigma^2 G / (\sigma^2 G + \sigma^2 E / R)$$

Siendo:  $\sigma^2 G$ : varianza genética,  $\sigma^2 E$ : varianza del error y  $R$ : repeticiones (Hacker y Cuany, 1997).

Los errores de estimación de la  $H^2$  se realizaron de acuerdo a la fórmula:

$$E.E. (H^2) = \sqrt{\{2 (N-1) (1-[H^2]^2) + [1+ (K_2-1) H^2]^2\} / [K_2^2 (N-K_1) (N-1)]}$$

Donde  $N = K_1 \cdot K_2$ ,  $K_1$  = genotipos experimentales y  $K_2$  = número de repeticiones (Mariotti y Collavino, 2014), luego se compararon las heredabilidades obtenidas en cada población.

Las **heredabilidades en sentido estricto** ( $h^2$ ) de las variables rebrote invernal y diámetro de mata se estimaron solamente en la PBE utilizando diferentes fórmulas:

- De acuerdo a Nguyen y Sleper (1983) en base individual:

$$h^2 = (4 * \sigma^2\text{Fliar}) / \sigma^2\text{Fliar} + \sigma^2 + \sigma^2w$$

Siendo  $\sigma^2w$ = varianza entre plantas individuales dentro de las parcelas;  $\sigma^2$  = varianza del error;  $\sigma^2\text{Fliar}$  =varianza familiar.

- De acuerdo a Nguyen y Sleper (1983) en base a las medias fenotípicas de FMH:

$$h^2 = \sigma^2\text{Fliar} / [\sigma^2\text{Fliar} + (\sigma^2 / r) + (\sigma^2w / r. n)]$$

Dónde: r = 3 y n = 15.

- De acuerdo a Fehr (1987): a través de la regresión lineal entre madres y media de las FMH:

$$h^2 = 2 * b$$

Siendo: b= coeficiente de regresión lineal.

Luego se compararon los resultados de  $h^2$  obtenidos en cada variable a fin de determinar la unidad de selección recomendada (individual o familiar).

Se estimó la **correlación** de Pearson entre las variables relacionadas al desempeño invernal (materia seca invernal, altura, rebrote invernal y diámetro de mata) evaluadas en las poblaciones C0, PBE y PBA.

Se calculó la **heredabilidad realizada** del rebrote invernal de acuerdo a la siguiente fórmula (Bernardo, 2002):

$$\begin{aligned} h^2_r &= R (\text{respuesta}) / S (\text{diferencial de selección}) \\ &= (\mu\text{PBE} - \mu\text{C0}) / (\mu\text{C0sel.} - \mu\text{C0}) \end{aligned}$$

Dónde:  $\mu\text{PBE}$ = media de la población de base estrecha,  $\mu\text{C0}$ = media de la población C0 o germoplasma inicial y  $\mu\text{C0sel.}$ = media de los genotipos seleccionados en C0

Se estimó la **respuesta esperada** del rebrote invernal por selección del 15% superior de PBE a través de

$$R = K_p * \sqrt{\text{Var.fenotípica}} * h^2$$

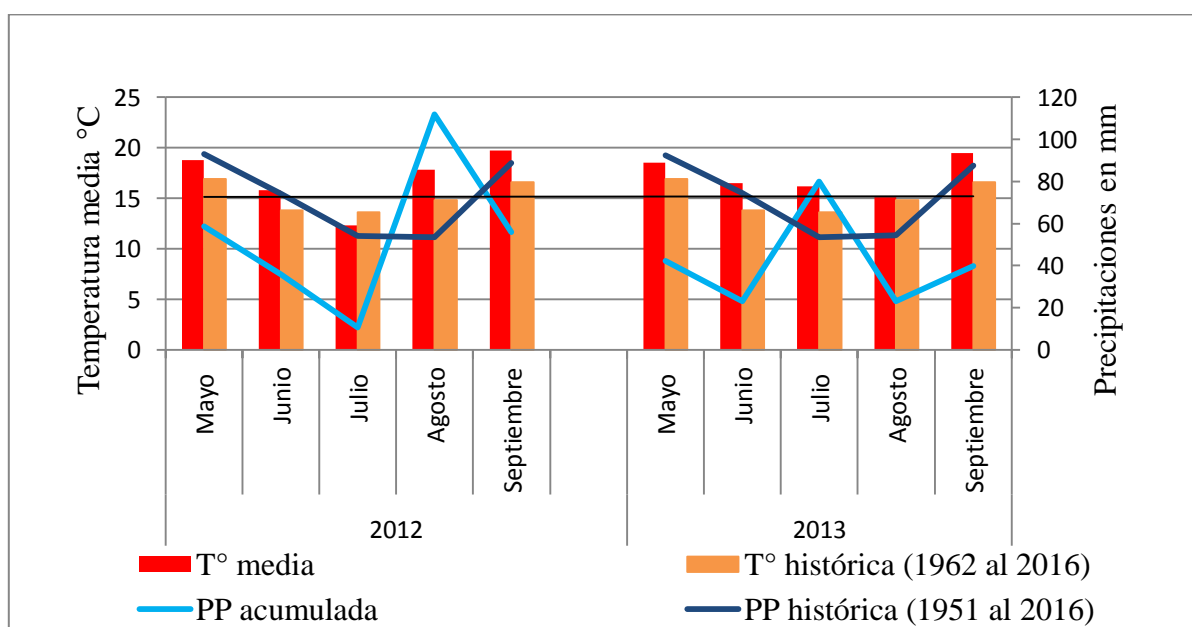
Donde R= respuesta esperada,  $K_p$  = diferencial de selección estandarizado (valor de Tabla para el 15% de selección),  $\sqrt{\text{Var.fenotípica}}$ = desvío fenotípico y  $h^2$ = heredabilidad realizada del rebrote invernal en PBE (Bernardo, 2002).



## Resultados y Discusión

### Datos meteorológicos otoño - invernales 2012 y 2013

La temperatura media registrada en los meses de evaluación durante 2012 fue de 16,9°C y en 2013 de 17,2°C, ambas superiores a la media histórica de la zona de 15,1°C para esos meses (Figura 2). La acumulación de precipitaciones (mm) durante el período fue inferior al histórico en ambos años (-91 mm en 2012 y - 156 en 2013), si bien en 2013 llovió menos fue más estable el aporte durante esos meses, es de notar el escaso aporte en julio del 2012 contra el mismo mes del 2013. Durante el año 2012 se presentaron 9 heladas meteorológicas y 5 durante el 2013, el promedio histórico en la E.E.A. Mercedes es de 6 heladas meteorológicas al año.

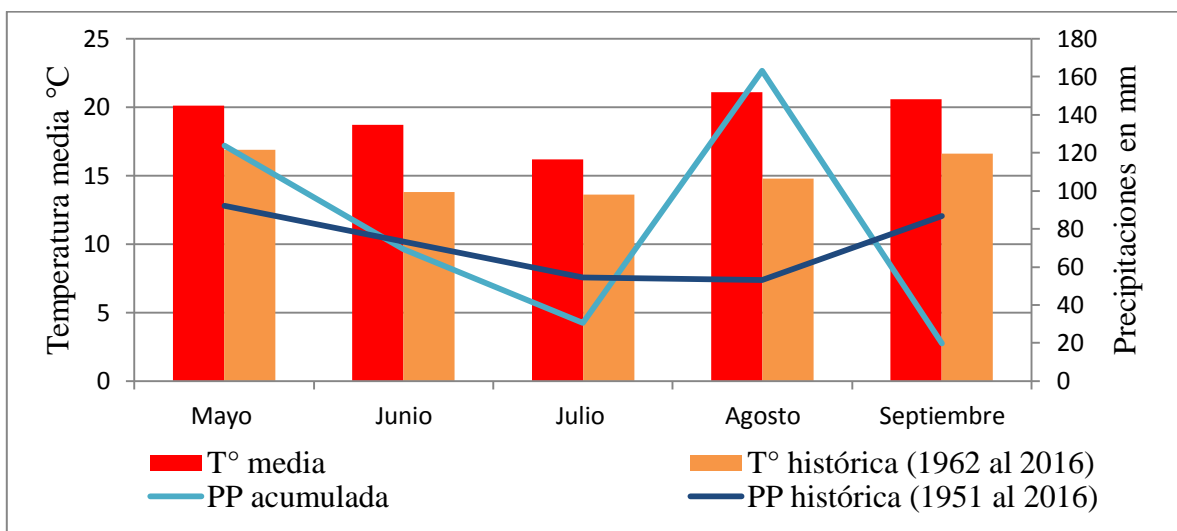


**Figura 2.** Temperaturas medias mensuales en °C durante 2012 y 2013 y las históricas (desde 1962 al 2016) y Precipitaciones acumuladas mensuales en mm durante 2012 y 2013 y las históricas (desde 1951 al 2016) registradas en la E.E.A. INTA Mercedes.

### Datos meteorológicos otoño - invernales del 2015

Como se puede observar en la Figura 3, las temperaturas medias mensuales durante 2015 fueron superiores a las históricas y con mayores aportes de lluvia durante ese período

(+ 43mm) y no se presentaron heladas meteorológicas, lo cual aseguró un buen crecimiento del pasto durante el invierno.



**Figura 3.** Temperaturas medias mensuales en °C durante 2015 y las históricas (desde 1962 al 2016) y Precipitaciones acumuladas mensuales en mm durante 2015 y las históricas (desde 1951 al 2016) registradas en la E.E.A. INTA Mercedes.

### **Evaluación y selección dentro del germoplasma inicial (C0)**

La estadística descriptiva de las variables de desempeño invernal de la población denominada C0 conformada por 227 individuos (o genotipos) y de las 40 seleccionadas de las 227 se presenta en la Tabla 2. En esta se observan los promedios, desvíos estándares y coeficientes de variación de cada atributo a fin de comparar entre ambos grupos de plantas los cambios debidos a la selección del 17,6 % superior a través del índice detallado en la página 23. El rebrote invernal es promedio de 2 años (2012 y 2013).

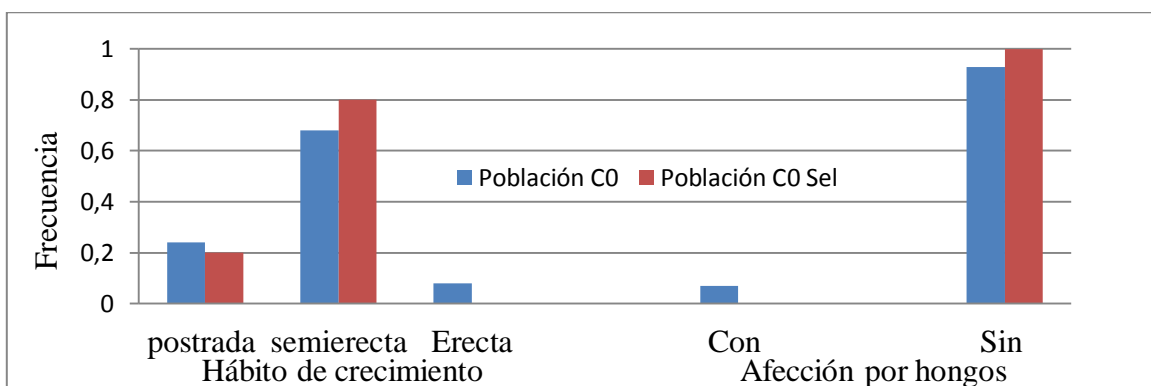
**Tabla 2.** Media, Desvío estándar (D.E.) y coeficiente de varianza (CV) de las variables invernales evaluadas en el germoplasma inicial (C0) y de los 40 individuos seleccionados de C0.

<b>Población</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Materia Seca (g/planta)</b>	<b>Diámetro de mata (cm)</b>	<b>Rebrote invernal promedio de 2 años (escala 1: poco o nulo crecimiento, 5: elevado crecimiento)</b>
<b>C0</b> <b>(227 individuos)</b>	Media	36,1	101,6	47,7	3,0
	D.E.	8,6	49,5	6,7	0,6
	CV	0,23	0,49	0,14	0,20
<b>C0 seleccionadas</b> <b>(40 individuos)</b>	Media	39,0	121,6	51,2	3,5
	D.E.	7,8	58,2	6,8	0,5
	CV	0,20	0,48	0,13	0,14

Como puede observarse, los promedios de las variables evaluadas durante invierno fueron superiores en el grupo de plantas seleccionadas, incluso el diámetro de mata, variable que no había sido considerada en el índice de selección. Esto sugiere la posibilidad de encontrarse una correlación positiva entre esta y las demás variables o alguna de ellas en particular. La altura y el diámetro de mata presentaron los menores incrementos en C0 seleccionadas (8 y 7,3% respectivamente) y los mayores se obtuvieron en rendimiento y en rebrote invernal con el 19,7% y 16,7% respectivamente. Los coeficientes de variación en todos los caracteres fueron mayores en C0 que en C0 seleccionadas, indicando por lo tanto un comportamiento más homogéneo en el grupo de las 40 plantas seleccionadas de C0. La varianza se reduce por la selección debido a que los materiales selectos proceden de una cola de la distribución de cada variable en la población y esto tendrá efectos sobre las varianzas y heredabilidades en las siguientes generaciones.

La comparación del hábito de crecimiento y la afección por hongos foliares (*Pyricularia sp.*) de los genotipos en C0 y en las 40 plantas seleccionadas se realizó a través de las frecuencias relativas en cada grupo de plantas (Figura 4), se observó que el grupo

seleccionado no poseía ningún representante de crecimiento erecto ni tampoco genotipos que hayan presentado manchas foliares.



**Figura 4.** Frecuencias de genotipos con los distintos hábitos de crecimiento y afección por hongos foliares observados en los 227 genotipos de la población C0 y en los 40 genotipos seleccionados (C0 Sel.).

Wijk (1980) encontró una relación positiva entre el mayor vigor de crecimiento y el porte erecto de las plantas de *S. sphacelata* y expresó que dicho porte está relacionado con una floración más temprana que las de hábito postrado o semi-erecto. Aunque entre las 40 plantas seleccionadas no habían representantes de hábito erecto, la mayor proporción de plantas de porte semi-erecto en las 40 con respecto a las 227 podría estar determinado por la compensación producida por la utilización del rebrote o vigor de crecimiento invernal, el mayor período vegetativo en primavera y la altura, entre otros, dentro del índice de selección (ver Índice en página 23). Con respecto a la afección por hongos foliares, si bien fue baja la proporción de plantas con síntomas visibles de la enfermedad (*Pyricularia sp.*), se tuvieron en cuenta para descartar de la selección aquellos materiales que presentaban manchas aunque ello no asegura que con mayor presión de la enfermedad no se detecte la afección dentro de las 40 plantas.

### **Comparaciones entre la población de base amplia (PBA) y estrecha (PBE)**

Las mayores diferencias en desempeño invernal se detectaron por el mayor rendimiento de forraje, dado por la mayor altura y diámetro de mata, e incrementado a su

vez por el rebrote a menores temperaturas durante la estación, esto no implica mejor calidad, lo cual estaría más determinado por el estado fenológico de los genotipos.

**Tabla 3.** Comparaciones de medias ajustadas entre población de base amplia (PBA) y estrecha (PBE) y grado de significancia ( $p \leq 0,05$  LSD Fisher) de las variables evaluadas durante el período invernal.

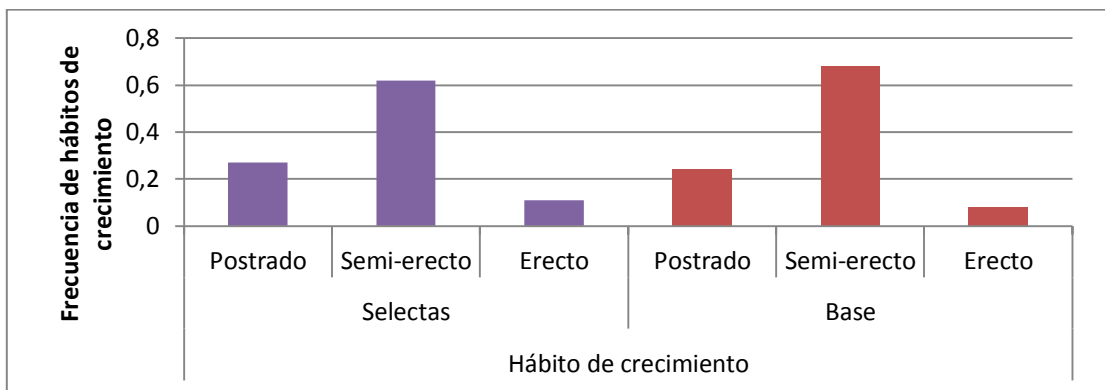
<b>Población</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Materia seca (g/planta)</b>	<b>Diámetro de mata (cm)</b>	<b>Rebrote invernal (escala 1: poco o nulo crecimiento, 5: elevado crecimiento)</b>
<b>PBA</b>	23,9	20,7	16,2	3,1
<b>PBE</b>	28,5	27,0	17,4	3,3
<b>Significancia</b>	**	***	**	**

Significancia: ns no significativo ( $> 0,05$ ); \* significativo (entre 0,05 y 0,01); \*\* muy significativo (entre 0,01 y 0,001); \*\*\* altamente significativo ( $< 0,001$ ).

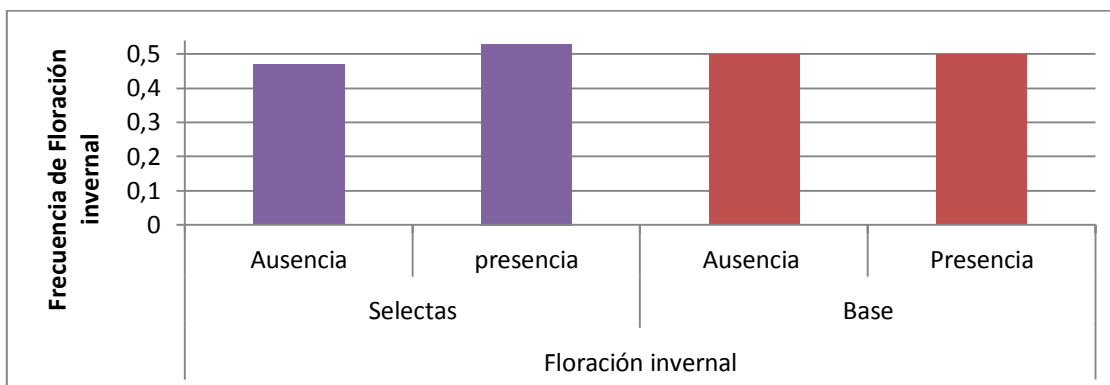
Los promedios poblacionales de PBE fueron superiores y con diferencias significativas en los caracteres invernales considerados, demostrando el mejoramiento obtenido por la selección fenotípica aplicada. Jank et al. (2002) a través de 3 ciclos de selección por supervivencia invernal en poblaciones de *S. sphacelata* modificaron varias características del canopeo, y aunque las tendencias no fueron consistentes para ningún carácter, en el primer ciclo de selección, en un sitio, lograron incrementos en la altura del canopeo.

El coeficiente variación del diámetro de mata fue menor en la PBE con 27,2% contra los 29,9% en PBA (Anexo Tabla I). En rebrote invernal no fue muy diferente el coeficiente en cada población (alrededor de los 21%) y en las otras variables con datos sin ajustar los coeficientes fueron muy elevados en las dos poblaciones debido al tipo de distribución (Gamma) de las variables pero en ambos casos superiores en PBA. Excepto lo obtenido en el rebrote invernal, se esperaba que el coeficiente de variación sea menor en la PBE debido a la selección realizada para generarla, aumentando de este modo la homogeneidad.

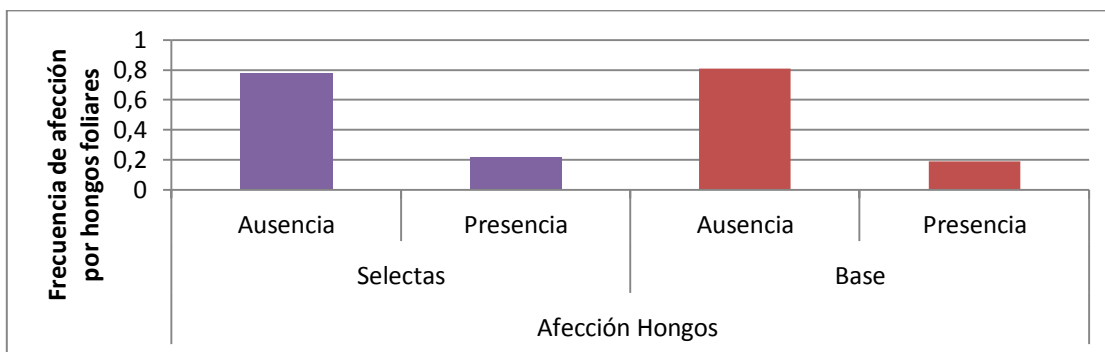
Las dos poblaciones presentaron similares cantidades de genotipos con cada hábito de crecimiento, en estado reproductivo al finalizar el invierno y en genotipos afectados por hongos foliares (Figuras 5, 6 y 7).



**Figura 5.** Frecuencia de hábitos de crecimiento (postrado, semi-erecto, erecto) en la población de base amplia y de base estrecha.



**Figura 6.** Frecuencia de genotipos con y sin floración invernal en la población de base amplia y de base estrecha.



**Figura 7.** Frecuencia de genotipos con alta y baja incidencia de hongos (ausencia de manchas, presencia de manchas) en la población de base amplia y de base estrecha.

El promedio de las frecuencias de genotipos con hábito de crecimiento postrado de las dos poblaciones fue del 26%, 65% fueron semi-erectos y 9% erectos (Figura 5); en cuanto al estado fenológico (Figura 6) el 51% de las plantas (promedio de ambas poblaciones) presentaron al menos 3 inflorescencias emergidas al final del invierno y el 20% de las plantas presentaron daños por hongos foliares (Figura 7). De acuerdo a lo presentado en la comparación entre C0 y el promedio de las 40 plantas seleccionadas de C0 se esperaba que en PBE se encontraran mayores frecuencias de plantas semi-erectas que en PBA, aunque la ausencia de genotipos de porte erecto en las 40 plantas seleccionadas podría haber influido en la compensación de las frecuencias entre PBA y PBE, en cambio se esperaba una menor proporción de plantas florecidas al final del invierno en PBE asumiendo algún efecto debido a la incorporación en el índice de selección de atributos de promoción de la floración tardía (ver. Per.veg. pri. en el Índice de la página 23). En cuanto a la afección por hongos, aunque Hacker y Bray (1981) sugirieron que la resistencia a *Pyricularia grisea* podría estar controlada por un gen de herencia tetrasómica con 2 alelos necesarios para la expresión de la resistencia, en este trabajo, discriminando a los que presentaron síntomas de la presencia de *Pyricularia sp.* no se obtuvieron las ventajas esperadas en la PBE. Ambas poblaciones tuvieron igual frecuencia de plantas afectadas, probablemente, al continuar con la selección en contra de la presencia del hongo, se puedan observar en futuras poblaciones un mayor grado de resistencia al hongo.

### **Componentes genéticos y heredabilidades**

A partir de las varianzas de cada fuente de variación en cada población, se obtuvieron las heredabilidades en sentido amplio ( $H^2$ ) o grado de determinación genético del diámetro de mata y del rebrote invernal y sus correspondientes errores de estimación (Tabla 4). En dicha Tabla se pueden observar los valores de  $H^2$  que en general son más elevados en C0, intermedios en PBE y los más bajos estimados en PBA tanto para el diámetro de mata como para el rebrote invernal. En C0 se separaron las heredabilidades estimadas por año de evaluación del rebrote invernal. Los errores de estimación no fueron elevados en ningún carácter ni población, aunque algo superiores en el germoplasma inicial (C0).

**Tabla 4.** Varianza genética (V.G.), coeficiente de varianza genética en % (C.V.G.), heredabilidad en sentido amplio ( $H^2$ ) basado en los individuos y errores de estimación de la heredabilidad (E.E.) del diámetro de mata y del rebrote invernal evaluadas en el germoplasma inicial (C0), la población de base amplia (PBA) y en la población de base estrecha (PBE).

Variable	V.G.			C.V.G.			$H^2$ (E.E.)		
	C0	PBA	PBE	C0	PBA	PBE	C0	PBA	PBE
Diámetro de mata	24,96	2,72	4,25	10,79	10,18	11,84	<b>0,59</b> (0,045)	<b>0,28</b> (0,013)	<b>0,41</b> (0,012)
Rebrote invernal	0,22* 0,47**	0,08	0,08	13,40* 26,88**	9,12	8,57	<b>0,61*</b> (0,037) <b>0,71**</b> (0,033)	<b>0,34</b> (0,027)	<b>0,48</b> (0,012)

\*Evaluada en 2012 y \*\* en el año 2013 en el germoplasma inicial (C0)

El C.V.G. sirve como un índice del potencial de avance genético que puede ser logrado con poblaciones similares a las estudiadas (Burton y DeVane, 1953). Es decir, para la mejora por rebrote invernal se esperaría un mayor avance con C0, y en crecimiento de mata con la utilización de la PBE como fuente de selección.

La heredabilidades en sentido amplio fueron altas a moderadas de acuerdo a Stanfield (1971) en todas las poblaciones y caracteres evaluados con máximos de 0,71 en el rebrote invernal estimado del 2013 en C0 y los menores en el diámetro de mata con un mínimo de 0,28 en la PBA. Acuña et al. (2009) en *Paspalum notatum* encontraron valores de  $H^2$  del rebrote primaveral y otoñal entre 0,85 y 0,82, si bien son superiores a los valores estimados en este trabajo, hay que remarcar que tales valores correspondían a otra especie y en particular para las poblaciones estudiadas. En PBE se esperaba detectar los menores valores de heredabilidad producto del proceso de selección aplicado, sin embargo, esto se observó en PBA en ambas variables. Según Falconer y Mackay (1996), al comenzar a seleccionar se produce una reducción de la varianza y la heredabilidad de la progenie en la primera generación y en las sucesivas aunque en estas los cambios experimentados son cada vez menores.



Las varianzas familiares obtenidas en la PBE permitieron la estimación de la  $h^2$  en base individual y a través de las medias fenotípicas de las familias de medios hermanos (Tabla 5). También se obtuvo la  $h^2$  a partir de la relación padres y descendencia utilizando los datos obtenidos en cada madre y el promedio de lo obtenido en cada familia.

De acuerdo a los datos obtenidos con los diferentes métodos se puede sugerir a los individuos como unidad de selección dada la mayor heredabilidad en base individual de acuerdo a Nguyen y Sleper (1983). La selección individual para cada carácter podría realizarse con el uso de los Blups de cada unidad de recombinación, se puede apreciar un mayor rango de valores de Blups en diámetro versus el rango en rebrote invernal (Tabla 5).

Se puede notar claramente una disminución de la estimación desde la base individual hasta la de regresión lineal madre-descendencia. Si bien se esperaría un mayor valor en base a las medias fenotípicas, este fue intermedio, y el cálculo de la regresión presentó muy bajo ajuste ( $R^2 = 0,05$ ) y p-values  $> 0,05$ . En el caso del diámetro de mata, según este cálculo casi todo el efecto sería ambiental, en cambio con la  $h^2$  en base individual, el efecto ambiental desciende casi a la mitad.

**Tabla 5.** Varianzas familiares ( $\sigma^2_{Fliar}$ ), Heredabilidades en sentido estricto ( $h^2$ ) basado en los individuos y heredabilidades en sentido estricto basado en las medias de las familias de medios hermanos (FMH) y por el método de regresión entre un padre y la media familiar. Unidad de selección recomendada de acuerdo a la  $h^2$  y rango de valores BLUPs del diámetro de mata y del rebrote invernal en la población de base estrecha (PBE).

Variable	$\sigma^2_{Fliar}$	Heredabilidad ( $h^2$ )			Unidad de selección recomendada de acuerdo a la $h^2$	Rango de BLUPs de la unidad de recombinación recomendada
		Base Individual	Base en medias fenotípicas de FMH	Regresión lineal		
Diámetro de mata	2,52	0,45	0,29	0,02	Individual	-2,1 a 1,7
Rebrote invernal	0,04	0,41	0,30	0,20	Individual	-1,0 a 0,5

En rebrote invernal se encontraron valores adecuados entre las heredabilidades en sentido amplio y estricto en base individual, ya que este último, al utilizar solamente la varianza aditiva en el numerador, puede ser igual o menor a la heredabilidad en sentido amplio cuyo numerador es la varianza genética. Esto no se observó en el caso de diámetro de mata, los cuales tuvieron mayores valores de  $h^2$  en base individual que de  $H^2$ . Esto puede deberse a los métodos de estimación usados (como se observa en la Tabla 5), los métodos también pueden arrojar valores diferentes dentro del mismo tipo de heredabilidad como se observó en el párrafo anterior. En ensayos conducidos con distintas poblaciones de *S. sphacleata* (Wijk, 1980), se obtuvieron valores de  $h^2$  de 0,42 para el rendimiento de materia seca por planta utilizando componentes de varianza y de 0,12 utilizando regresiones. Jank et al. (2002) luego de 1 a 3 ciclos de selección obtuvieron valores de  $h^2$  en el carácter supervivencia invernal del orden de 0,50 a 0,35 en base familiar, valores similares a los obtenidos en la presente tesis (entre 0,20 y 0,41 dependiendo del método de estimación utilizado).

### Correlaciones entre variables de desempeño invernal

Las asociaciones entre variables o correlaciones fenotípicas obtenidas entre variables de desempeño invernal en la población C0 (Tabla 6) solo fueron muy significativas entre materia seca invernal y altura de planta ( $r=0,56$ ) y entre materia seca invernal y diámetro de mata ( $r=0,37$ ); las asociaciones significativas ( $p$ -value entre 0,01 y 0,05) se dieron entre el rebrote invernal con la altura y con la materia seca invernal ( $r=0,17$  y 0,18 respectivamente). Entre las demás no se observaron correlaciones significativas.

**Tabla 6.** Correlación de Pearson de las variables en el germoplasma inicial o C0. Coeficientes\probabilidades (ns: no significativo).

	Rebrote	Diámetro	Altura	MS inv.
Rebrote	1	ns	0,01	0,01
Diámetro	-0,02	1	ns	<0,0001
Altura	0,17	0,07	1	<0,0001
MS inv	0,18	0,37	0,56	1

En cambio, entre las mismas variables en las poblaciones de base amplia y estrecha, todas las correlaciones fueron significativas y elevadas (Tabla 7), nuevamente hay que remarcar la elevada correlación fenotípica entre la materia seca invernal y la altura ( $r=0,77$  en PBA y  $r=0,64$  en PBE), seguida por la correlación positiva entre rebrote invernal y el rendimiento de materia seca ( $r=0,68$  en PBA y  $r=0,66$  en PBE).

**Tabla 7.** Correlación de Pearson de las variables evaluadas en las poblaciones de base amplia y población de base estrecha. Coeficientes\probabilidades. Todas fueron altamente significativas ( $<0,0001$ ).

	Población de base amplia				Población de base estrecha			
	Rebrote	Diámetro	Altura	MS inv.	Rebrote	Diámetro	Altura	MS inv.
Rebrote	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Diámetro	0,62	1	<0,0001	<0,0001	0,51	1	<0,0001	<0,0001
Altura	0,64	0,46	1	<0,0001	0,48	0,26	1	<0,0001
MS inv	0,68	0,59	0,77	1	0,66	0,52	0,64	1

Los atributos relacionados al desempeño invernal tuvieron correlaciones positivas y significativas en PBA y PBE lo cual sugiere el posible uso de la/las variables con altos valores de heredabilidad y de fácil medición como el rebrote invernal para el mejoramiento conjunto del desempeño invernal. El índice de selección podría contener una sola variable por ejemplo:  $Y_{individual} = BLUPs$  de rebrote invernal (considerando la presencia de hongos).

Según Hacker y Bray (1981), cualquier potencial de crecimiento a bajas temperaturas en *S. spbacelata* es en gran parte una función del vigor general más que una respuesta específica a bajas temperaturas. Por lo tanto, una mejora por este atributo estaría relacionada al mejoramiento no solo en rendimiento de forraje invernal, sino también para las demás estaciones.

## Respuesta a la selección

Heredabilidad realizada del rebrote invernal

A partir de los valores medios del C0, C0 seleccionadas (Tabla 2) y de las medias de PBE (Tabla 3), se obtuvo la heredabilidad realizada ( $h^2_r$ ) del carácter rebrote invernal.

$$h^2 \text{ realizada} = \frac{\mu_{\text{PBE}} - \mu_{\text{P0}}}{\mu_{\text{P0sel}} - \mu_{\text{P0}}} = \frac{R \text{ (respuesta)}}{S \text{ (diferencial de selección)}} = \frac{3,27 - 3,04}{3,52 - 3,04} = 0,48$$

El valor obtenido fue de 0,48 con una intensidad de selección del 17,5%. Este valor es igual a la  $H^2$  de PBE (Tabla 4) y cercana a  $h^2$  obtenida en base individual (Tabla 5) y se encuentra entre los valores más frecuentes en la práctica ( $0,2 < h^2 < 0,8$ ) según Mariotti y Collavino (2014), es decir que el 48% de la variabilidad fenotípica observada pueden ser justificada por efectos genéticos de tipo aditivo siendo el resto efectos ambientales y genéticos no transferibles entre generaciones reproductivas. Jank et al. (2002) obtuvieron una  $h^2$  de 0,5 en el Ciclo 1 de con una intensidad de selección del 20% y una ganancia esperada del 17,4%.

Respuesta Esperada a la selección por rebrote invernal

La respuesta que se espera aplicando una intensidad de selección del 15% en la PBE y de acuerdo al valor obtenido de  $h^2_r$  es de 0,51 puntos más en rebrote invernal.

$$R = Kp * \sqrt{\text{Var.fenotípica}} * h^2_r$$

Respuesta esperada por selección de 15% superior

$$R \text{ esperada} = 1,55 * 0,687 * 0,48 = 0,51$$

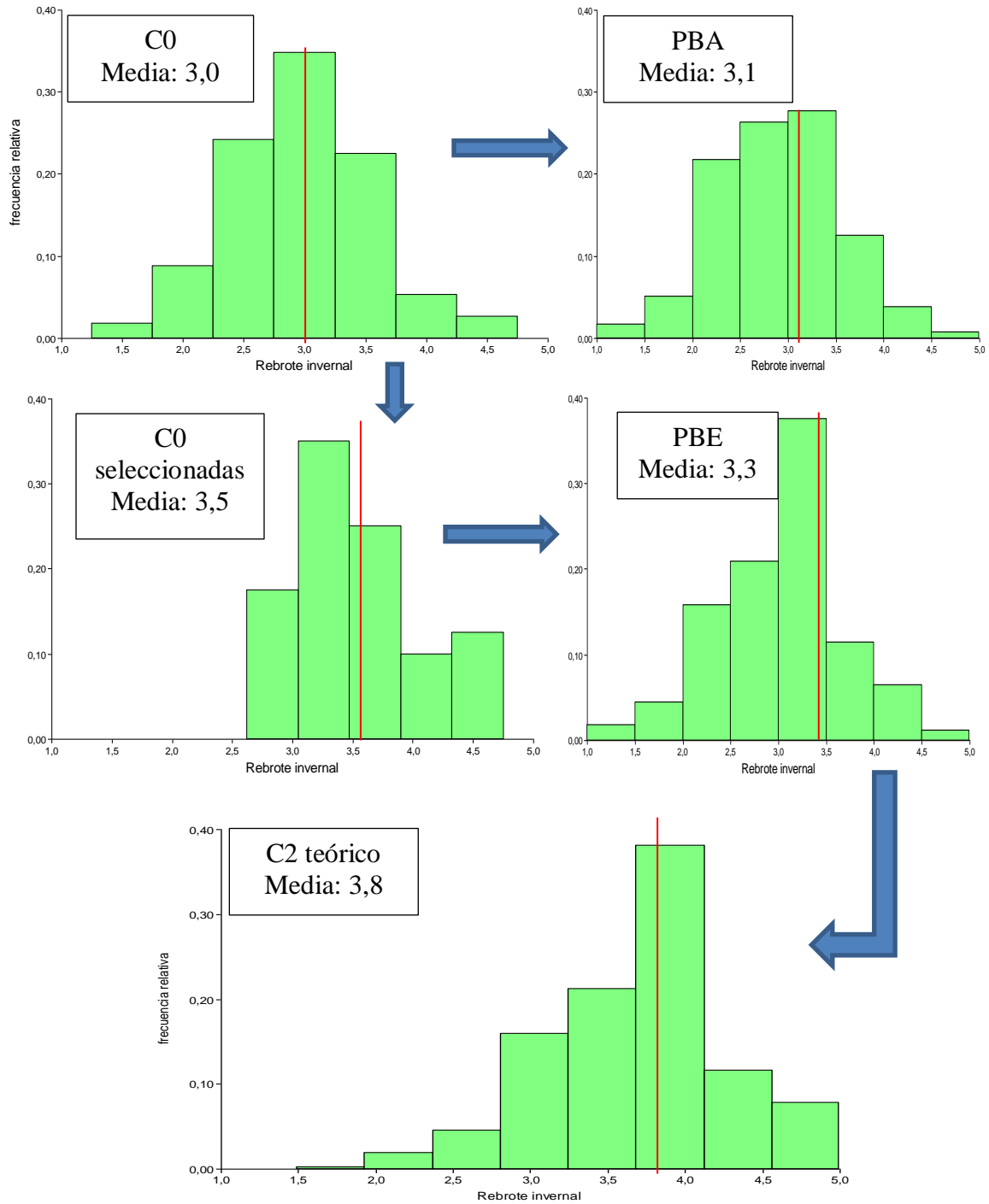
Esto implica que con esas condiciones una nueva población generada con dicha intensidad de selección (lo que sería una población C2) debería manifestar una media de 3,8 puntos en la escala de rebrote invernal.

## **Conclusión**

Al caracterizar las poblaciones y compararlas se evidenció el efecto dado por la selección fenotípica aplicada y la importancia de las correlaciones entre variables. El diámetro de mata en PBE fue superior al de PBA, y esto estaría asociado a la correlación positiva que tiene este carácter con el rendimiento de materia seca invernal, sin embargo, otros caracteres se presentaron con igual frecuencia en PBE y en PBA cuando lo esperado era una menor proporción en PBE por haberse realizado una selección negativa como en el caso de la afección por hongos.

La importancia de contar con estas dos poblaciones radica en la posibilidad de seguir con distintos tipos de selección y aprovechar en los procesos de mejoramiento la variabilidad contenida en cada una de ellas. Los índices utilizados en la selección fenotípica deben comprender aquellos atributos de mayor heredabilidad, fácil medición y con estimadores que permitan mayor precisión en la elección de los genotipos superiores. Estas características se resumen en el índice de selección definido por una sola variable y utilizando los valores de BLUP que en el caso de la población de base estrecha fue el rebrote invernal estimado visualmente. Este presentó una heredabilidad realizada moderada de 0,48, es de fácil medición en planta aislada, no destructivo y está asociado positivamente con los demás caracteres relacionados con el desempeño invernal.

Los cambios producidos en el rebrote invernal en cada población y lo esperado en una población teórica C2 se pueden observar en la Figura 8.



**Figura 8.** Flujo de cambios de frecuencias relativas y medias en las poblaciones C0, C0 seleccionadas (40 plantas seleccionadas), base amplia (PBA), estrecha (PBE) y la C2 teórica de acuerdo a la respuesta esperada de la selección del 15% superior de PBE. La línea roja marca el 3 en la escala visual de rebrote (1: poco o nulo crecimiento, 5: elevado crecimiento).

## CAPÍTULO 2

### EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE GENOTIPOS EN DOS POBLACIONES DE *SETARIA SPHACELATA* SIMULANDO LAS CONDICIONES INVERNALES EN CÁMARA DE CRECIMIENTO Y SU RELACIÓN CON EL DESEMPEÑO A CAMPO

#### Introducción

Las pérdidas económicas por congelamiento se extienden hasta las regiones subtropicales del mundo donde los episodios erráticos de heladas y congelamiento pueden limitar el crecimiento del forraje y la performance animal (Breman et al. 2008). La discriminación por tolerancia al congelamiento y crecimiento a bajas temperaturas es muy importante en los programas de mejoramiento cuyo fin sea el de extender el período de aprovechamiento, incrementar el rendimiento de forraje durante el invierno y la adecuación de las especies tropicales y subtropicales a distintas regiones.

La variación de la tolerancia a las heladas ha sido reportada para varias especies forrajeras tropicales, en cambio, pocas veces ha sido caracterizada la diversidad en las susceptibilidades a las bajas temperaturas dentro de las especies (Breman et al. 2008). A su vez, esta variación no siempre se puede evaluar a campo ya que está condicionada por la ocurrencia de períodos de estrés e intensidades adecuadas. Con el objetivo de obtener metodologías y condiciones óptimas para la evaluación, caracterizar el comportamiento entre y dentro de especies y detectar los caracteres involucrados en la tolerancia al congelamiento se han realizado diferentes ensayos en condiciones controladas con distintas especies forrajeras (Hacker et al. 1974; Breman et al. 2008; Breman et al. 2009).

Según Forde y Davies (1979) entre los factores que afectan la susceptibilidad a las heladas en pasturas tropicales se encuentran:

- Pre-acondicionamiento (o fortalecimiento): se maximiza en estas especies cuando las temperaturas previas a las heladas son de 10°C o menos. Ensayos con *S. sphacelata* cultivar Narok y *Panicum maximum* expuestas a distintas

temperaturas nocturnas han arrojado menores valores de daño por congelamiento cuando se mantenían durante 8 días con temperaturas nocturnas de 10°C comparados con 8 días con temperaturas nocturnas de 15°C y sin período de pre-acondicionamiento (14,5% de materia seca muerta vs 39% y 55,7% respectivamente) (Ivory y Whiteman, 1978a).

- Duración de las temperaturas de enfriamiento: el daño aumenta con la exposición a condiciones de congelamiento aunque esta relación no es lineal con el tiempo.
- Humedad Atmosférica o Humedad Relativa (HR): las especies tropicales son más afectadas cuando las heladas se producen con elevada humedad relativa. En ensayos conducidos bajo condiciones controladas con *S. sphacelata* (Hacker et al. 1974) se observaron mayores efectos de heladas cuando la atmósfera tenía 100% HR comparados con otra de 40% HR.
- Aplicación de fertilizantes: mayores niveles de nitrógeno en plantas de *S. sphacelata* y *P. maximum* incrementan la susceptibilidad al congelamiento (Ivory y Whiteman, 1978a).
- Tasa de enfriamiento: la disminución paulatina de las temperaturas produce mayores efectos por congelamiento. Ivory y Whiteman (1978a) detectaron que tasas de enfriamiento de 2 y 6 °C por hora resultaron en menores daños de tejido foliar durante el congelamiento que con tasas de 0,5°C por hora en *S. sphacelata* y *P. maximum*.
- Estado hídrico: plantas estresadas de *S. sphacelata* y *P. maximum* mostraron ser menos dañadas a determinados niveles de congelamiento que aquellas con buen estado hídrico (Ivory y Whiteman, 1978a).
- Variación genética: existen variaciones entre ecotipos y cultivares de especies forrajeras tropicales en cuanto a la susceptibilidad a las heladas y esto puede permitir la selección de materiales con mayores tolerancias (Hacker et al. 1974; Ivory y Whiteman, 1978b). Comparaciones de la mortandad de hojas entre líneas y cultivares de *S. sphacelata* a determinadas temperaturas de congelamiento (-1, -2,5, -3,25, -4, y -4,75 °C) por Ivory y Whiteman (1978b)



demonstraron la existencia de variación de tolerancia en la especie, lo cual se podría aprovechar en un programa de selección (Forde y Davies, 1979).

Considerando lo anteriormente citado, los siguientes ensayos se realizaron con el fin de evaluar la factibilidad de discriminar entre genotipos de *S. sphacelata* dentro de dos poblaciones experimentales para una posible selección individual por la tolerancia a las heladas y por el vigor de crecimiento a bajas temperaturas dada la dificultad de detectar todos los años el efecto de las heladas a campo en la localidad de Mercedes (como se observa en la Figura 3 del Capítulo 1), permitiendo acelerar de esta manera el mejoramiento a través de la selección fenotípica.

Los caracteres de crecimiento a temperaturas invernales simuladas fueron consideradas en función de las variables morfo-genéticas, estructurales y productivas (McLean, 2010) con el fin de comprender cuál es la vía por la cual algunas plantas crecen más con menores temperaturas.

## Materiales y Métodos

### **Ensayo 1:** Simulación de temperaturas medias invernales

Se pusieron 3 macollos de 22 plantas seleccionadas al azar de cada población (PBE y PBA) en bolsas plásticas de 18 cm de altura y 11 cm de ancho con sustrato Grow Mix multipro (Terrafertil). Se rotularon según su población de origen como A: las de PBA y E: a las de PBE (sin considerar de que FMH pertenecían), cada una seguida por el número de individuo en el bloque 1 del ensayo a campo (Capítulo 1) y se acondicionaron en invernáculo durante un período de 20 días. Luego se dispusieron al azar en bandejas y se colocaron en cámara de crecimiento con alternancia de luz (9 h luz y 15 h oscuridad) durante 7 días a temperaturas medias de 17,5°C constante y Humedad Relativa entre 60 y 80%. Se realizó el corte de emparejamiento a 10 cm de altura y se procedió a medir y calcular las siguientes variables en 5 fechas posteriores al corte de emparejamiento (10, 14, 22, 27 y 35 días después del corte de emparejamiento o DDC):

- Altura de planta (cm): con regla midiendo desde la base hasta la punta de la hoja más larga.
- Número de hojas por macollo ( $N^{\circ}$  Hojas\* $\text{mac}^{-1}$ ): conteo de hojas vivas por macollo.
- Longitud de lámina verde ( $\text{cm} * \text{mac}^{-1}$ ): promedio de todas las hojas presentes en cada uno de los macollos midiendo con regla desde la lígula hasta la porción distal verde de la hoja o hasta la punta en hojas no senescentes.
- Ancho de hojas (cm): a los 35 días post-emparejamiento se midió el ancho de hoja en la parte media de la lámina de cada hoja presente en cada macollo.
- A partir de la cantidad de hojas por macollo, la cantidad de días de evaluación y las temperaturas medias se calculó la tasa de aparición de hojas en hojas por macollo por día y los grados días necesarios para formar una hoja ( $^{\circ}\text{C} * \text{día}^{-1} * \text{hoja}^{-1}$ ) considerando una temperatura base de 10°C.
- Área Foliar por macollo ( $\text{cm}^2 * \text{mac}^{-1}$ ): producto entre ancho de hojas, longitud de hojas y cantidad de hojas por macollo.
- Materia seca por macollo o MS ( $\text{g} * \text{mac}^{-1}$ ) a los 35 días después del corte de emparejamiento: promedio del peso de material obtenido por corte a 10 cm de todos

los macollos de cada genotipo. Se realizó el corte, se pesó la materia verde de cada genotipo y se realizaron 4 muestras compuestas, luego se llevó a estufa durante 5 días a 60°C para estimar el porcentaje de materia seca, con esto y el peso verde se obtuvo la materia seca por genotipo, lo cual se dividió por la cantidad de macollos por para obtener el promedio de gramos de materia seca por macollo.

Las condiciones de la cámara de crecimiento (temperaturas, humedades relativas y luminiscencia) en cada período se detallan en la Tabla Anexo II y III.

Análisis estadístico: se utilizó un diseño completamente al azar, donde los tratamientos fueron los genotipos en cada población. Se realizó ANOVA de las variables altura de macollos, longitud y cantidad de hojas por macollo para cada población según el modelo lineal:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:  $\mu$ = media general,  $\alpha$ =genotipo ( $i: 1, \dots, 22$ ),  $\beta$ = fecha ( $j: 1, \dots, 5$ ),  $\varepsilon_{ij}$ = efecto del error asociado a la  $ij$ -ésima observación.

Las comparaciones de medias entre genotipos y fechas se realizaron por LSD (Fisher) al 5%. Se evaluaron a través de Componentes Principales (CP) todas las variables registradas y todos los genotipos.

Se realizaron las correlaciones de Pearson entre las variables evaluadas y el rebrote estimado, la materia seca y las alturas registradas a campo en cada uno de los genotipos durante el invierno del 2015. Todos los análisis se realizaron con el software InfoStat (Di Rienzo et al. 2016).

## **Ensayo 2: Simulación de Heladas**

Se extrajeron del campo 36 genotipos al azar (2 o 3 macollos por planta) de cada población y se colocaron en bolsas plásticas de 18 cm altura y 11 cm de ancho en sustrato Grow Mix multipro (Terrafertil). Previo acondicionamiento a 17,5°C promedio en cámara de crecimiento con fotoperiodo de 9 horas luz / 15 horas de oscuridad y 70% humedad relativa durante 7 días, se dispusieron las bolsas plásticas sobre bandejas en un freezer para simular el efecto de las heladas. Las condiciones de temperatura y humedad relativa fueron las siguientes:

Temperatura: -1,7°C durante 4h y a los 4 días -3,6 durante 6h.

Humedad Relativa: mínimo 85%, máximo 91%.

Luego del primer período de 4 horas a -1,7 °C, se pasaron las bandejas a la cámara de crecimiento con las condiciones citadas en el párrafo anterior por 4 días, posteriormente se sometieron las plantas a -3,6 °C durante 6 horas y se procedió a la evaluación del efecto del tratamiento a los 7 días posteriores a este último tratamiento mediante escala visual de afección sobre el total de hojas (1: susceptibilidad alta, 5: susceptibilidad baja).

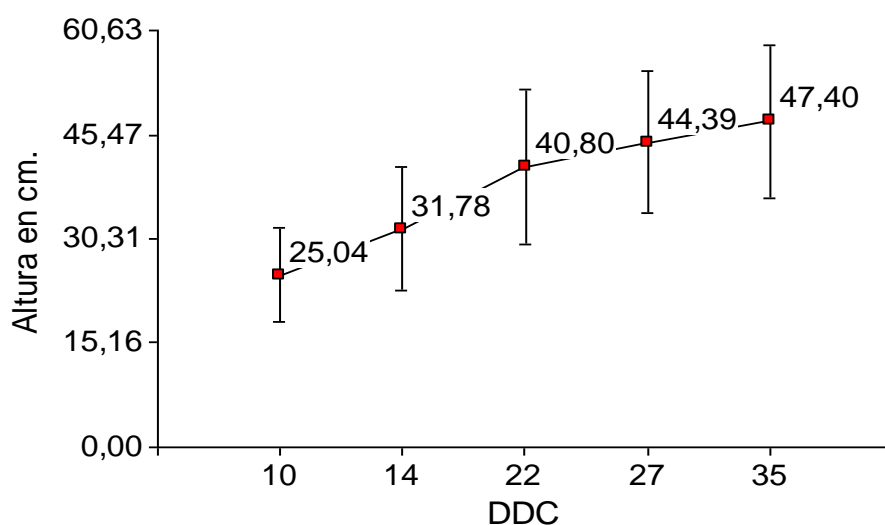
El análisis de los datos se limitó a comparar las frecuencias de tolerancias a las heladas detectadas entre genotipos en cada población ya que no se habían presentado temperaturas de congelación durante el invierno del 2015 como para evaluar la regresión o correlación entre el comportamiento en condiciones controladas y a campo de los materiales.

## Resultados y Discusión

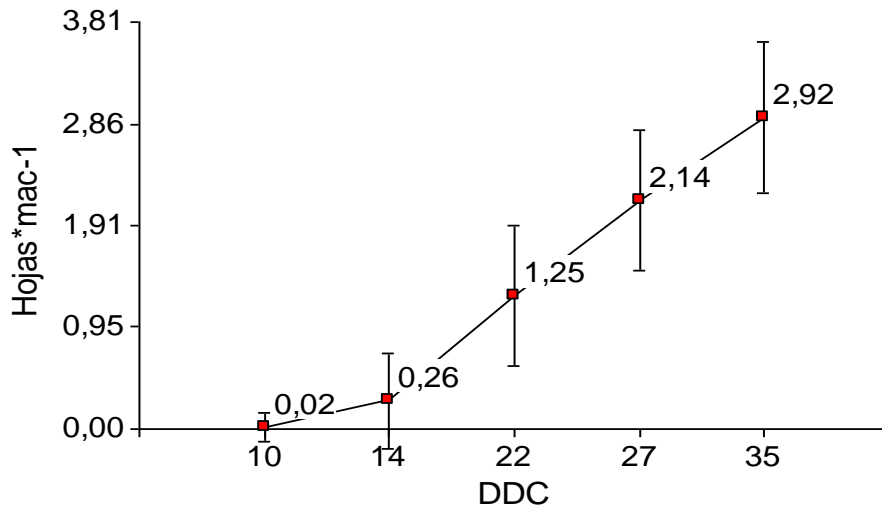
### **Ensayo 1:** Simulación de temperaturas medias invernales

El ANOVA realizado en las variables altura de macollos, longitud y cantidad de hojas por macollo en cada fecha post corte de emparejamiento arrojó diferencias significativas entre genotipos y entre fechas de evaluación en ambas poblaciones (Tabla Anexo V).

La altura promedio fue en aumento en función del tiempo post-corte (Figura 9), al igual que la cantidad de hojas por macollo (Figura 10), llegando a los 47,4 cm de altura promedio a los 35 DDC, con 2,9 hojas por macollo y sin presencia de porciones senescentes en la hojas más viejas, es decir que el período de vida media de la hoja es superior a los 35 días en estas condiciones. En ensayos realizados en condiciones naturales (McLean, 2010) con la misma especie se obtuvieron valores de vida media de 37,5 días (o su equivalentes 426 °C por hoja con temperatura base 10°C), manteniendo 5,5 hojas vivas por macollo hasta que comienza a morir la hoja más vieja. En dicho trabajo los valores de vida media para *Chloris gayana* cultivar Callide y para *Panicum coloratum* cultivar Bambatssi fueron de 32,4 y 30 días por hoja respectivamente.

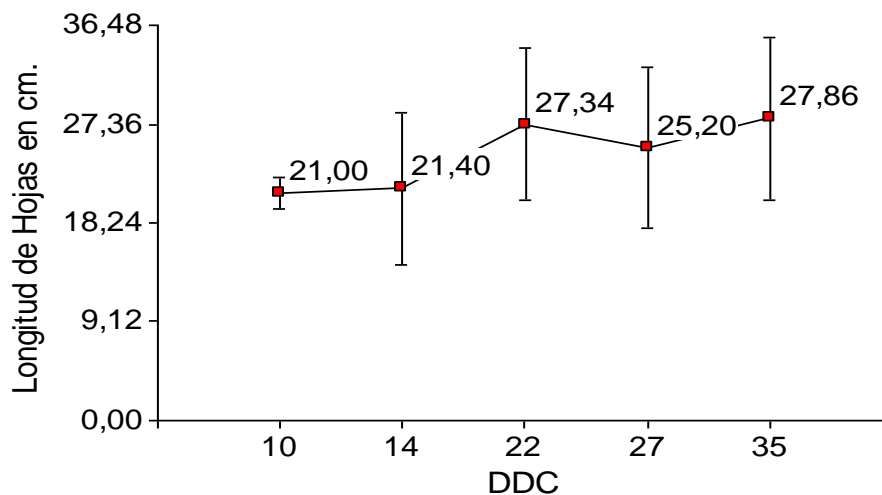


**Figura 9.** Altura promedio en cm y desvíos estándares en cada período después de corte de emparejamiento (DDC) de los 44 genotipos de la población de base amplia (PBA) y estrecha (PBE).



**Figura 10.** Cantidad de hojas por macollo y desvíos estándares en cada período después de corte de emparejamiento (DDC) de los 44 genotipos de la población de base amplia (PBA) y estrecha (PBE).

En general se registraron longitudes de hoja (Figura 11) superiores en condiciones controladas comparado con el ensayo a campo citado anteriormente (27,9 y 14,4 cm por hoja respectivamente), lo cual podría deberse a varios factores, tanto el material genético, las condiciones ambientales a campo o la luminiscencia dentro de la cámara de crecimiento.



**Figura 11.** Longitud de hojas promedio en cm y desvíos estándares en cada período después de corte de emparejamiento (DDC) de los 44 genotipos de la población de base amplia (PBA) y estrecha (PBE).

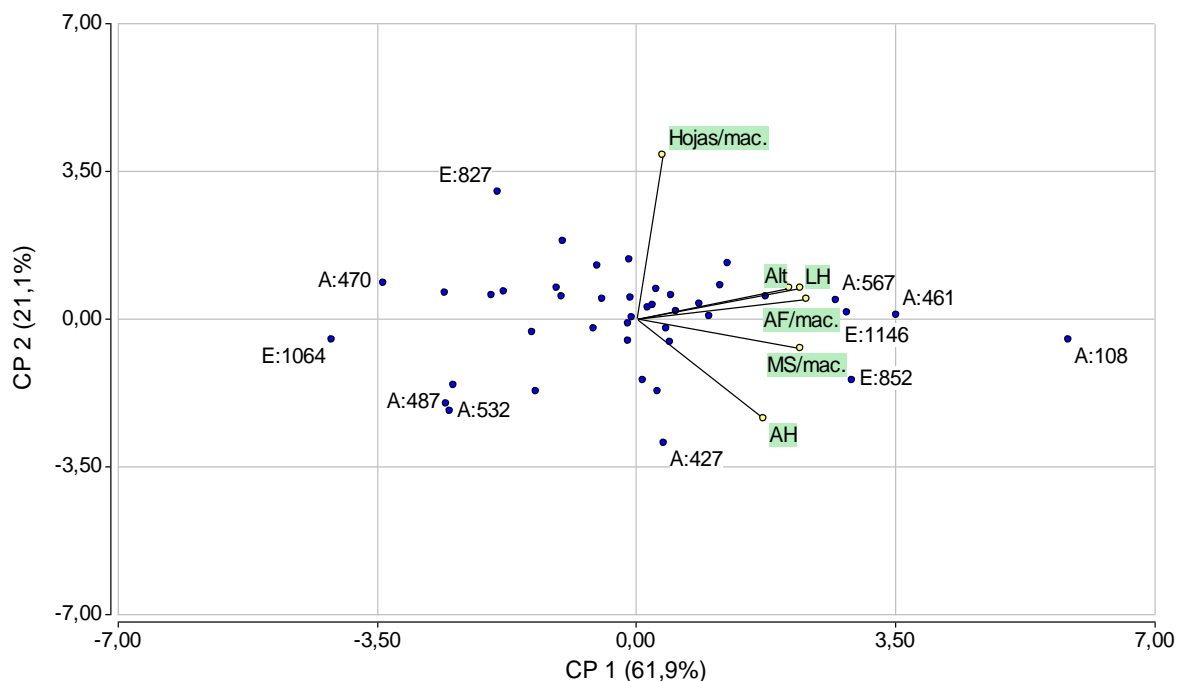
El valor promedio de la estimación de la tasa de aparición de hojas fue de 0,08 hojas\* mac.<sup>-1</sup> \* día y los datos de filocrono calculados fueron levemente inferiores a los obtenidos en el ensayo a campo realizado durante la primavera del 2008 con el cultivar Narok (McLean, 2010) en el cual el valor medio de filocrono fue de 98°C por hoja. El rendimiento obtuvo el mayor valor de coeficiente de variación en ambas poblaciones (Tabla 8), aunque algo mayores dentro de la PBA. Los mayores valores de filocrono en PBA demostrarían una más lenta generación de hojas por macollo, aunque de mayor tamaño debido al ancho de hojas que presentaron. El tamaño de las hojas depende de las tasas de elongación y de la aparición de hojas (Chapman y Lemaire, 1993), sin embargo no la afectan de igual forma ya que la relación es positiva con la tasa de elongación (Nelson et al. 1977) y negativa con la tasa de aparición de hojas (Cooper y Edwards, 1961). En gramíneas el área por hoja está determinado por el largo y el ancho aunque las variaciones del área son afectadas principalmente por la longitud foliar lo cual se observa en la Figura 12, por lo general se asume una relación constante entre área de hoja/longitud de hoja para un determinado genotipo (Lemaire y Chapman, 1996).

**Tabla 8.** Promedios, desvíos estándares (D.E.), coeficientes de variación (C.V.) en %, mínimos y máximos de las variables evaluadas y calculadas a los 35 días post-corte de emparejamiento en los genotipos de las poblaciones de base amplia (PBA) y estrecha (PBE).

Variable	Población	Promedio	D.E.	C.V.	Min.	Máx.
Filocrono (°C por hoja)	PBA	90,9	21,3	23,4	75,0	150,0
	PBE	87,1	11,0	12,6	68,2	107,1
Ancho de Hojas (cm)	PBA	0,9	0,1	17,2	0,7	1,2
	PBE	0,8	0,2	20,8	0,5	1,1
Materia Seca por macollo (g*mac. <sup>-1</sup> )	PBA	0,1	0,1	47,0	0,1	0,4
	PBE	0,1	0,1	34,8	0,1	0,3

En la Figura 12 se puede observar que los dos componentes principales 1 y 2 explican el 83 % de la variabilidad (CP1: 61,9 y CP2: 21,1). Se pueden detectar también las

fuertes asociaciones o sentido de dirección entre área foliar por macollo (AF/mac.), altura de macollos (Alt) y longitud de hojas (LH).



**Figura 12.** Análisis de Componentes principales de las variables hojas por macollo (hojas/mac.), área foliar por macollo (AF/mac.), altura de macollo (Alt.), longitud de hojas (LH), ancho de hojas (AH) y materia seca por macollo (MS/mac.) a los 35 días después del corte de emparejamiento a 10 cm de 22 genotipos de la PBA (A) y 22 genotipos de la PBE (E).

Esto nos permite detectar el mayor “peso” relativo de las variables relacionadas al tamaño de hojas sobre el rendimiento de materia seca, siendo menor el impacto de la cantidad de hojas (y por ende de las tasas de aparición). A su vez permite visualizar el comportamiento de los distintos genotipos de ambas poblaciones. Se destacan en este sentido por cantidad de hojas el genotipo E: 827 de la población PBE con 4 hojas/macollo a los 35 DDC y los menores en A: 532 con 1,6 hojas y en A: 487 con 2 hojas promedio por macollo; en rendimiento de materia seca se destacaron A: 108 y E: 852 con 0,41 y 0,26 g de materia seca por macollo y los menores en A: 470 con 0,046 g\*mac<sup>-1</sup> y E: 1064 con 0,052. En los genotipos A: 461, A: 567 y E: 1146 se observan las mayores áreas foliares (135,7; 105,8 y 103,4 cm<sup>2</sup> respectivamente), longitudes de hojas (35,0; 38,3 y 35,9 cm) foliar y



alturas de macollo (51,0; 57,5 y 57,7 cm respectivamente) y A: 427 con mayor ancho de hojas (1,18cm) aunque con pocas hojas (2 por macollo a los 35 DDC).

La tasa de aparición de hojas, y por consiguiente, la cantidad de hojas por macollos, no fueron las variables de mayor importancia para la definición del área foliar por macollo, siendo por lo tanto la longitud y el ancho de hojas los factores clave para la definición del rendimiento de materia seca de los mejores genotipos. Ollerenshaw y Baker (1982) trabajando con ecotipos de *Lolium perenne* L. a 5, 10 y 15°C en cámaras de crecimiento observaron que varias plantas no solo expandían sus hojas más rápido a bajas temperaturas sino que también producían macollos más pesados comparado con otros ecotipos y ciertos genotipos de un cultivar de *L. perenne*, para esta especie sugerían que esta variación observada podía ser de utilidad para mejorar la producción de pasto en las condiciones frías de primavera de las tierras altas de Gran Bretaña.

Se analizaron las correlaciones (r) entre las variables medidas a campo durante el invierno y en condiciones controladas en los diferentes genotipos y poblaciones.

**Tabla 9.** Correlación de Pearson de todas las variables calculadas o medidas en los 44 genotipos en cámara de crecimiento y a campo durante invierno/2015 (rebrote invernal, materia seca y altura). \*En rojo en la matriz solo las correlaciones que fueron significativas, en la sección de probabilidades, los casilleros vacíos no fueron significativos.

Coefficientes/probabilidades

	Reb. Campo	Alt. Campo	MS. Inv. campo	Altura	Hojas * mac. <sup>-1</sup>	LH	AH	MS * mac. <sup>-1</sup>
Reb campo	1	0	3,20E-11					0,03
Alt. campo	0,85	1	0					0,01
MS inv campo	0,81	0,85	1					1,70E-03
Altura	0,11	0,16	0,26	1		1,80E-12	0,02	6,60E-08
Hojas*mac. <sup>-1</sup>	0,14	0,14	0,24	0,16	1			
LH	0,17	0,25	0,3	0,84	0,18	1	4,40E-03	2,40E-08
AH	0,14	0,27	0,16	0,35	-0,27	0,42	1	7,80E-07
MS * mac. <sup>-1</sup>	0,33	0,41	0,46	0,71	-0,01	0,73	0,67	1

En función de los datos obtenidos (Tabla 9), se puede observar que tanto el rebrote, la altura y el rendimiento de forraje a campo tienen buenas correlaciones con el rendimiento obtenido en condiciones controladas a los 35 días después del corte de emparejamiento. Si

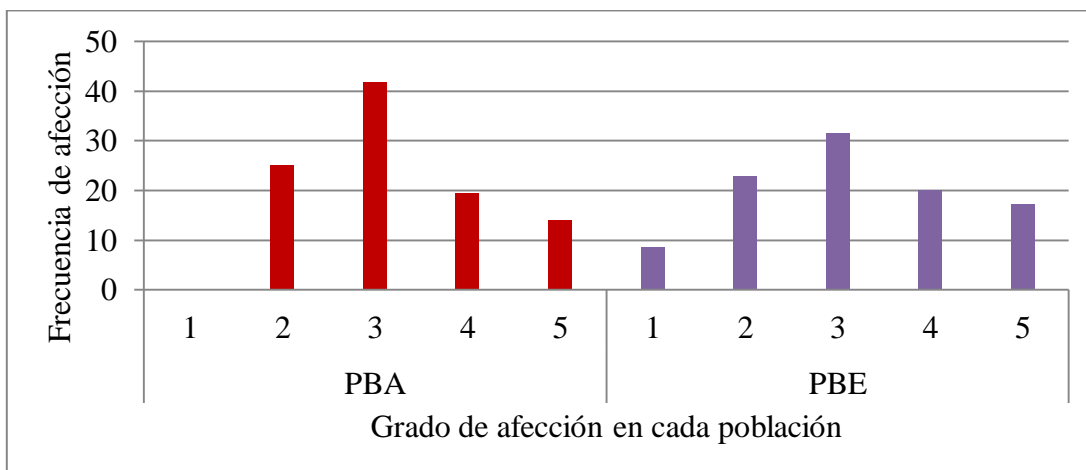
estas variables tienen correlaciones genéticas en igual sentido y magnitud que los obtenidos se esperarían incrementos de dichas variables a través del uso del rendimiento en condiciones controladas con las temperaturas, humedades y tiempos utilizados.

En tabla de correlaciones se puede observar lo dicho precedentemente en cuanto a las hojas por macollo y el ancho de hojas que tienen correlación negativa (aunque no significativas), por lo tanto a mayor rapidez de aparición menor ancho de hojas por macollo pero las longitudes de hoja al estar correlacionadas con el ancho, logran complementarse y manifestar mayores áreas foliares y por ende mayor rendimiento de materia seca por macollo.

Las correlaciones detectadas entre los atributos medidos a campo y el rendimiento de materia seca en condiciones controladas permiten estimar similares comportamientos entre materiales evaluados en una u otra situación, lo cual es de interés para incrementar la tasa de generación de poblaciones mejoradas por disminución del tiempo de evaluación y por permitir una adecuada selección. Sin embargo, la ganancia genética podría diferir con respecto a la obtenida a campo, debido a las condiciones y las heredabilidades de los caracteres.

## Ensayo 2: Simulación de Heladas

Aunque no se pudo evaluar a campo para comparar los valores obtenidos con los de la simulación, la diferente afección manifestada en los materiales (Figuran 13) en toda la escala (salvo la falta de 1 en PBA) permite la discriminación entre genotipos en cada población.



**Figura 13.** Frecuencia de afección por heladas simuladas (escala visual del daño sobre el total de hojas siendo 1: susceptibilidad alta, 5: susceptibilidad baja) en la población de base amplia (PBA) y estrecha (PBE).

Ensayos realizados en Australia (Hacker et al. 1974) simulando los efectos de las heladas concluyeron que el ranking de daño en hojas de seis variedades de *S. sphacelata* luego del congelamiento en condiciones controladas era similar a la respuesta observada a campo, siendo la temperatura de enfriamiento de  $-2,5^{\circ}\text{C}$  la que proporcionó la mejor discriminación entre poblaciones sometidas a 3 ciclos sucesivos de enfriamiento de 4 h.

En este ensayo la mayoría de los factores que afectan la tolerancia/susceptibilidad a las heladas fueron las adecuadas, excepto la tasa de enfriamiento ya que los aparatos usados no poseían una forma de regulación paulatina de la temperatura hasta las de congelamiento. Según otros trabajos esta tasa de disminución debería ser de alrededor de  $5^{\circ}\text{C}$  por hora (Ivory y Whiteman, 1978a).

El estrés por frío es uno de los factores más importantes que limitan la adaptación y supervivencia a largo plazo de muchas especies forrajeras, varios mecanismos para el mejoramiento por tolerancia a bajas temperaturas han sido identificados y se ha determinado que la selección en condiciones artificiales puede llevarse a cabo eficientemente (Casler y van Santen, 2010).

La discriminación por tolerancias a heladas en *S. sphacelata* se logró con períodos de congelamiento de 4 h a  $-1,7^{\circ}\text{C}$  y luego de 4 días a  $-3,6^{\circ}\text{C}$  durante 6 h con humedad relativa entre 85 y 91%, buen estado hídrico y nutricional de las plantas. Hacker (2001) sugiere la utilización de  $-2,5^{\circ}\text{C}$  como temperatura de congelamiento para separar con mayor claridad los materiales tolerantes a heladas. Según Forde y Davies (1979), la clasificación y selección de plantas forrajeras tropicales por su tolerancia a las heladas puede hacerse de forma efectiva en condiciones controladas en laboratorio, las relaciones entre experimentos a campo y en laboratorio para estas especies y este carácter han sido positivas, lo cual permite un mejor entendimiento de la fisiología de la susceptibilidad, la regulación de intensidades y la duración del congelamiento.

Los ensayos en condiciones controladas permitieron discriminar entre materiales de mayor crecimiento a bajas temperaturas y los tolerantes al congelamiento al igual que entre los ecotipos de *Trifolium repens* L., *Festuca arundinacea* Schreb. y *Dactylis glomerata* L. (Svenning et al. 2000; Thomas y Stoddart, 1995), donde observaron diferencias en crecimiento a bajas temperaturas y tolerancia al congelamiento entre materiales en condiciones controladas de humedad y temperatura.

## **Conclusión Ensayo 1 y 2**

Como lo han sugerido y evaluado otros autores en distintas especies (Hacker et al. 1974; Hacker, 2001; Breman et al. 2008; Breman et al. 2009; Ollerenshaw y Baker, 1982; Svenning et al. 2000; Thomas y Stoddart, 1995; Forde y Davies, 1979; Ivory y Whiteman, 1978 a y b), la utilización de condiciones controladas simulando las temperaturas bajas del invierno y las temperaturas de congelamiento son efectivas para la selección de genotipos superiores dependiendo del “ajuste” de las condiciones para la evaluación de las distintas especies, en este trabajo las condiciones para discriminar entre materiales de *S. sphacelata* susceptibles y tolerantes a las heladas se obtuvo con 4 h a  $-1,7^{\circ}\text{C}$  y luego de 4 días a  $-3,6^{\circ}\text{C}$  durante 6 h con humedad relativa ambiente entre 85 y 91% y con buen estado hídrico y nutricional de las plantas. También se logró la caracterización de los genotipos por el crecimiento a temperaturas similares a las medias invernales de la región centro-sur correntina, determinando a su vez que los genotipos con mayores crecimientos a dichas temperaturas rinden más por un mayor aporte en tamaño más que en cantidad de hojas. Las correlaciones positivas y significativas entre los caracteres evaluados a campo y el rendimiento de forraje con 35 días a temperaturas invernales simuladas sugieren su posible uso en selección acortando los plazos de evaluación, aunque es posible que el avance genético sea diferente a lo obtenido a campo.

## CONCLUSIÓN GENERAL

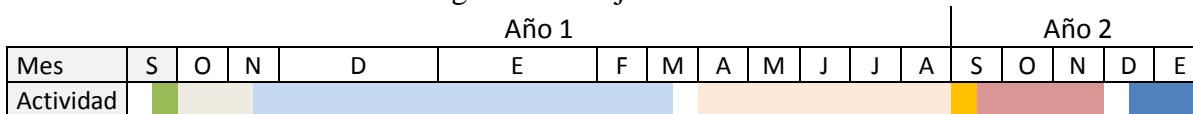
Se ha logrado mejorar una población de *S. sphacelata* a través de la selección fenotípica por caracteres relacionados al desempeño invernal. Las heredabilidades obtenidas y las correlaciones detectadas entre variables permiten la utilización del rebrote invernal como único carácter para la selección a campo, con la cual se podría mejorar en forma conjunta todos los caracteres evaluados relacionados al desempeño invernal.

Las evaluaciones en condiciones ambientales y estreses simulados posibilitaron la discriminación entre genotipos dentro de dos poblaciones por el desempeño a bajas temperaturas y tolerancias a las heladas. Esta metodología es de interés para aplicar al programa de mejoramiento debido a la eficiencia que presentaría su uso para obtener poblaciones de *S. sphacelata* más productivas durante el invierno.

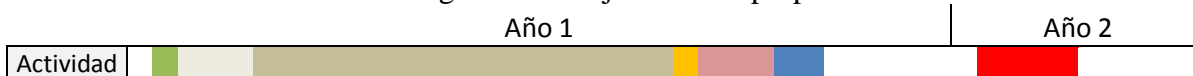
En el siguiente esquema se propone una alternativa al proceso de mejoramiento actual de acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo, considerando las evaluaciones de plantas aisladas en cámaras de crecimiento se podría lograr reducir hasta en 6 meses el proceso de generación de nuevas poblaciones, aunque se deberá determinar el progreso por la selección individual en estas condiciones.

Esquema actual y propuesto de evaluación, selección y cruzamientos para el mejoramiento de poblaciones de *Setaria sphacelata*

Cronograma de mejoramiento actual



Cronograma de mejoramiento propuesto



Referencias:
Siembra
Implantación
Evaluación a campo de caracteres primavera- estivales
Evaluación de caracteres otoño-invernales
Selección
Plantación de policruzamiento
Cosecha de semillas
Evaluación a campo de caracteres primavera - estivales e invernales (crecimiento y tolerancia a heladas) en condiciones controladas.
Siembra de nueva población

## BIBLIOGRAFÍA

- ACUÑA, C.A.; BLOUNT A.R.; QUESENBERRY, K.H.; KENWORTHY, K.E.; HANNA, W.W. 2009. Bahiagrass tetraploid germplasm: Reproductive and agronomic characterization of segregating progeny. *Crop Science*, vol.49.581-588.
- ALLARD, R.W. 1960. *Principles of plant breeding*. Wiley NY, USA.
- ARROQUY, J.I.; IMAZ, A. 2015. Valor nutritivo y aprovechamiento de pasturas tropicales. Informe Técnico N°60. II Jornada Nacional Forrajeras Tropicales 2015. Ediciones INTA. 53 p.
- BALZARINI, M.; MACCHIAVELLI, R.E.; CASANOVES, F. 2004. Aplicaciones de Modelos Mixtos en Agricultura y Forestería. Curso de Capacitación Centro Agronómico Tropical de Investigaciones y Enseñanza, CATIE, Costa Rica, 210 p.
- BARNARD, C. 1972. *Register of Australian herbage plant cultivars*. Canberra, CSIRO Australia, Division of Plant Industries.
- BERNARDO, R. 2002. *Breeding for quantitative traits in plants*. Department of agronomy and plant genetics, University of Minnesota. Stemma Press. USA. 360 p.
- BORRAJO, C.I.; PIZZIO, R. 2006. *Manual de producción y utilización de Setaria*. Libreta técnica. Material de divulgación. Ed. Proyecto Ganadero de Corrientes. E.E.A. Mercedes, CR Corrientes, INTA. 12 p.
- BORRAJO, C.I.; BARBERA, P.; RAMIREZ, M. 2008. Nuevas variedades de gramíneas subtropicales: implantación y crecimiento en el primer año. INTA E.E.A. Mercedes, Corrientes. Noticias y Comentarios N° 435. 5 p.
- BORRAJO, C.I.; MAIDANA, C.; RAMIREZ, M.; RAMIREZ, R.; FERNÁNDEZ, J.R. 2009. Fertilización y producción de semilla de *Setaria sphacelata* var. Narok. Noticias y comentarios n°453. E.E.A. INTA Mercedes, Corrientes. 5p.
- BREMAN, J.W.; BLOUNT, A.R.; QUESENBERRY, K.H.; SINCLAIR, T.R. 2008. Foliage freeze tolerance trait diversity in bahiagrass (*Paspalum notatum* Flüggé). *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 51:2, 191-198.
- BREMAN, J.W.; SINCLAIR, T.R.; BLOUNT, A.R.; QUESENBERRY, K.H.; BRENNAN, M.M. 2009. Leaf vascular dimensions associated with freeze tolerance in bahiagrass (*Paspalum notatum* Flüggé). *Annals of Applied Biology*, 155.



- BURTON, G.W. 1974. Recurrent restricted phenotypic selection increases forage yields of Pensacola Bahiagrass. *Crop Science*, Vol. 14: 831-835p.
- BURTON, G.W.; DEVANE, E.M. 1953. Estimating heritability in tall fescue (*Festuca arundinacea*) from replicated clonal material. *Agronomy Journal*, 45, 478-481.
- CALVI, M. 2017. Análisis sobre la existencia bovina en la provincia de Corrientes. Hoja informativa N° 89. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Mercedes.
- CASLER, M.D.; VAN SANTEN, E. 2010. Breeding objectives in forages. Fodder crops and amenity grasses. *Handbook of plant breeding 5*. Springer science + Business media. 115: 136.
- CHAPMAN, D.F.; LEMAIRE, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *Proc. XVII International Grassland Congress*. Palmerston North, New Zealand. 95-104 p.
- CLAYTON, W.D. 1979. Notes on *Setaria* (Gramineae). *Kew Bull.* 33:501-509.
- CLAYTON, W.D.; RENVOIZE, S.A. 1982. *Setaria*. Flora of Tropical East Africa. Gramineae (Part 3), Rotterdam, The Netherlands.
- COOPER, J.P.; EDWARDS, K.J.R. 1961. The genetic control of leaf development in *Lolium*. Assessment of genetic variation. *Heredity* 16: 63-82.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. InfoStat versión 2013 y versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- ESCOBAR, E.H.; LIGIER H.D.; MELGAR R.; MATTEIO H.; VALLEJOS O. 1996. Mapa de suelos de la provincia de Corrientes 1:500000. INTA, Corrientes. 432p.
- FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. 1996. *Introduction to quantitative genetics*. 4th ed. New York. Longman.
- FEHR, W.R. 1987. *Principles of cultivar development*. Vol. 1. Theory and technique. Macmillan publishing company.
- FERNÁNDEZ, J.G.; BENITEZ, C.A.; ROYO PALLARES, O.; PIZZIO, R. 1993. Principales forrajeras nativas del medio este de la provincia de Corrientes. INTA. E.E.A. Mercedes, Corrientes. Serie Técnica n° 23. 2da Edición 91p.

- FERNÁNDEZ LOPEZ, C.; MENDOZA, R.; VAZQUEZ, S. 2006. Fracciones de fósforo en suelos de Corrientes con producción citrícola, arrocería y pastoril. Publicación científica. Web: [HTTP://www.suelos.org.ar](http://www.suelos.org.ar). CI. Suelo (Argentina) 24 (2) 161-168.
- FORDE, B.J.; DAVIES, L.J. 1979. Effects of frosting on sub-tropical grasses. Proceedings Agronomy Society of New Zealand 9. 49-53.
- GÁNDARA, F.; MAÑOTTI, A.A. 1999. Situación actual de la ganadería. Jornada ganadera del NEA. Publicación técnica INTA 31-39 p.
- GEIGER, H.H. 1982. Breeding methods in diploid rye (*Secale cereale* L.). In: Tag. Ber., Akad. DDR, Berlin 198:305-332.
- HACKER, J.B. 1966. Cytological investigations in the *Setaria sphacelata* complex. Australian Journal of Agricultural Research 17: 297-301.
- HACKER, J.B. 1968. Polyploid structure in the *Setaria sphacelata* complex. Australian Journal of Botany 16:539-544.
- HACKER, J.B. 1974. Variation in oxalate, major cations, and dry matter digestibility of 47 introductions of the tropical grass *Setaria*. Tropical Grasslands 8, 145-54.
- HACKER, J.B. 1984. Seed production of *Setaria sphacelata* cultivar Narok and Solander. Ann. Rep.Div. Trp. Crops and Pastures, CSIRO, Brisbane. 1983-4, p. 50.
- HACKER, J.B. 1991a. Evaluation of bred populations and cultivars of *Setaria sphacelata*. Tropical Grasslands 25:245-252.
- HACKER, J.B. 1991b. Seed production potential in bred populations and cultivars of *Setaria sphacelata*. Tropical Grasslands 25:253-261.
- HACKER, J.B. 2001. Some reflections of an Australian forage plant breeder. International Symposium on Forage Breeding. Embrapa Beef Cattle. 32p.
- HACKER, J.B.; JONES, R.J. 1969. The *Setaria sphacelata* complex – a review. Tropical Grasslands, Vol. 3. n° 1.
- HACKER, J.B.; BRAY, R.A. 1981. Genetic analysis in the pasture grass *Setaria sphacelata*. I. Dry matter yield and flowering. Australian Journal of Agricultural Research . 32: 295-309.
- HACKER, J.B. and CUANY, R.L. 1997. Genetic variation in seed production and its components in four cultivars of the pasture grass *Setaria sphacelata*. Euphytica 93:271-282.

- HACKER, J.B.; FORDE, B.J.; GOW, J.M. 1974. Simulated frosting of tropical grasses. Australian Journal of Agricultural Research, Vol 25: 45-57p.
- IVORY, D.A.; WHITEMAN, P.C. 1978a. Effects of environmental and plant factors on foliar freezing resistance in tropical grasses. I. Precondition factors and conditions during freezing. Australian Journal of Agricultural Research 29: 243-259.
- IVORY, D.A.; WHITEMAN, P.C. 1978b. Effects of environmental and plant factors on foliar freezing resistance in tropical grasses. II. Comparison of frost resistance between cultivars of *Cenchrus ciliaris*, *Chloris gayana* and *Setaria anceps*. Australian Journal of Agricultural Research 29: 261-266.
- JANK, L.; QUESENBERRY, K.H.; MISLEVY, P. 2001. Effects of selection on morphological characteristics in *Setaria sphacelata* (Schumach.) Moss. P.503-504. In Proc. Int. Grassland Congress, 19<sup>th</sup>, São Pedro, São Paulo, Brazil. 11-21 Feb. 2001. Brazilian society of Animal Husbandry, Piracicaba, SP, Brazil.
- JANK, L.; QUESENBERRY, K.H.; BLOUNT, A.R.S.; MISLEVY, P. 2002. Selection in *Setaria sphacelata* for winter survival. New Zealand Journal of Agricultural Research. Vol. 45: 273-281p.
- JANK, L.; QUESENBERRY, K.H.; SOLLENBERGER, L.E.; WOFFORD, D.S.; LYRENE, P.M. 2007. Selection of morphological traits to improve forage characteristics of *Setaria sphacelata* grown in Florida. New Zealand Journal of Agricultural Research, Vol. 50: 73-83.
- LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D.F. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. The ecology and management of grazing systems. Centre for Agricultural and Biosciences International. UK. 3-36 p.
- MARIOTTI, J.A.; COLLAVINO, N.G. 2014. Los caracteres cuantitativos en la mejora genética de los cultivos. Editorial: Orientación Gráfica, Buenos Aires, Argentina. 326p.
- MCLEAN, G.D. 2010. Evaluación de especies y variedades de gramíneas megatérmicas. Trabajo final de graduación. Universidad Nacional del Nordeste.
- MCLEAN, G.D; BORRAJO, C.I. 2015. Mejoramiento genético de *Setaria sphacelata*. Noticias y Comentarios N° 520. INTA E.E.A. Mercedes, Corrientes.
- NAPPER, D.M. 1965. Grasses of Tanganyika. Bull. Minist. Agric. For. Wildl., Tanzania.

- NELSON, C.J.; ASAY, K.H.; SLEPER, D.A. 1977. Mechanisms of canopy development of tall fescue genotypes. *Crop Science*. 17: 449-452.
- NGUYEN, H.T.; SLEPER, D.A. 1983. Theory and application of half-sib matings in forage grass breeding. *Theoretical and Applied Genetics* 64: 187-196p.
- NYQUIST, W.E. 1991. Estimation of heritability and prediction of selection response in plant populations. *Crit. Rev. Plant Science*. 10:235-322.
- OLLERENSHAW, J.H.; BAKER, R.H. 1982. Low temperature growth in a controlled environment of *Lolium perenne* L. ecotypes from northern latitudes. *Journal of Agricultural Sciences, Cambridge, Great Britain*. 99. 85-90.
- PIZZIO, R.; BORRAJO, C.I.; BARBERA, P. 2006. Pasturas implantadas en Corrientes. INTA E.E.A. Mercedes, Corrientes. Ed. Centro Regional Corrientes, Año I, N° 1.
- POSSELT, U.K. 2010. Breeding Methods in Cross-Pollinated Species. In: Boller B., Posselt U., Veronesi F. (eds) *Fodder Crops and Amenity Grasses. Handbook of Plant Breeding*, vol 5. Springer, New York, NY
- ROMINGER, J.M. 1962. Taxonomy of *Setaria* (Gramineae) in North America. *Illinois Biol.* 29: 1-132.
- ROMINGER, J.M. 1962. Taxonomy of *Setaria* (Gramineae) in North America. *Illinois Biol.* 29: 1-132.
- ROYO PALLARÉS, O.; GOLDFARB, C. 1999. Experiencias con pasturas subtropicales cultivadas en la provincia de Corrientes. Jornada de actualización en forrajeras subtropicales E.E.A. Mercedes, Corrientes, Argentina. 14 p.
- SKERMAN, P.J.; RIVEROS, F. 1992. Gramíneas tropicales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). Producción y protección vegetal. Roma, Italia. 692-700p.
- SLEPER, D.A.; POEHLMAN, J.M. 2006. *Breeding field crops* (5<sup>th</sup> ed.). Blackwell, Ames, Iowa, USA.
- STANFIELD, W.D. 1971. *Genética. Teoría 440 problemas resueltos*. Segunda ed. Serie Schaum, McGraw-Hill, México. 405 p.
- SVENNING, M.M.; ROSNES, K.; LUND, L.; JUNTILA, O. 2000. Vegetative growth and freezing tolerance of white clover (*Trifolium repens* L.) genotypes from Svalbard. *Acta Agriculturae Scandinavica. Plant Soil Science* (1): 10-16.

- TOMEI, C.E.; CIOTTI, E.M.; CASTELAN, M.E.; POLETTI M.M. 1998. Potential of and preliminary selection in a collection of *Setaria anceps* cv. Nandi. *Pastos y Forrajes* 21: 115-120.
- THOMAS, H.; STODDART, J.L. 1995. Temperature sensitivities of *Festuca arundinacea* Schreb. and *Dactylis glomerata* L. ecotypes. *New Phytologist*. 130. 125-134.
- WIJK, A.J.P. 1980. Breeding for improved herbage and seed yield in *Setaria sphacelata* (Schumacher) Stapf and Hubbard ex Moss. *Agricultural Research Reports N° .900*: 147p.

## ANEXO

### Capítulo 1

**Tabla Anexo I:** Valores promedios y coeficientes de variación (%) de las variables materia seca invernal (MS inv.) y altura de planta sin ajuste por distribución y del diámetro de mata y rebrote invernal en la poblaciones de base amplia (PBA) y estrecha (PBE).

Población	MS inv. (g*planta <sup>-1</sup> )		Altura (cm)		Diámetro de mata (cm)		Rebrote invernal (1: poco o nulo crecimiento, 5: elevado crecimiento)	
	Media	CV (%)	Media	CV (%)	Media	CV (%)	Media	CV (%)
PBA	27,8	110,9	28,9	68,0	16,2	29,9	3,1	21,4
PBE	30,4	72,4	32,0	54,0	17,4	27,2	3,3	21,0

### Capítulo 2

#### Ensayo 1:

**Tabla Anexo II.** Promedios y desvíos estándares de las Temperaturas (°C) y humedades relativas ambiente en % registradas en la cámara de crecimiento en los distintos períodos de evaluación y promedios registrados durante las 15 horas de oscuridad (Noche) y las 9 horas de luz (Día).

Período	Días	Temperatura °C				Humedad Relativa %			
		Promedio	SD	Noche	Día	Promedio	SD	Noche	Día
1	10	17,6	1,6	16,4	19,6	68,2	3,7	67,0	70,0
2	4	17,2	1,5	16,1	19,1	71,7	3,0	71,0	74,0
3	8	17,8	1,6	16,7	19,8	65,8	3,6	64,0	68,0
4	5	17,4	1,4	16,4	19,1	66,9	3,6	65,0	70,0
5	8	17,6	1,4	16,5	19,4	66,4	3,6	64,0	69,0
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>17,5</b>		<b>16,4</b>	<b>19,4</b>	<b>67,8</b>		<b>66,2</b>	<b>70,2</b>

**Tabla Anexo III.** Grados centígrados acumulados ( $^{\circ}\text{C}$  acumulados) en cada período, grados días promedio por día ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{día}^{-1}$ ) e iluminación (Lúmenes $\cdot\text{m}^2$ ).

Período	Días	$^{\circ}\text{C}$ acumulados	$^{\circ}\text{C} \cdot \text{día}^{-1}$	Lúmenes $\cdot\text{m}^2$
1	10	75,6	7,6	5462 (4000 a 6700)
2	4	29,0	7,2	
3	8	62,7	7,8	
4	5	36,9	7,4	
5	8	61,1	7,6	
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>265,3</b>	<b>7,5</b>	

**Tabla Anexo IV.** Valores medios y desvíos estándares (D.E.) en las dos poblaciones de las variables estructurales (cantidad de hojas por macollo y longitud de hojas) y altura por macollo en cada período después del corte de emparejamiento (DDC).

DDC	Parámetro	Hojas $\cdot \text{mac.}^{-1}$	Longitud de hojas (cm)	Altura (cm)
10	Media	0,02	21,0	25,0
	D.E.	0,13	1,4	6,9
14	Media	0,26	21,4	31,8
	D.E.	0,44	7,0	9,05
22	Media	1,25	27,3	40,8
	D.E.	0,66	7,1	11,3
27	Media	2,14	25,2	44,4
	D.E.	0,66	7,5	10,4
35	Media	2,92	27,9	47,4
	D.E.	0,70	7,6	11,2

**Tabla Anexo V.** p-value de las variables altura (cm), N° de hojas por macollo y longitud de hojas en cada población y fuente de variación.

Población	Fuente de variación	Variable		
		Altura	N° de hojas	Longitud de hojas
PBA	Genotipo	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Fecha	<0,0001	<0,0001	<0,0001
PBE	Genotipo	<0,0001	<0,0001	<0,0001
	Fecha	<0,0001	<0,0001	0,0002

**Tabla Anexo VI.** Promedios, coeficientes de variación (C.V.) en %, valores mínimos y máximos de las variables altura, hojas por macollo, longitud de hojas y área foliar por macollo registradas al final del ensayo (35 DDC) en los 22 genotipos de las poblaciones de base amplia (PBA) y estrecha (PBE).

Población	Parámetro	Altura (cm)	Hojas* mac. <sup>-1</sup>	Longitud de hojas* mac. <sup>-1</sup>	AF* mac. <sup>-1</sup>
PBA	Media	47,9	2,9	27,8	73,3
	C.V.	17,9	19,3	20,5	37,5
	Mín.	32,5	1,7	17,2	30,4
	Máx.	66,0	3,7	38,3	135,7
PBE	Media	47,8	2,9	28,1	67,7
	C.V.	13,8	12,2	16,8	29,0
	Mín.	33,0	2,3	18,2	24,6
	Máx.	59,0	4,0	36,7	103,4