



Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional del Nordeste

Trabajo Final de Graduación
Modalidad Tesina

**Características reproductivas, producción de
forraje y heterosis en híbridos de *Acroceras*
macrum Stapf**

Autor: Tania Belén Vonka

Asesor: Ing. Agr. (M.S., Ph.D.) Carlos A. Acuña

LUGAR DE REALIZACIÓN

Cátedra de Forrajicultura, Departamento de Producción
Animal, y Campo Experimental, Facultad de Ciencias Agrarias,
UNNE.

Año: 2016

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer enormemente a mi familia por su apoyo incondicional, por compartir las alegrías y estar junto a mí en las adversidades, y por haberme brindado la oportunidad de estudiar lo que tanto amo.

Gracias al grupo de trabajo de la Cátedra de Forrajicultura, de la Facultad de Ciencias Agrarias UNNE por su predisposición, cariño y ayuda en numerosas oportunidades en las que lo necesité.

Un agradecimiento especial a Carlos Acuña, que como director de tesis, me guió y aconsejó para poder cumplir esta meta.

ÍNDICE

Resumen.....	1
Introducción.....	2
Objetivos.....	3
Materiales y Métodos.....	3
Resultados y Discusión.....	6
Conclusiones.....	19
Bibliografía.....	20
Anexo.....	21

RESUMEN

La continua incorporación de especies productivas y de alta calidad para el ganado, ha sido el principal motivo del estudio de *Acroceras macrum* Stapf, una gramínea forrajera introducida de Sudáfrica cuya reproducción se da principalmente de forma vegetativa por rizomas y estolones. Esta característica limita la adopción de esta valiosa especie forrajera en los sistemas pecuarios. Estudios previos indican que *A. macrum* es una especie alógama y produce cantidades variables de semilla bajo condiciones controladas, dependiendo del genotipo. Los objetivos del trabajo fueron 1) evaluar una serie de caracteres reproductivos en híbridos tetraploides de *A. macrum*, 2) determinar el forraje producido en un ciclo de crecimiento y 3) estimar el nivel de heterosis para los caracteres en estudio. El material vegetal utilizado para este trabajo consistió en 48 híbridos provenientes de 6 familias generadas por cruzamientos entre diferentes genotipos de *A. macrum*. Se evaluó la floración y la extensión del período reproductivo. La distribución de la floración fue heterogénea y se evidenció la presencia de distintos grupos de floración. El período reproductivo se concentró desde diciembre de 2014 hasta mediados de marzo de 2015. Las variables, llenado y producción de semillas compartieron una distribución irregular. Las fechas 13 y 14 de enero, y 3 de marzo de 2015 correspondieron, para la mayoría de los híbridos, con el máximo porcentaje de llenado y producción de semillas. Un análisis de correlación indicó que cuando los valores de floración y llenado de semillas aumentaron, contribuyeron en forma significativa a la producción de semillas. Al finalizar el ciclo productivo se realizó un corte final de las plantas, arrojando niveles variables de producción de biomasa, en el que se destacó uno de los genotipos parentales y dos familias. La ocurrencia de heterosis se evaluó para los caracteres: llenado de semillas, producción de semillas y biomasa producida. El porcentaje medio de híbridos que superaron al padre superior varió de 0% a 14% para llenado de semillas, de 0% a 33% para producción de semillas, y fue nulo (0%) para biomasa producida. El porcentaje medio de híbridos que superaron a la media de sus progenitores varió desde 0% a 22% para llenado de semillas, de 0% a 33% para producción de semillas, y de 0% a 11% para biomasa producida. Se concluyó que la ocurrencia de la heterosis en *A. macrum*, depende no sólo de la familia y de la variabilidad presente en las mismas, sino también del carácter en evaluación.

INTRODUCCIÓN

Acroceras macrum Stapf, conocida con el nombre común de “pasto Nilo” es una especie C_3 , estival, nativa de regiones tropicales y subtropicales de África, donde se la encuentra preferentemente en climas húmedos y ambientes anegados (Skerman y Riveros, 1992). Se propaga vegetativamente por rizomas y estolones formando un tapiz vegetal continuo (Rhind y Goodenough, 1976). Es una de las pocas gramíneas C_3 cultivadas en ambientes cálidos, altamente palatable para el ganado y de alto valor nutritivo en comparación con las gramíneas C_4 que predominan en regiones tropicales y subtropicales.

Investigaciones realizadas por el Centro Sudafricano de Diversidad de Cedara, revelaron que la especie posee un número cromosómico básico de $x=9$ y que existen citotipos tetraploides, pentaploides y hexaploides (Rhind y Goodenough, 1976). El pasto Nilo fue introducido a la Argentina desde Sudáfrica en la década de los 80' y 90' por parte de algunos productores ganaderos locales y técnicos del INTA. Su difusión como cultivo forrajero se llevó a cabo en campos bajos, anegables donde crece profusamente y produce forraje de calidad. En la provincia de Corrientes se cultiva en ambientes húmedos como los albardones del río Paraná y en los denominados malezales (Altuve et al., 1994).

La diversidad morfológica observada, entre progenies obtenidas por cruzamientos realizados en Sudáfrica, indicaría que la especie se reproduce sexualmente y que es posible generar más variabilidad a través de cruzamientos controlados, observándose que existe diversidad genética para la producción de forraje y semilla entre las líneas evaluadas en Sudáfrica. En particular se ha observado que algunos genotipos son capaces de producir semillas, hasta un 50% de llenado, al ser cultivados de a pares (Rhind y Goodenough, 1976).

Recientemente se coleccionó un número importante de plantas en estaciones experimentales del INTA, incluyendo una parcela de introducción ubicada en la EEA Corrientes y se inició un estudio de diversidad genética utilizando marcadores moleculares. Esto ha permitido la identificación de 27 genotipos diferentes, entre los cuales 22 son tetraploides ($2n=4x=36$) y 5 son hexaploides ($2n=6x=54$) (Ferrari Usandizaga et al., 2015).

Entre los 27 genotipos encontrados se estudió la diversidad a partir de una serie de caracteres fenotípicos pudiéndose observar una importante variación genética, que se considera elevada por el número reducido de individuos. También se ha estudiado la fertilidad masculina por medio del análisis de la viabilidad del polen, la cual es

altamente variable entre los genotipos. Además, se observó que la producción de semillas en autopolinización es baja y mediana a alta en polinización cruzada (Schedler, 2013). A partir de estos resultados se han realizado cruzamientos entre diferentes genotipos y se obtuvieron híbridos de ocho familias diferentes.

Estudios posteriores concluyen que la inhibición de la germinación estaría asociada a impedimentos de tipo físico, la misma aumenta quitándole las brácteas (glumas y glumelas) manualmente. En cuanto al nivel de heterosis evaluado a través de una serie de caracteres morfológicos y agronómicos durante el primer año de crecimiento se observó que es posible esperar la ocurrencia de heterosis en híbridos, y que algunos híbridos muestran una mejor aptitud para los caracteres de cobertura y altura, en comparación a los parentales (Ledesma, 2014). Sería necesario continuar con la evaluación de los nuevos híbridos teniendo en consideración principalmente aspectos reproductivos totalmente desconocidos para estos nuevos materiales.

OBJETIVOS

- ✓ Evaluar características reproductivas (número de inflorescencias, producción de semillas y extensión del período reproductivo) en híbridos tetraploides de *Acroceras macrum*.
- ✓ Determinar la producción acumulada de forraje en híbridos de *A. macrum*.
- ✓ Evaluar la ocurrencia de heterosis en híbridos de *A. macrum* para los caracteres en evaluación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal:

El material vegetal utilizado para este estudio consistió en 48 híbridos provenientes de 6 familias generadas por cruzamientos entre diferentes genotipos de *Acroceras macrum* (Tabla 1), que se conservan como plantas vivas y se encuentran herborizados en el Instituto de Botánica del Nordeste (IBONE). Estos ejemplares fueron logrados a partir de cruzamientos controlados como parte del trabajo final de graduación de la Ing. Agr. Mara Schedler (Schedler, 2013).

Tabla 1. Origen de las familias generadas a partir de cruzamientos intraespecíficos de *Acroceras macrum*. Se describen los progenitores utilizados y la denominación de la familia, el asterisco (*) indica las familias obtenidas por polinización abierta. Además, se acompaña el número de híbridos presentes en cada familia.

Madre	Padre	Familia	Nº de híbridos
A15	A9	A	8
A16	A12	B	9
A19	A8	C	6
A24	A9	D	9
A12	*	E	9
A30	*	F	7

El origen híbrido de la progenie fue corroborado por medio de un test de progenie con marcadores moleculares que fue parte de la tesis doctoral de la Dra. Silvana Ferrari Usandizaga (Ferrari Usandizaga, 2015).

A mediados de febrero 2014 los híbridos junto con sus progenitores fueron plantados en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE, en una distribución de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, con un distanciamiento entre plantas de 1,5 x 1,5 m (Figura 1). El establecimiento de la parcela experimental fue parte del trabajo realizado por el Ing. Agr. Diego A. Ledesma en la cátedra de Forrajicultura para obtener su título de grado (Ledesma, 2014).



Figura 1. Híbridos implantados en el Campo Experimental de la FCA-UNNE, con una distribución de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, y un distanciamiento entre plantas de 1,5 x 1,5 m.

Labores culturales:

Anteriormente a la toma de datos, se realizó, en todas las plantas, un corte de emparejamiento a 10 cm del suelo a fines del invierno y fertilización con 15-15-15 (N-K-P) a razón de aproximadamente 2 g por planta.

A lo largo de todo el ciclo productivo se mantuvo el lote mediante carpidas manuales alrededor de los ejemplares y desmalezado con moto-guadaña y/o aplicaciones de glifosato a dosis de 4 litros por ha.

Evaluaciones:

Cada híbrido junto con su progenitor fue evaluado a partir de características reproductivas desde el inicio de la primavera hasta el inicio del invierno. Se realizaron seis muestreos durante cuatro meses consecutivos: 5 y 18 de diciembre de 2014; 13 y 14 de enero; 12 y 20 de febrero; y 19 de marzo de 2015 cubriendo el período reproductivo.

Se efectuaron las siguientes mediciones:

1) Número de inflorescencias: cantidad de inflorescencias por planta. Para esto se hizo un recuento de inflorescencias en cada planta antes de cada cosecha.

2) Producción de semillas: gramos de semillas producidos por planta. La cosecha se realizó en forma escalonada, cada vez que las inflorescencias habían alcanzado la madurez. Se llevó la muestra a estufa a 35°C hasta peso constante y se procedió a la trilla manual. Posteriormente se utilizó un soplador de semillas para separar las impurezas y semillas vanas de las semillas llenas. En una balanza de precisión se pesó tanto la producción de semillas viables como las vanas y en base a eso se calculó porcentaje de llenado.

$$\text{LLENADO DE SEMILLAS (\%)} = \text{SEMILLAS LLENAS} / (\text{SEMILLAS LLENAS} + \text{SEMILLAS VANAS}) * 100$$

Al concluir la medición se promediaron los valores correspondientes al porcentaje de llenado de cada repetición. Luego se multiplicó por el peso promedio de semillas llenas para obtener los gramos de semilla producida por planta.

3) Producción de biomasa acumulada: producción de biomasa durante todo el período de crecimiento. Una vez finalizado el período reproductivo, a mediados de marzo de 2015, se procedió al corte de la planta completa, dejando un remanente de 10 cm. La muestra se pesó, se tomó una submuestra y se llevó a estufa a 60°C hasta peso constante. Por la diferencia entre el peso húmedo y el peso seco se obtuvo la proporción de materia seca y a partir de éste valor la biomasa producida en un período de crecimiento.

4) Ocurrencia de heterosis para los caracteres en estudio: se calculó la diferencia del valor medio de cada híbrido con respecto al promedio de los padres y al padre superior (Fehr, 1987), utilizando las siguientes fórmulas:

Heterosis con respecto al padre superior (HPS):

$$HPS = \bar{X} \text{ HIBRIDO} - \bar{X} \text{ PADRE SUPERIOR}$$

Heterosis con respecto a la media de los padres (HMP):

$$HMP = \bar{X} \text{ HIBRIDO} - \bar{X} \text{ DE LOS PADRES}$$

La HMP se calculó solamente con aquellas familias que se conocía el progenitor masculino y femenino (A, B, C y D).

Se consideró como híbrido heterótico a aquel que presentó un valor estadísticamente superior al valor promedio de los padres o al valor del padre superior luego de utilizar un análisis ANOVA y separación de medias (LSD de Fisher). La heterosis fue expresada como el porcentaje de híbridos que superaron (positiva) o fueron superados (negativa) significativamente por el progenitor superior, o con respecto a la media de los padres. Se realizó el análisis para las tres variables en estudio: porcentaje promedio de llenado, producción de semillas y biomasa producida.

Análisis estadístico:

Se evaluó el efecto del genotipo, y la interacción entre el genotipo y la fecha utilizando un modelo mixto para un ensayo repetido en el tiempo, mediante el programa InfoStat (Di Rienzo et al., 2016). Cuando se encontró una interacción entre el genotipo y la fecha de toma de datos, se realizó un análisis de la varianza y separación de medias mediante el test de Fisher (LSD) para cada fecha y variable en estudio (producción de inflorescencias, llenado de semillas y producción de semillas). Se realizó también un análisis de varianza para evaluar el efecto del genotipo para producción acumulada de semillas, llenado de semillas (promedio de las 6 fechas), y la producción de biomasa forrajera.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de la floración

Se determinó que la floración de *Acroceras macrum* se concentró desde diciembre de 2014 hasta mediados de marzo de 2015 (Figura 2). Se observó una distribución irregular que comenzó con un bajo número de inflorescencias en el mes de diciembre, experimentó un pico máximo durante la primera quincena de enero, en el cual la mayoría de los genotipos advirtieron el mayor número de inflorescencias, y posteriormente la producción comenzó a disminuir hasta alcanzar un mínimo en marzo. Se observó un segundo pico de floración a mediados de marzo.

A modo de facilitar la lectura y comparación, los genotipos parentales de la Figura 2 se encuentran precedidos de la letra “P”. Se registraron tres grupos diferenciados; el primero abarca genotipos como PA12, PA15, PA24, PA30, y las familias B, D, E y F cuyo pico de floración se dio el 13 y 14 de enero de 2015, disminuyendo su producción progresivamente en las siguientes fechas. Se observó un segundo grupo cuya floración se distribuyó en forma regular entre diciembre y la segunda medición de febrero con genotipos como PA16, PA19 y la familia C. Se presentó además un tercer caso, la familia A con baja producción de flores durante la mayor parte del período evaluado y un pico en la última toma de muestra el 19 de marzo de 2015 (Figura 2).

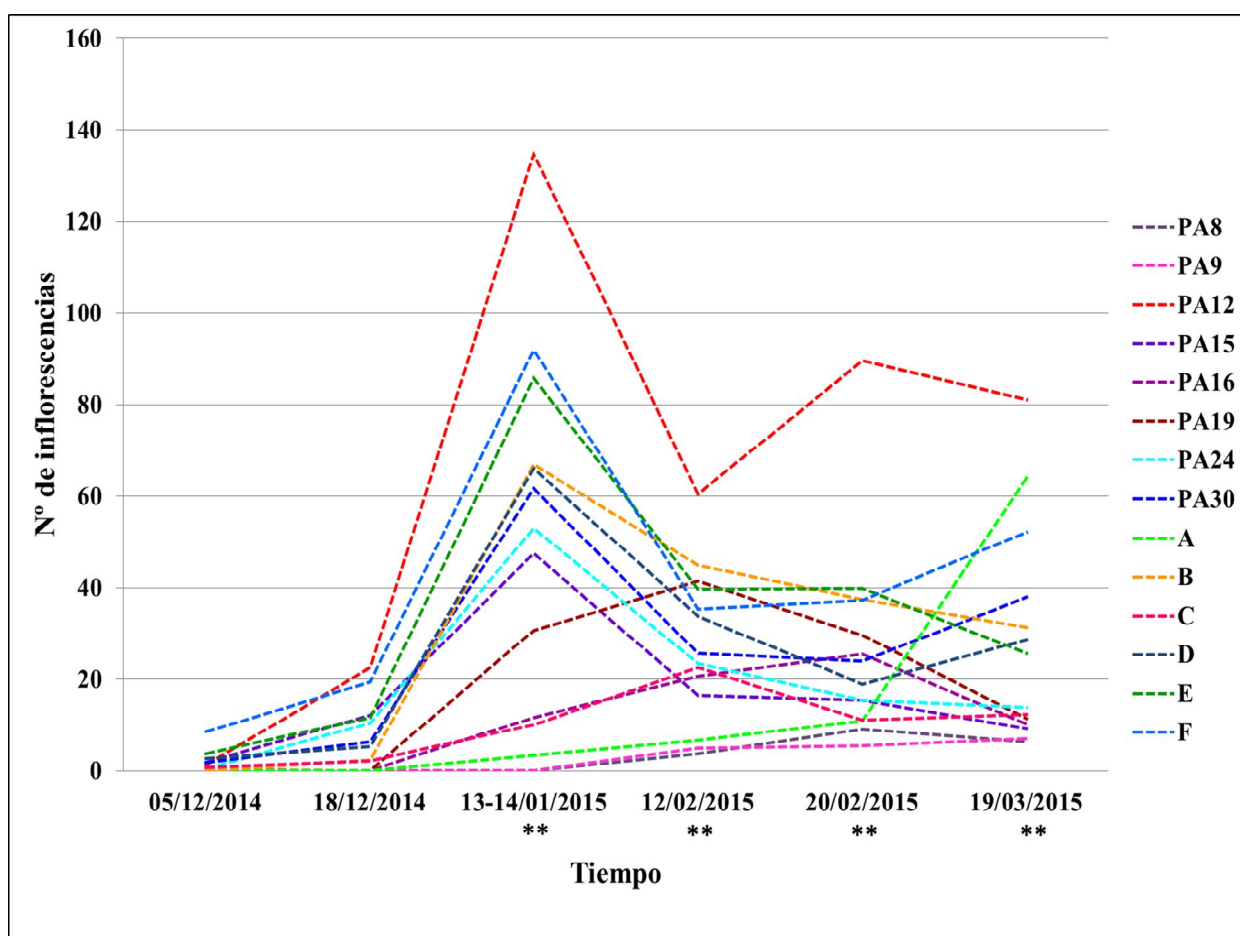


Figura 2. Distribución del número de inflorescencias en el tiempo para las familias: A, B, C, D, E, F y sus progenitores: PA8, PA9, PA12, PA15, PA16, PA19, PA24 y PA30. Los asteriscos (**) corresponden a una diferencia media significativa (p-valor < 0,001).

Los resultados indicarían que *Acroceras macrum* es una planta de ciclo estival, cuya floración respondería al alargamiento del día, teniendo su pico de floración cuando el fotoperíodo es máximo. Los resultados demuestran una floración heterogénea en la que se evidencia la presencia de distintos grupos de floración. Un comportamiento similar se observó en *Setaria sphacelata*; gramínea forrajera perenne, de alta producción estival y

alógama al igual que *A. macrum*. El ensayo consistió en un corte de emparejamiento efectuado los últimos días de octubre (día 0), realizado con el fin de concentrar la floración, se observó que la fenología floral de *S. sphacelata* responde a dos grupos. Los de floración temprana o precoces, que inician la antesis a los 45 días desde el corte de emparejamiento y que completaron la etapa en 8-10 semanas, y los de floración tardía, que comienzan la antesis a los 55 días desde el corte de emparejamiento y que completaron la etapa en 5-6 semanas (Ciotti et al., 2012). Los resultados parecerían contrastar con especies forrajeras como *Paspalum atratum* que si bien se comporta como especie perenne de ciclo estival, posee una floración concentrada y tardía al final del ciclo de crecimiento (Urbani, comunicación personal). La diversidad observada, desde el punto de vista del mejoramiento genético, indicaría que sería posible la selección de materiales que posean la floración más concentrada.

A través del análisis de la varianza repetido en el tiempo se pudo observar una interacción genotipo y fecha, debido a esto se decidió realizar dicho análisis para cada una de las fechas correspondientes al estudio. Éste arrojó diferencias altamente significativas ($p\text{-valor} < 0,001$) para las últimas cuatro fechas de análisis (Figura 2). Se describen los valores medios y la diferencia media significativa para los distintos genotipos en las seis fechas evaluadas (Anexo Tabla 1). Por su desempeño se destacan los genotipos PA12, y las familias E y F en todo el ciclo de producción de inflorescencias, a los que además corresponden los mayores valores para los dos picos de producción correspondientes a las fechas 13 y 14 de diciembre y 19 de marzo de 2015. Con la excepción de la última fecha donde se destaca la familia A en vez de la familia E.

Distribución, llenado y producción de semillas

La variable llenado de semillas hace referencia a la cantidad de semillas viables o “llenas” en función del total de espiguillas producidas. Su importancia radica en dar una idea de la fertilidad que acompaña a la especie.

Según lo evaluado, se observó que la distribución del llenado de semillas es irregular. La mayoría de los híbridos muestra en general, un porcentaje de llenado máximo en la fecha correspondiente al 13 y 14 de enero de 2015, y un segundo aumento coincidente con el segundo pico de floración el día 3 de marzo de 2015 (Figura 3).

Al realizar un análisis de la varianza repetido en el tiempo no se observaron diferencias significativas ($p\text{-valor} < 0,05$) entre los genotipos. Tampoco se observó una interacción entre el genotipo y la fecha (Figura 3).

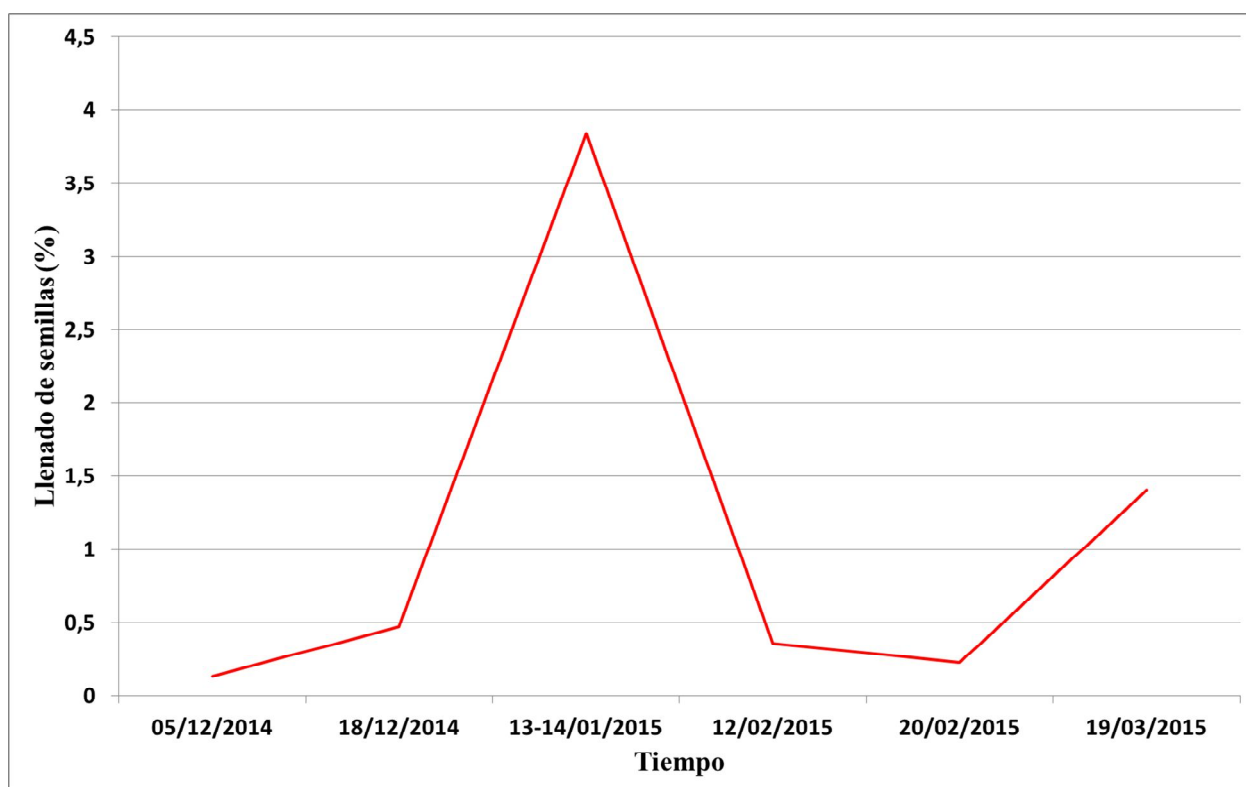


Figura 3. Promedio de todos los genotipos (híbridos y padres), para la variable llenado de semillas expresado en porcentaje.

Al analizar el valor medio de cada familia, considerando las 6 fechas, y al compararlo con sus progenitores en todo el período, se observaron diferencias significativas (p -valor $< 0,05$). Se destaca en su fertilidad media de la familia E (Figura 4).

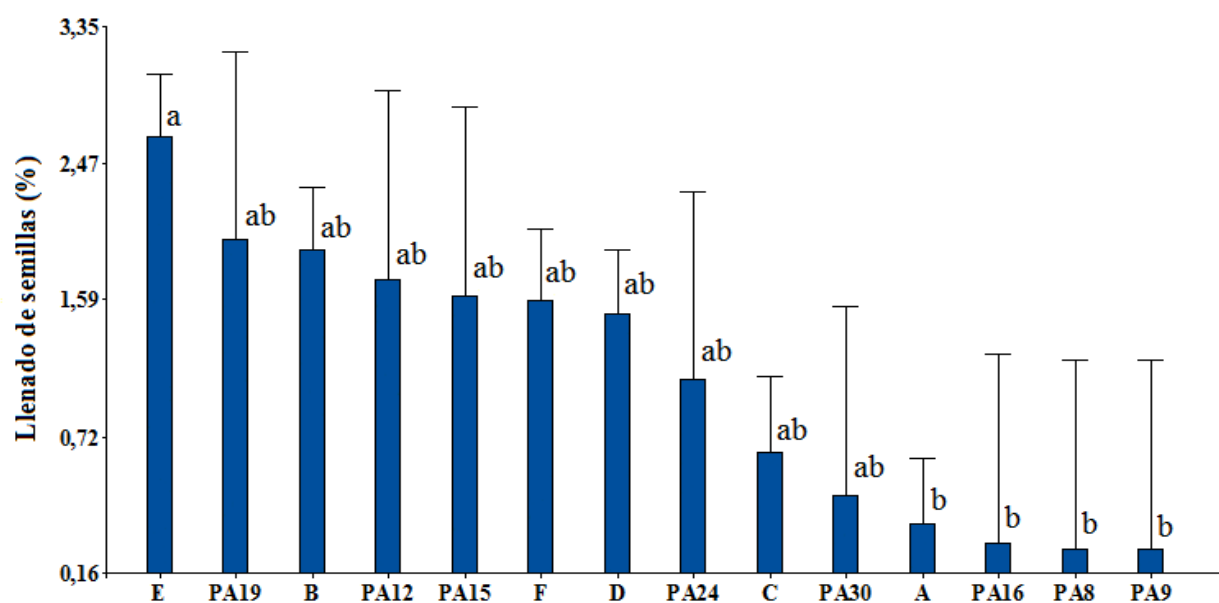


Figura 4. Llenado de semillas expresado en porcentaje para las familias A, B, C, D, E, F y comparación con sus progenitores: PA8, PA9, PA12, PA15, PA16, PA19, PA24 y PA30.

En cuanto a la producción de semillas, al realizar un análisis repetido en el tiempo se observó una interacción genotipo y fecha altamente significativa (p -valor $<0,001$) (Figura 5). Los híbridos presentaron dos picos de producción correspondientes al 13 y 14 de enero, y 3 de marzo del 2015. El parental PA12 es el que mejor comportamiento tiene, el valor alcanzado en la medición de enero es de $2,21 \text{ gr.pl}^{-1}$ y una producción acumulada en el ciclo productivo de $3,34 \text{ gr.pl}^{-1}$. Otros genotipos destacados son el parental PA15 con una producción acumulada de $0,80 \text{ gr.pl}^{-1}$ y familias como E y F con valores de $1,13$ y $0,9 \text{ gr.pl}^{-1}$ respectivamente (Figura 5).

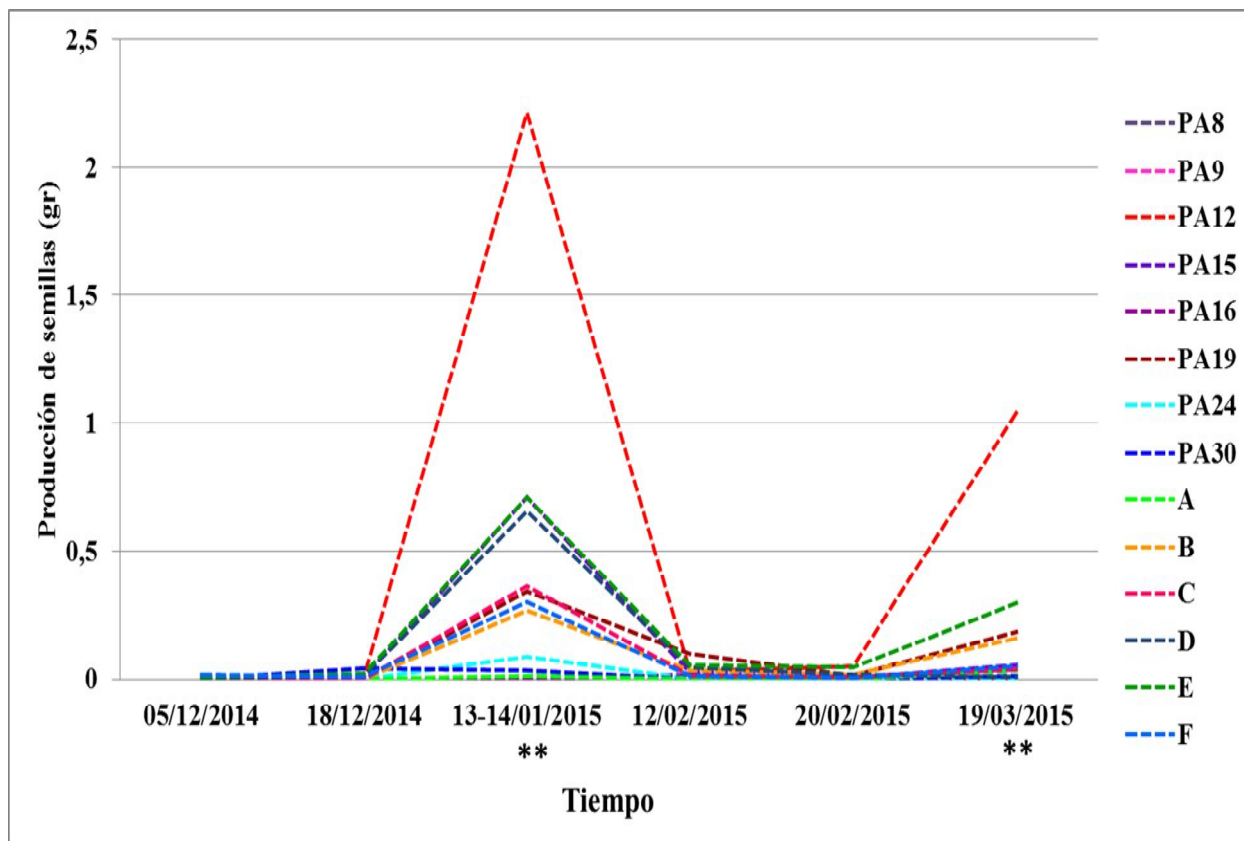


Figura 5. Distribución de la producción de semillas (gr) en el tiempo para las familias: A, B, C, D, E, F y sus progenitores: PA8, PA9, PA12, PA15, PA16, PA19, PA24 y PA30. Los asteriscos (**) corresponden a una diferencia media significativa (p -valor $< 0,001$).

Al evaluar la producción acumulada de semillas en todo el período, se observó diferencias altamente significativas (p -valor $<0,001$) entre familias y progenitores. Se destacan el Padre A12 (PA12) y la familia E (Figura 6).

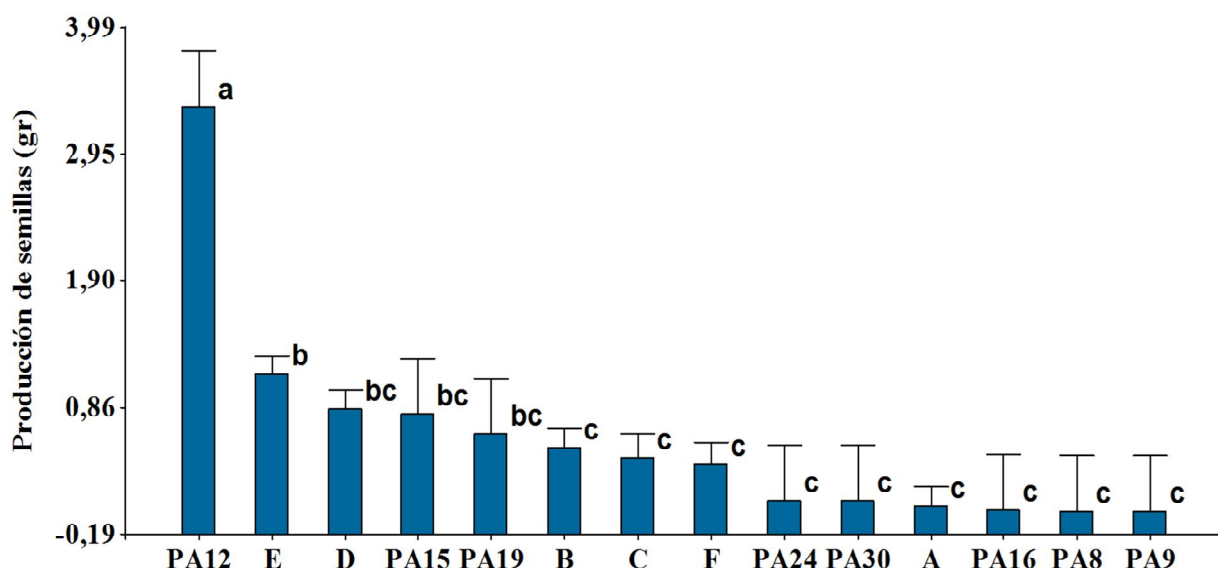


Figura 6. Producción acumulada de semillas expresada en gramos por planta para las familias A, B, C, D, E, F y sus progenitores: PA8, PA9, PA12, PA15, PA16, PA19, PA24 y PA30.

Los resultados obtenidos demuestran que las variables, llenado y producción de semillas comparten una distribución irregular. Se puede observar en las Figuras 2 y 3 que mientras que la floración fue heterogénea y se distribuyó en mayor o menor medida a lo largo de las distintas fechas de toma de muestra, tanto el llenado como la producción de semillas pareció concentrarse, y resultó mayor sólo en dos fechas correspondientes al 13 y 14 de enero, y al 19 de marzo de 2015. Al analizar dichas fechas, mediante un análisis de correlación entre las variables número de inflorescencias y llenado de semillas, se observó que ambas se encuentran correlacionadas significativamente a la producción de semillas, con valores que varían entre 0,3 y 0,6. Estos resultados son esperables, debido a que la floración representa el número potencial de semillas y el porcentaje de llenado es una fracción del total de flores que terminan en fruto. Por lo tanto, es razonable que al aumentar el número de inflorescencias en forma significativa aumente también el número de semillas, aunque el llenado de semillas se mantenga en valores modestos. Dicho esto, cuando la floración es significativa para la mayoría de los híbridos y los valores de llenado aumentan, se observa un impacto positivo en la producción de semillas.

Es importante aclarar, que en cada una de las fechas de recolección se cosecharon las espigas a “la vista” maduras, y al realizar un corte total de las espigas de la planta, se presume que en las mismas el grado de maduración pudo diferir, factor que pudo haber influido en la producción de semillas.

Estos resultados se pueden comparar con lo observado por Weiss (2013) en su trabajo final de grado, en el cual caracterizó el período reproductivo de cada genotipo de una población de *Acroceras macrum* situada en la Estación Experimental INTA Corrientes. Utilizó una escala visual del 1 al 5, para contabilizar la cantidad de días transcurridos desde la emisión de la primera espiga hasta llegar al pico de floración para cada genotipo. Sus resultados evidenciaron que los genotipos con los menores períodos vegetativos fueron los primeros en manifestar su máxima floración, por el contrario, cuanto mayor fue el período vegetativo, más lento fue el avance de la etapa reproductiva y se observó un retraso en la máxima floración. Concluyó que la selección de genotipos cuyo propósito sea el consumo animal, debería orientarse en la búsqueda de híbridos que tengan un período vegetativo largo, con una floración reducida y concentrada de tal manera de conservar la calidad forrajera y lograr un mejor aprovechamiento de las semillas producidas. De la misma forma, los resultados observados en el presente trabajo, indicaron gran variación genotípica cuando se analizaron las fechas significativas de floración, esto permitiría utilizar genotipos selectos con fines de mejoramiento que presenten uniformidad de floración en un período corto y determinado, estos rasgos son deseables frente a aquellos genotipos que florecen durante largos períodos. Favorecería también, genotipos que presenten altos valores de llenado de semillas (fertilidad), ya que los resultados encontrados indican que existe una correlación significativa con la producción de semillas.

Producción de biomasa

Se observó que la producción de biomasa mostró diferencias altamente significativas (p -valor $<0,001$) (Figura 7). Los genotipos destacados fueron PA12, y las familias B y E. La familia B (PA16 x PA12) conservó una media igual a su progenitor masculino y superó la media de su progenitor femenino. La familia E cuyo progenitor femenino es PA12 y de polinización abierta conservó una media inferior al parental conocido (PA12), pero muy buen comportamiento para la variable en estudio. Se observó un valor medio bajo para familias como C y A (Figura 7).

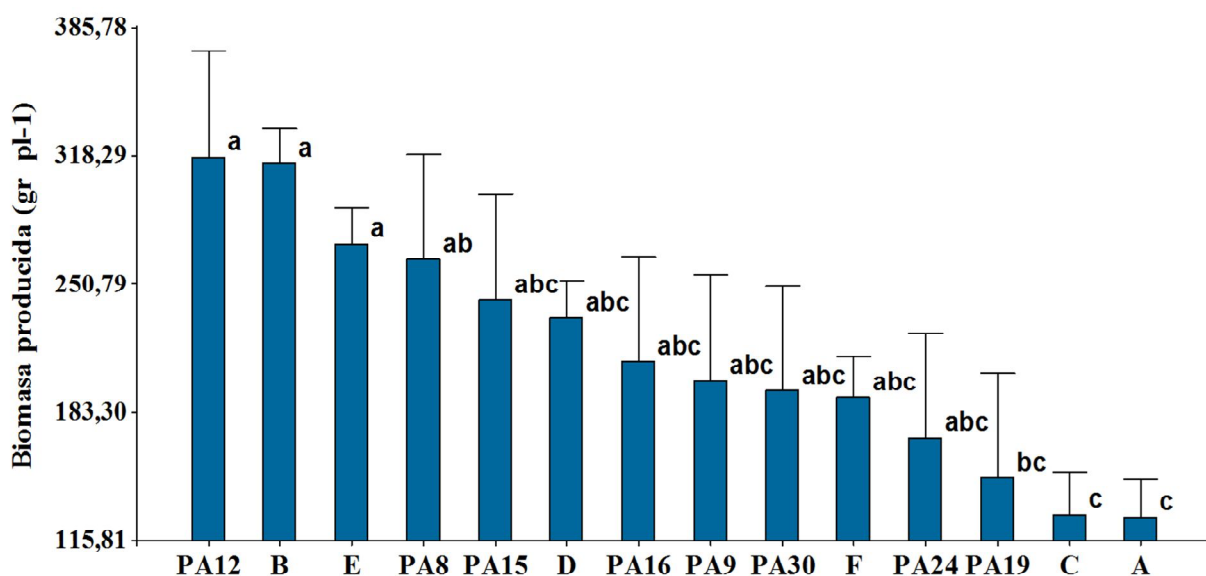
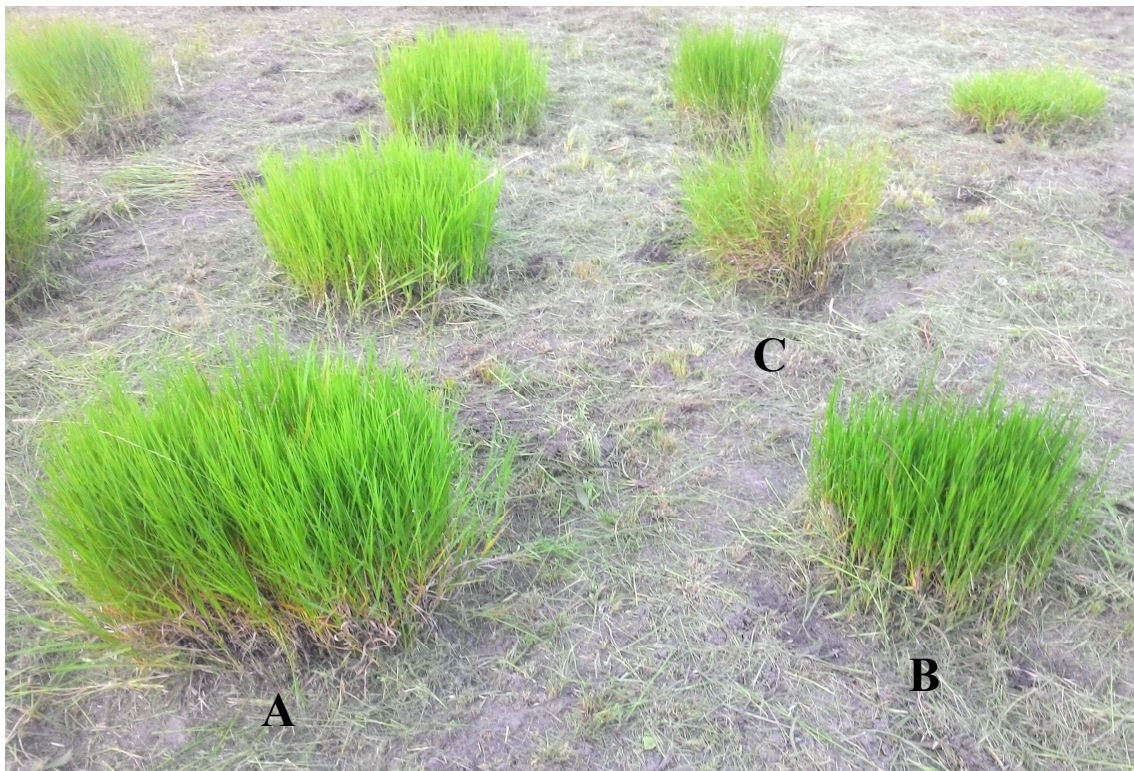


Figura 7. Biomasa producida expresada en gr.pl⁻¹ para las familias A, B, C, D, E, F y comparación con sus progenitores: PA8, PA9, PA12, PA15, PA16, PA19, PA24 y PA30.

Los resultados mostraron niveles variables de producción de biomasa para las distintas familias, relacionado presumiblemente con la diversidad génica encontrada en la población y las características morfológicas de la especie. En la Figura 8 se puede observar las diferencias encontradas en el vigor de los híbridos para distintas familias. Las mismas manifestaron portes vigorosos, intermedios o poco vigorosos. Estos resultados se podrían comparar con los encontrados por Weiss (2013), en el cual estudió el hábito de crecimiento de la población de *Acroceras macrum* situada en la Estación Experimental INTA Corrientes. El trabajo consistió en la caracterización de los ejemplares a través de la medición de la altura y el ancho de la base de cada planta. Las observaciones permitieron identificar genotipos erectos, semierectos y rastreros. Se concluyó que el hábito de crecimiento tiene relación estrecha con el tipo de utilización que se le da a la forrajera. De esta manera, si lo que se busca es un biotipo para corte un ejemplar de hábito erecto funcionaría mejor, mientras que un biotipo de hábito rastrero, al ser más tolerante, se adaptaría mejor al pastoreo directo.



Figuras 8. Diversidad encontrada en los híbridos de la población. Porte: A) vigoroso; B) intermedio; C) poco vigoroso.

Los resultados indican que sería posible utilizar las diferencias encontradas en la población como herramienta de mejoramiento, al poder realizar parcelas con los individuos que mejor comportamiento manifiestan. La presencia de rizomas y estolones, tiene íntima relación con la capacidad de la planta para extenderse y colonizar nuevas áreas, lo que demuestra la importancia de las características morfológicas en el momento de definir el manejo animal apropiado en sus diferentes alternativas de explotación, ya sea bajo pastoreo o corte (Sierra Posada, 2005). Además, los genotipos de mayor vigor suponen una ventaja al ejercer un impacto ambiental positivo, ofreciendo cobertura temprana y mayor competencia con especies de lenta implantación, y al mismo tiempo, produciendo un alto rendimiento animal (Borges do Valle et al., 1998). Es así, como los genotipos más productivos podrían ser seleccionados para aumentar el rendimiento en los potreros donde se desee establecer la pastura, y contribuir de esta forma a la calidad de la misma.

Heterosis en híbridos

Se observó variabilidad entre los híbridos y sus respectivos progenitores para cada una de las variables en análisis. Se describe a continuación la ocurrencia de heterosis:

Heterosis en híbridos con respecto al padre superior

En la Figura 9 se pueden observar las diferencias significativas tanto superiores como inferiores de los híbridos con respecto al progenitor que mostró mayor valor para cada característica en evaluación.

Los híbridos superaron a sus progenitores para las variables: llenado de semillas (%) variando desde 0% para las familias A y C hasta 14,29% en F. Con respecto a la variable producción de semillas (gr) varió desde 0% para las familias A, B, E y F hasta 33,33% en D. En cuanto al carácter biomasa producida (gr. pl^{-1}) no se observó superioridad en ninguno de los casos (Figura 9 y Anexo, Tablas: 2, 3, 4, 5, 6 y 7).

Se observó que algunos híbridos fueron superados por sus progenitores para las variables: llenado de semillas (%) variando desde 0% para las familias B, D, E y F a 97,5% para la familia A. Con respecto a la variable producción de semillas varió desde 0% para las familias D, E y F hasta 100% para las familias A y B. En cuanto a la biomasa producida se observó variaciones desde 0% para las familias B, D y F hasta 83,33% para C (Figura 9 y Anexo, Tablas: 2, 3, 4, 5, 6 y 7).

Heterosis en híbridos con respecto a la media de sus progenitores

En la Figura 10 se pueden observar la fracción de híbridos tanto superiores como inferiores con respecto al valor medio de sus progenitores para cada característica en evaluación. El análisis se realizó sólo en aquellas familias donde se conocía al progenitor masculino y femenino.

Los híbridos superaron a sus progenitores para las variables: llenado de semillas (%) variando desde 0% para la familia A hasta 22,22% para la D. Con respecto a la variable producción de semilla varió desde 0% para las familias A y B hasta 33,33% para las familias C y D. En cuanto a biomasa producida se observó variaciones desde 0% para A y C hasta 11,11% para las familias B y D (Figura 10 y Anexo, Tablas: 2, 3, 4, 5, 6 y 7).

Se observó que los híbridos fueron superados por sus progenitores para las variables: producción de semilla, la cual varió desde 0% para la familia D hasta 75% para A. Con respecto a la biomasa producida se observó variaciones desde 0% para B y D hasta 50% para C. En cuanto al carácter llenado de semillas (%) no se observó inferioridad en ninguno de los casos (Figura 10 y Anexo, Tablas: 2, 3, 4, 5, 6 y 7).

La ocurrencia de heterosis se manifestó en todos los caracteres evaluados. Las familias F y D contribuyeron con un buen porcentaje de híbridos superiores a sus progenitores. Las familias B, C y E al poseer mayor variabilidad, presentaron híbridos en algunos casos superiores y en otros inferiores a sus progenitores. Por otro lado, existieron casos en los cuales todos los híbridos fueron superados por sus progenitores

para los tres caracteres analizados, tal fue el caso de la familia A. Esto permitió constatar que la ocurrencia de la heterosis depende no sólo de la familia y de la variabilidad presente en las mismas, sino también del carácter en evaluación. Esto se puede comparar con lo citado por Ledesma (2014) en *Acroceras macrum* para las variables: crecimiento inicial, altura, cobertura, diámetro, largo y ancho de hoja, longitud de entrenudos y crecimiento en el primer período. Sus resultados demostraron que la ocurrencia de heterosis con respecto al padre superior y a la media de los progenitores era dependiente tanto del carácter en estudio, como así también de la combinación de los progenitores. Los resultados logrados contrastan parcialmente con lo encontrado por Loto (2014) en híbridos apomícticos obtenidos a partir de cruzamientos entre *Paspalum plicatulum* y *P. guenoarum*, el cual observó heterosis positiva y significativa únicamente para dos caracteres en estudio, resistencia al frío (2012 y 2013) y preferencia por parte del ganado. La ocurrencia de heterosis en ese caso fue altamente dependiente del carácter en evaluación (Loto, 2014).

En este trabajo se encontró un número importante de híbridos que se comportan como superiores a sus progenitores para los tres caracteres en estudio. Los mismos podrían ser tenidos en cuenta, para ser evaluados en un futuro en forma individual. Así mismo, la enorme diversidad encontrada en toda la población estaría sujeta a la posibilidad de selección con fines de mejorar genéticamente la especie.

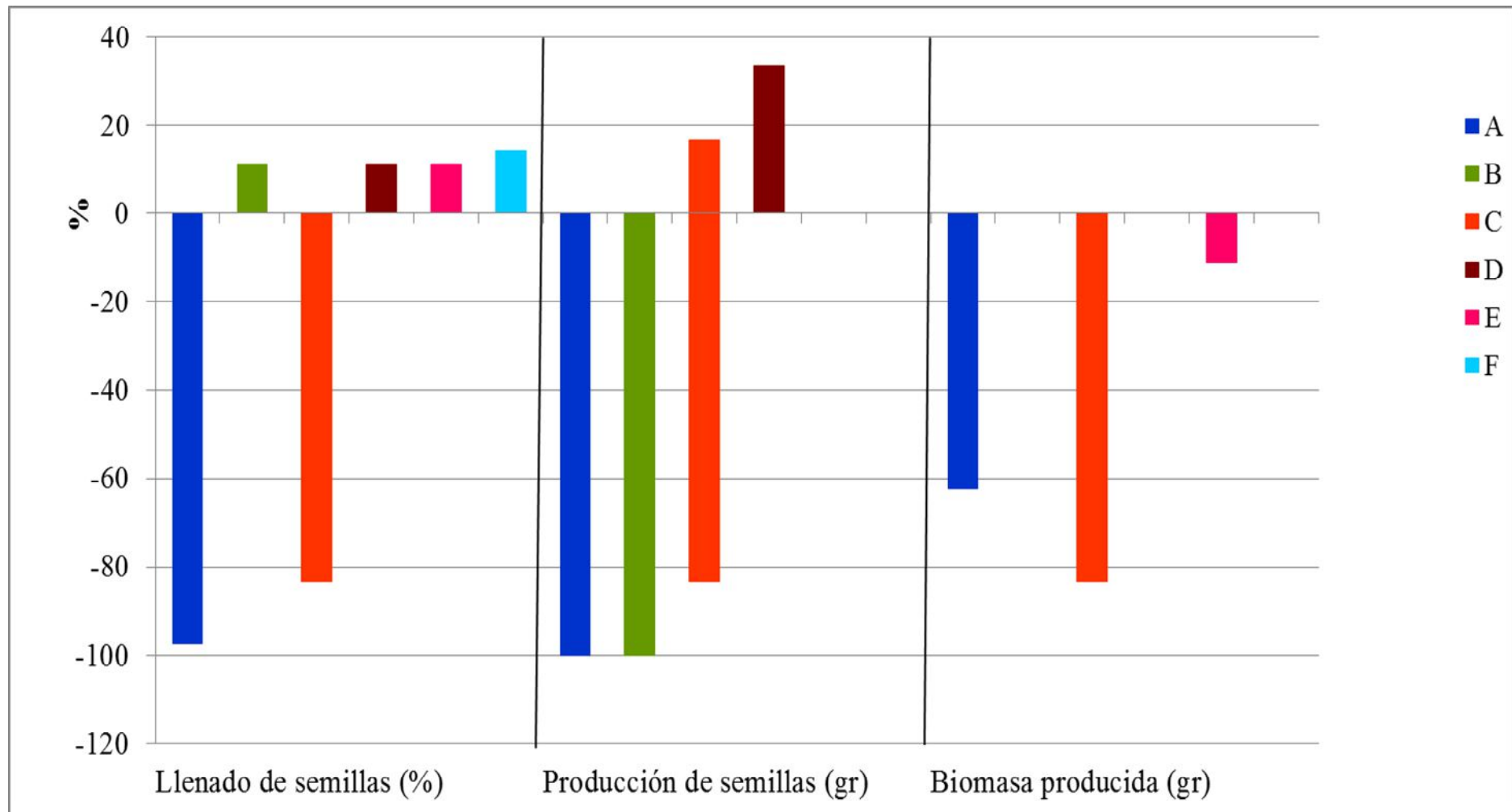


Figura 9. Se describen con distintos colores los resultados para seis familias de *A. macrum* y el porcentaje de híbridos significativamente superiores e inferiores con respecto a la media del padre superior, para las variables llenado de semillas, producción de semillas y biomasa producida.

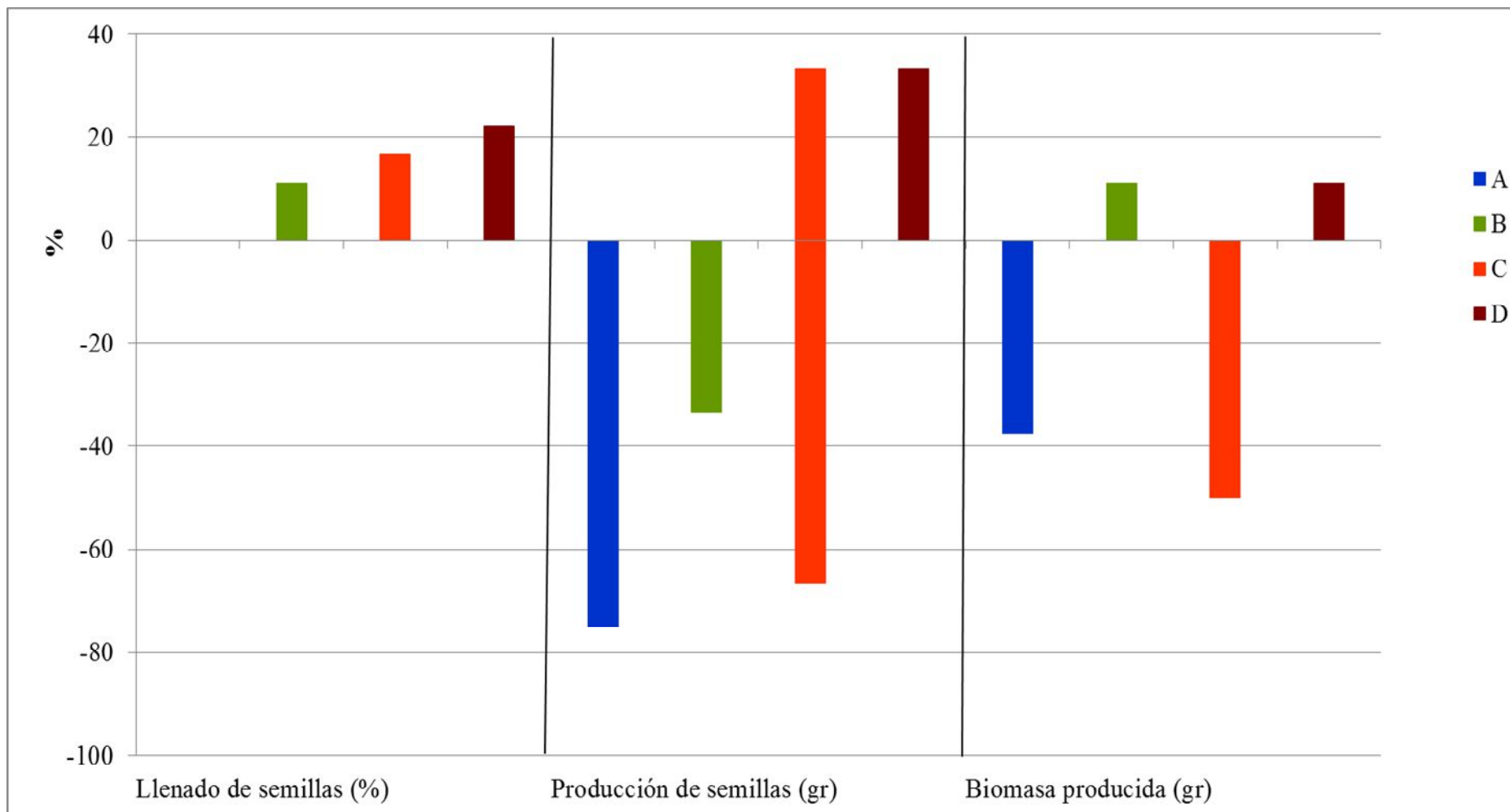


Figura 10. Se describen con distintos colores los resultados para cuatro familias de *A. macrum* y el porcentaje de híbridos superiores e inferiores con respecto a la media de sus progenitores, para las variables llenado de semillas, producción de semillas y biomasa producida. No se incluyen las familias E y F por ser de polinización abierta.

CONCLUSIONES

- Los resultados indicarían que *Acroceras macrum* es una planta de ciclo estival, cuya floración responde al alargamiento del día, teniendo su pico de floración cuanto el fotoperíodo es máximo.
- La floración de *A. macrum* fue heterogénea y se evidenció la presencia de distintos grupos de floración. Así mismo, el llenado y la producción de semillas tuvieron un comportamiento similar, evidenciando la diversidad presente en la población.
- Un análisis de correlación constató que cuando los valores de floración y llenado de semillas aumentaron, contribuyeron en forma significativa a la producción de semillas. Lo que permitiría utilizar con fines de mejoramiento, genotipos destacados con floración concentrada y altos valores de llenado de semillas en un mismo período.
- El nivel de heterosis esperado en híbridos intraespecíficos de *A. macrum* depende de la familia, de la variabilidad presente en las mismas, y del carácter en evaluación.
- La variabilidad hallada en la población, y la evidencia de un grupo de híbridos superiores a sus progenitores para los caracteres estudiados: llenado de semillas, producción de semillas y biomasa producida, permitiría dar inicio a un programa de mejoramiento genético en *A. macrum* con la posibilidad de mejorar la especie para las características que mejor comportamiento demostraron.

BIBLIOGRAFÍA

- Altuve S.M., Rollo Pallarés O., Pizzio R.M. 1994. Pasto Nilo (*Acroceras macrum* S.): una buena forrajera para campos bajos subtropicales. Noticias y comentarios EEA-INTA Mercedes, No. 296.
- Borges do Valle C., Miles J.W. 1998. *Brachiaria*: biología, agronomía y mejoramiento. CIAT No. 295. Cali, Colombia.
- Ciotti E.M., Tomei C.E., Castelán M.E. 2012. Fenología floral y producción de semillas de *Setaria anceps* var. *Sericea* cv. *Nandi*. Pastos y Forrajes. 22: 2078-8452.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Fehr W.R. 1987. Principles of Cultivar Development, Crop Species. Macmillan, USA.
- Ferrari Usandizaga S.C., Martínez E.J., Quarín C.L., Zilli A.L., Brugnolli E.A., Randazzo C., Pagano E.M., Acuña C.A. 2015. Genetic and morphological characterization of *Acroceras macrum* Stapf. Grass and Forage Science, 70: 695–704.
- Ferrari Usandizaga S.C. 2015. Sistemas genéticos y diversidad en *Acroceras macrum* Stapf. Tesis del Doctorado en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario.
- Ledesma D.A. 2014. Germinación y heterosis en híbridos de *A. macrum* Stapf. Trabajo final de Graduación, Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE.
- Loto R.G. 2014. Heterosis en híbridos apomícticos del grupo Plicatula de *Paspalum*. Trabajo final de Graduación, Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE.
- Rhind J.M., Goodenough D.C. 1976. The assessment and breeding of *Acroceras macrum* Stapf. Proc. Grassland Soc. S. Africa 11:115-117.
- Schedler M. 2013. Estudio de fertilidad en una colección de *Acroceras macrum* Stapf (Pasto Nilo) introducida de Sudáfrica. Trabajo Final de Graduación, Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE.
- Sierra Posada J.O. 2005. Fundamentos para el establecimiento de pasturas y cultivos forrajeros. Universidad de Antioquía, Colombia.
- Skerman P.J., Riveros F. 1992. Gramíneas tropicales. FAO, Roma, Italia.
- Weiss I.A. 2013. Variabilidad genética en el germoplasma de *Acroceras macrum* Stapf. Trabajo Final de Graduación, Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE.

ANEXO

Tabla 1. Descripción de los valores medios y la diferencia media significativa (DMS) para los distintos genotipos en las seis fechas evaluadas.

	Número de inflorescencias						Llenado de semillas (%)						Producción de semillas (gr)					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M1	M2	M3	M4	M5	M6
PA8	0	0	0	3,75	9	13,5	sd	sd	sd	sd	0	sd	0	0,01	0	0	0	0
PA9	0	0	0	3,75	6	7,5	sd	sd	sd	sd	sd	sd	0	0,01	0	0	0	0
PA12	1,25	22,5	134,25	60,5	86	76,75	0,8	0,03	5,86	0,39	1,37	4,69	0,0033	0	2,21	0,03	0,05	1,04
PA15	1,75	12,25	47,5	16,5	12,25	11	0	0,6	6,05	4,73	2,01	6,84	0	0	0,71	0,03	0,0033	0,05
PA16	0	0	11,75	20,75	16	12,25	sd	sd	0	0,91	sd	sd	0	0	0	0,01	0	0
PA19	0,25	0	30,75	41,5	20,25	13	sd	sd	8,05	3,32	1,58	10,45	0	0,04	0,34	0,1	0,01	0,18
PA24	0,5	10,5	53	23,5	9	14,25	sd	0	8,65	0	sd	sd	0	0	0,09	0	0	0
PA30	2	6,25	61,75	25,75	24,75	40,25	0	3,04	0,26	sd	sd	0,73	0	4,08	0,03	0	0	0,01
A	0,06	0,19	3,16	6,59	10,91	8	sd	0	3,48	0	0	5,48	0	0	0,01	0	0	0,03
B	0,06	2,42	49,47	44,97	37,5	31,39	sd	0,47	8,08	0,9	1,25	8	0	0,00018	0,27	0,03	0,02	0,21
C	0,91	4,04	26,43	12,7	13,43	12,65	1,61	0,06	9,68	0,96	0,32	7,42	0,0026	0,00057	0,38	0,01	0,01	0,04
D	2,66	9,28	66	34,81	18,91	28,59	0,54	0,46	13,91	2	1,85	2,67	0,0043	0,02	0,74	0,05	0,02	0,01
E	3,83	11,97	86,31	39,69	39,86	25,61	1,05	1,02	13,11	1,93	2,64	10,04	0,01	0,02	0,71	0,05	0,04	0,3
F	10,96	20,36	91,93	35,39	37,21	52,21	1,63	5,41	4,14	1,83	0,16	3,37	0,02	0,01	0,3	0,01	0,0023	0,05
DMS	9,84	16,13	60,96	25,36	30,01	29,02	3,45	19,94	14,72	4,52	5,3	14,09	0,03	0,04	0,8	0,1	0,07	0,33

Las fechas evaluadas se encuentran representadas por: M1:05/12/14; M2:18/12/14; M3:13-14/01/15; M4:12/02/15; M5:20/02/15; y M6:19/03/15.

Tabla 2. Heterosis con respecto al padre superior (HPS) y a la media de los padres (HMP) observada para la Familia A (híbridos de *Acroceras macrum*) para 3 caracteres evaluados.

Padres e híbridos	Llenado promedio (%)			Producción de semillas (gr)			Biomasa producida (gr planta ⁻¹)		
	MEDIA	HPS	HMP	MEDIA	HPS	HMP	MEDIA	HPS	HMP
PA15	1,62			0,8			242,53		
PA9	0			0			200,28		
A1	0,78	-0,84	-0,03	0,15	-0,65	-0,25	159,53	-83	-61,875
A2	0	-1,62	-0,81	0	-0,8	-0,4	24,65	-217,88	-196,755
A3	0	-1,62	-0,81	0	-0,8	-0,4	179,63	-62,9	-41,775
A4	0	-1,62	-0,81	0	-0,8	-0,4	171,15	-71,38	-50,255
A5	0	-1,62	-0,81	0	-0,8	-0,4	72,1	-170,43	-149,305
A6	0,48	-1,14	-0,33	0,17	-0,63	-0,23	121,47	-121,06	-99,935
A7	0	-1,62	-0,81	0	-0,8	-0,4	126	-116,53	-95,405
A8	0	-1,62	-0,81	0	-0,8	-0,4	132,44	-110,09	-88,965
DMS	1,00509			0,3305			95,60822		

Tabla 3. Heterosis con respecto al padre superior (HPS) y a la media de los padres (HMP) observada para la Familia B (híbridos de *Acroceras macrum*) para 3 caracteres evaluados.

Padres e híbridos	Llenado promedio (%)			Producción de semillas (gr)			Biomasa producida (gr planta ⁻¹)		
	MEDIA	HPS	HMP	MEDIA	HPS	HMP	MEDIA	HPS	HMP
PA16	0,04			0,01			209,79		
PA12	1,73			3,34			318,79		
B1	1,5	-0,23	0,615	0,18	-3,16	-1,495	195,66	-123,13	-68,63
B2	1,69	-0,04	0,805	1,16	-2,18	-0,515	529,14	210,35	264,85
B3	1,28	-0,45	0,395	0,3	-3,04	-1,375	459,51	140,72	195,22
B4	0,88	-0,85	-0,005	0,48	-2,86	-1,195	246,53	-72,26	-17,76
B5	1,25	-0,48	0,365	0,12	-3,22	-1,555	215,39	-103,4	-48,9
B6	6,17	4,44	5,285	0,64	-2,7	-1,035	283,9	-34,89	19,61
B7	1,67E+00	-0,06	0,785	0,2	-3,14	-1,475	301,08	-17,71	36,79
B8	1,01	-0,72	0,125	0,76	-2,58	-0,915	231,75	-87,04	-32,54
B9	1,82	0,09	0,935	0,93	-2,41	-0,745	365,86	47,07	101,57
DMS	2,12291			1,3904			227,51		

Tabla 4. Heterosis con respecto al padre superior (HPS) y a la media de los padres (HMP) observada para la Familia C (híbridos de *Acroceras macrum*) para 3 caracteres evaluados.

Padres e híbridos	Llenado promedio (%)			Producción de semillas (gr)			Biomasa producida (gr planta ⁻¹)		
	MEDIA	HPS	HMP	MEDIA	HPS	HMP	MEDIA	HPS	HMP
PA19	1,98			0,64			148,63		
PA8	0			0			263,85		
C1	0	-1,98	-0,99	0	-0,64	-0,32	78,57	-185,28	-127,67
C2	0	-1,98	-0,99	0	-0,64	-0,32	162,25	-101,6	-43,99
C3	0,31	-1,67	-0,68	0,13	-0,51	-0,19	139,1	-124,75	-67,14
C4	2,61	0,63	1,62	2,12	1,48	1,8	195,65	-68,2	-10,59
C5	0,62	-1,36	-0,37	0,38	-0,26	0,06	96,41	-167,44	-109,83
C6	0,15	-1,83	-0,84	0,0049	-0,6351	-0,3151	83,8	-180,05	-122,44
DMS	1,10606			0,057127			84,13099		

Tabla 5. Heterosis con respecto al padre superior (HPS) y a la media de los padres (HMP) observada para la Familia D (híbridos de *Acroceras macrum*) para 3 caracteres evaluados.

Padres e híbridos	Llenado promedio (%)			Producción de semillas (gr)			Biomasa producida (gr planta ⁻¹)		
	MEDIA	HPS	HMP	MEDIA	HPS	HMP	MEDIA	HPS	HMP
PA24	1,08			0,09			169,76		
PA9	0			0			200,28		
D1	0	-1,08	-0,54	0	-0,09	-0,045	268,6	68,32	83,58
D2	0	-1,08	-0,54	0	-0,09	-0,045	140,61	-59,67	-44,41
D3	0,24	-0,84	-0,3	0,12	0,03	0,075	219,66	19,38	34,64
D4	1,56	0,48	1,02	0,22	0,13	0,175	219	18,72	33,98
D5	2,03	0,95	1,49	1,57	1,48	1,525	326,34	126,06	141,32
D6	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
D7	0,08	-1	-0,46	0,02	-0,07	-0,025	219,78	19,5	34,76
D8	2,91	1,83	2,37	3,95	3,86	3,905	232,52	32,24	47,5
D9	6,78	5,7	6,24	0,83	0,74	0,785	236,06	35,78	51,04
DMS	2,26718			0,7327			127,63		

Tabla 6. Heterosis con respecto al padre superior (HPS) y a la media de los padres (HMP) observada para la Familia E (híbridos de *Acroceras macrum*) para 3 caracteres evaluados.

Padres e híbridos	Llenado promedio (%)		Producción de semillas (gr)		Biomasa producida (gr planta ⁻¹)	
	MEDIA	HPS	MEDIA	HPS	MEDIA	HPS
PA12	1,73		0,13		318,1	
E1	8,97	7,24	0,44	0,31	420,83	102,73
E2	3,05	1,32	0,14	0,01	240,03	-78,07
E3	0	-1,73	0	-0,13	87,3	-230,8
E4	1,61	-0,12	0,13	0	387,45	69,35
E5	0,27	-1,46	0,05	-0,08	264,12	-53,98
E6	4,18	2,45	0,14	0,01	349,38	31,28
E7	3,23	1,5	0,18	0,05	267,64	-50,46
E8	1,45	-0,28	0,08	-0,05	215,12	-102,98
E9	1,05	-0,68	0,05	-0,08	217,34	-100,76
DMS	3,80412		1,67298		192,16	

Tabla 7. Heterosis con respecto al padre superior (HPS) y a la media de los padres (HMP) observada para la Familia F (híbridos de *Acroceras macrum*) para 3 caracteres evaluados.

Padres e híbridos	Llenado promedio (%)		Producción de semillas (gr)		Biomasa producida (gr planta ⁻¹)	
	MEDIA	HPS	MEDIA	HPS	MEDIA	HPS
PA30	0,35		0,08		194,29	
F1	0,09	-0,26	0,05	-0,03	151,98	-42,31
F2	0,08	-0,27	0,0033	-0,0767	157,29	-37
F3	7,24	6,89	0,91	0,83	170,03	-24,26
F4	0,54	0,19	0,2	0,12	272,6	78,31
F5	0	-0,35	0	-0,08	180,44	-13,85
F6	2,15	1,8	1,15	1,07	229,88	35,59
F7	1,04	0,69	0,43	0,35	158,95	-35,34
DMS	3,74646		0,6638		122,24	