



2022

Caracterización Agronómica y Selección de líneas F₄ de *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw.

Trabajo Final de graduación: Modalidad Tesina

Alumna: Silva Reis, Ayelén Itati

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



Índice

2	• Resumen
3	• Origen y Fundamentos
5	• Antecedentes
6	• Objetivos
7	• Materiales y Métodos
13	• Resultados y Discusión
23	• Conclusión
24	• Bibliografía



Resumen

Stylosanthes guianensis es una leguminosa forrajera adaptada al subtrópico, que en estudios anteriores demostró el potencial de convertirse en una alternativa viable de introducirse a los agroecosistemas ganaderos del nordeste Argentino. Sin embargo, esta especie es afectada por el frío y la antracnosis, disminuyendo su supervivencia. El objetivo del presente trabajo fue continuar un proceso de mejoramiento genético, a partir de las progenies segregantes F₄ de *Stylosanthes guianensis*, buscando caracterizar y seleccionar genotipos que presenten el mejor desempeño. Para ello se partió de 12 líneas, cada una con 4 repeticiones, en un diseño en bloques completos al azar. Evaluándose un total de 48 parcelas a campo, donde se tomaron datos de germinación, vigor, producción de biomasa, floración, nodulación, tolerancia al frío, producción de semillas, NDVI (Índice de Vegetación de diferencia Normalizada) e índice NDRE (Diferencia Normalizada de Borde Rojo). Se observaron diferencias significativas entre las líneas en cuanto a germinación, floración, producción de semillas y NDRE. Siendo la línea 1-cook-3 la que se destacó en las primeras tres variables. Las líneas 1-8-3, 3-16-6 y 3-End-2 no manifestaron cambios significativos en sus valores de NDRE entre las lecturas de antes y después de la helada. En cuanto a las demás variables no hubo diferencias significativas entre las líneas. Además, se halló correlación entre la tolerancia al frío y el rebrote, y entre el índice de estimación visual de tolerancia al frío luego de la helada y los dos índices evaluados (i.e., NDVI, y NDRE). En conclusión, fue posible determinar diferencias significativas entre las líneas con respecto a las variables germinación, floración, NDRE y producción de semillas, siendo de particular interés esta última por ser una de las principales limitantes para la multiplicación de la especie.



Origen y fundamentos de la investigación

En el área ganadera del subtrópico argentino, la alimentación de los rodeos proviene principalmente de gramíneas megatérmicas nativas o cultivadas. Si bien las gramíneas megatérmicas producen adecuadas cantidades de forraje, su valor nutritivo en general es bajo durante gran parte de su ciclo (Marcón et al., 2018). La incorporación de leguminosas a la producción animal podría ser un factor decisivo para el uso más eficiente de los recursos naturales. Las mismas son capaces de vivir en simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico, transformando ese nitrógeno en proteína, lo cual le da la capacidad de producir en suelos muy pobres (Burkart et al., 1952). Además, la alta concentración de proteínas presente en el forraje de las leguminosas incide positivamente en la digestibilidad de dietas ricas en gramíneas de tipo C₄. Las leguminosas aportan nitrógeno al ecosistema, ya sea por la descomposición de sus tejidos o a través de las deyecciones de los animales que las consumen. Todo esto implica, un mayor contenido de nitrógeno en el ecosistema como resultado de la incorporación de las mismas al sistema productivo. Sin embargo, las leguminosas presentes en el mercado (alfalfa, trébol rojo, trébol blanco, lotus, entre otras) son en su mayoría, adaptadas a climas templados, o requieren concentraciones elevadas de P y Ca en el suelo. Por otro lado, las especies presentes en los pastizales del norte de nuestro país son poco vigorosas y sensibles a las bajas temperaturas, desapareciendo generalmente de los campos en pastoreo.

El género *Stylosanthes* comprende alrededor de 50 especies que crecen en forma natural en el trópico y subtrópico de todo el mundo, pero aproximadamente la mitad de ellas son originarias de Sudamérica. En Argentina se conocen varias especies y variedades como *S. scabra*, *S. guianensis*, *S. juncea*, *S. leiocarpa*, *S. macrosoma* y *S. montevidensis*, *S. viscosa* (Vanni, 2017). *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw. es una especie autógama con gran potencial como forrajera para el norte de Argentina, ya que estudios previos han mostrado que se adapta bien a diferentes tipos de suelos y ambientes, siendo poco exigente en requerimientos de P (Ciotti et al., 2003; Tomei et al., 2005). Además, la especie posee buen valor nutritivo comparado con otras especies tropicales (Ciotti et al., 2003b). Su sistema radical profundo y extenso, le permite



soportar sequías y anegamientos temporarios (Ciotti et al., 2006). En Corrientes se han evaluado algunos de los cultivares comerciales, observándose una buena producción media durante más de 4 años. Sin embargo, la producción disminuye en el período frío (Ciotti et al., 1999). Por otro lado, se ha observado que una defoliación a una altura de 20 cm es lo ideal para una mayor producción de forraje (Ciotti et al., 2010).



Antecedentes:

El programa de mejoramiento genético de especies forrajeras de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNNE inició un trabajo de mejora para *Stylosanthes guianensis*. Evaluaciones iniciales en la región permitieron identificar 4 cultivares adaptados a la región húmeda del NEA (Endeavour, Cook, CIAT 184 y Graham). En el año 2013 las Ing. Agr. Claudia Rodríguez, Elsa Ciotti y Andrea Brugnoli lograron realizar cruzamientos entre los cultivares mencionados previamente. Logrando obtener 20 híbridos F₁. Los mismos fueron cultivados y caracterizados por el Ing. Agr. Gastón Aquino como parte de su trabajo final de graduación (Aquino, 2016). Se cosechó semillas de estos híbridos y se cultivó la F₂ individualizando cada genotipo mediante el cultivo de plantas espaciadas. Se seleccionaron las mejores plantas considerando la tolerancia a antracnosis (causado por *Colletotrichum gloeosporioides*) y a la capacidad de sobrevivir y rebotar luego del invierno (Winter et al., 2018). La semilla de las mejores líneas F₂ fue cosechada, procesada y sembrada en surcos en la primavera 2018 como parte del plan de tesina del In. Agr. Fabio Podkowa. Los mejores surcos progenie fueron evaluados por crecimiento, tolerancia a antracnosis y producción de semillas (Podkowa, 2020). Luego se identificaron aquellas líneas que mejor se comportaron al inicio de la primavera 2019, y la semilla de esos surcos progenie F₃ fue procesada, y a partir de ella se realizó la siembra de la F₄.



Objetivos

Objetivo general

- Evaluar líneas genéticas de *Stylosanthes guianensis* y seleccionar aquellas mejor adaptadas a las condiciones del NEA.

Objetivos particulares

- Evaluar características agronómicas en la progenie segregante F₄ de *S. guianensis* en comparación a los cultivares comerciales que actuaron como progenitores originales.
- Seleccionar y cosechar semillas de las líneas que presenten mejor aptitud agronómica o combinación de las características deseables.



Materiales y métodos

Material vegetal

Para el presente ensayo se dispuso de semillas de 10 líneas genéticas F₃ y de 2 cultivares comerciales de *Stylosanthes guianensis* (Tabla 1). Esta F₃ resultó originalmente a partir del cruzamiento entre los cultivares Endeavour, Cook, CIAT 184 y Graham. Los 25 surcos progenie F₃ provienen de 25 plantas F₂ que fueron seleccionadas de un grupo de 300 plantas (Winter et al., 2018).

Tabla 1: Genotipos de Stylosanthes guianensis utilizados en el presente ensayo y los cruzamientos que le dieron origen.

Líneas en evaluación	Cruzamiento original
1-8-8	CQ X ENDEVOUR
3-END-2	ENDEVOUR
1-END-1	ENDEVOUR
1-COOK-3	COOK
3-16-6	CIAT 184 X GRAHAM
1-8-3	CQ X ENDEVOUR
3-COOK-2	COOK
3-12-6	CQ X COOK
3-END-1	ENDEVOUR
3-GRA-2	GRAHAM
GRAHAM	CULT. COMERCIAL
ENDEVOUR	CULT. COMERCIAL

Sitio Experimental

El ensayo fue llevado a cabo en el Campo Didáctico y Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional del Nordeste, localizado sobre Ruta Nacional 12 en la provincia de Corrientes (Latitud 27°28'34"S ; Longitud 58°47'2"O) (Figura 1). El tipo de suelo corresponde a un Udipsamamment árgico de la serie Ensenada Grande (INTA, 1994).

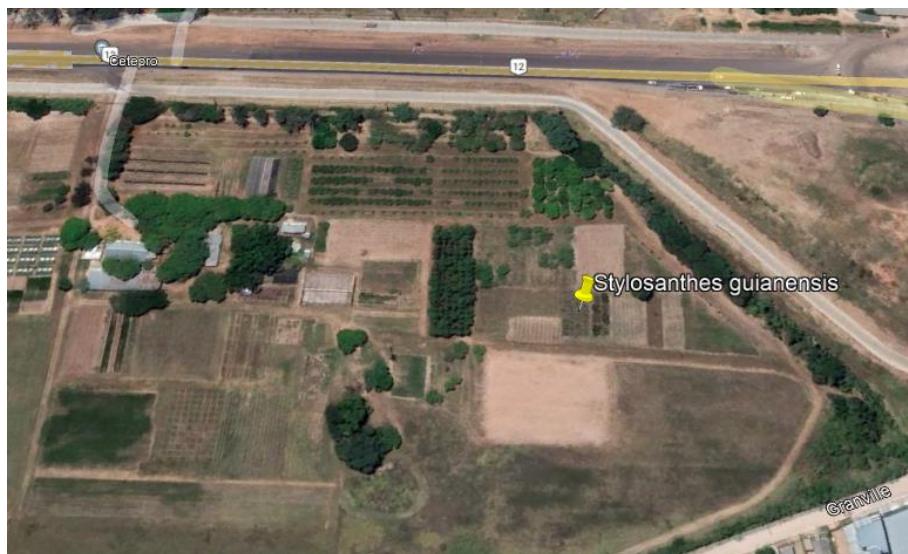


Figura 1: Campo Didáctico y Experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Nordeste, y la indicación pertinente correspondiente a la ubicación del sitio experimental.

La siembra fue realizada siguiendo un diseño en bloques completos al azar con 4 repeticiones, donde las unidades experimentales fueron líneas de un metro de longitud (Figura 2).



Figura 2: Líneas de *Stylosanthes guianensis*.

Manejo y Evaluaciones

En primer lugar, previo a la siembra, se realizó una escarificación de las semillas con agua caliente a 80°C por 10 minutos (Figura 3). Una vez que el cultivo ya estuvo establecido se realizó el recuento de plantas en dos porciones de 20 cm, tomadas al azar dentro de cada unidad experimental para determinar así la capacidad de germinación y emergencia de las líneas. Posteriormente, durante el crecimiento y desarrollo temprano del cultivo, se realizaron estimaciones visuales de las variables densidad inicial y vigor, haciendo uso para ello, de una escala del 1 al 5. El procedimiento consistió en identificar las plantas



Figura 3: Escarificación con agua caliente realizada a las semillas de *Stylosanthes guianensis* previo a la siembra.

correspondientes a cada valor de la escala, ubicando en primer lugar a las unidades experimentales que representaban los extremos (1 y 5), donde el máximo valor correspondía a la mayor densidad y el máximo vigor respectivamente. Dicha metodología fue aplicada en todas las determinaciones en las que se utilizaron escalas de apreciación visual.

Pasados cinco meses de la siembra, se cuantificaron los nódulos presentes en las raíces en dos secciones de la misma, de 0 a 10 cm y de 10 a 30 cm, con el objetivo de identificar diferencias en la capacidad de *nodulación* de las líneas (Figura 4). Con la finalidad de evaluar la *Producción de materia seca* se realizaron cortes del material vegetal en el líneo, para posteriormente llevarlos a estufa hasta obtener un peso constante, y conocer la biomasa producida por cada genotipo. Esta determinación fue realizada en dos ocasiones, durante el mes de abril del 2020 y en el mes de febrero del 2021.



Figura 4: Raíces de *Stylosanthes guianensis* en las que se evaluó la presencia de nódulos.



Con la llegada de las bajas temperaturas se determinó la *Tolerancia al frío*, evaluando visualmente el efecto que tuvieron las heladas sobre las plantas utilizando para ello una escala del 1 al 5, donde 5 representa una mayor tolerancia ante el descenso térmico (Figura 5). Unos meses más tarde, se determinó la *Capacidad de rebrote*, observando como luego del periodo invernal las plantas rebrotaban, empleando para ello también una escala del 1 al 5.



Figura 5: Variación de la tolerancia al frío observada en líneas de *Stylosanthes guianensis* luego de una helada.

Por otra parte, también se estudiaron variables durante el periodo reproductivo, la primera de ellas fue la *floración*, con respecto a la cual se determinó el estado de la misma en cada unidad muestral utilizando una escala de apreciación visual del 1 al 5. Dicha determinación fue llevada a cabo tanto al inicio de la floración como así también luego de pasadas tres semanas de la primera.

La segunda variable de este grupo fue la *Producción de semillas*, para lo cual a la madurez se cosechó cada unidad experimental. Al realizar este procedimiento, no solo se cosechan las semillas sino también gran cantidad de material vegetal, por lo cual este debió ser trillado manualmente, pasado por una serie de tamices y luego soplado en una sopladora de aire, para finalmente así obtener la productividad final de cada línea (Figura 6).



Figura 6: Semilla de *Stylosanthes guianensis* siendo separada de polvo e impurezas con una sopladora de aire.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), es un indicador del verdor y salud de la vegetación, este se basa en como la planta refleja la energía y la luz, y se define como la diferencia en las intensidades de la luz reflejada en el rango rojo e infrarrojo dividido por la suma de estas intensidades, $NDVI = \text{NIR-RED} / \text{NIR+RED}$. La clorofila absorbe una gran cantidad de luz visible y la estructura celular de las hojas refleja intensamente la luz infrarroja cercana. Cuando una planta se deshidrata, enferma, o está dañada, el mesófilo esponjoso se deteriora y la planta absorbe más luz infrarroja cercana, en lugar de reflejarla. De esta manera, la observación de cómo cambia la NIR en comparación con la luz roja proporciona una indicación precisa de la presencia de clorofila, que está vinculada con la salud de las plantas (Earth Observing System, s.f.) (Auravant, s.f.).

El índice de Diferencia Normalizada de Borde Rojo (NDRE) se diferencia del NDVI en que utiliza luz de borde rojo que puede atravesar las hojas mucho más profundamente que la luz roja (usada en el NDVI). Así, donde hay un canopeo más intenso, o vegetación en estados más avanzados, es recomendable utilizar el NDRE porque el NDVI se satura, expresando mejor la variabilidad, por ser sensible a un rango más amplio de concentración de clorofila del cultivo, concentración de nitrógeno, índice de área foliar y biomasa (Auravant, s.f.) (GeoAgro, s.f.).

Es por esto que en última instancia, con el objetivo de probar el uso de dichos índices de vegetación en la determinación del estado de las plantas tanto antes como después a la ocurrencia de una helada, para en un futuro facilitar la evaluación de las plantas en superficies mayores, así como también compararlos con los índices de estimación visual, se realizó un vuelo con un vehículo aéreo no tripulado (VANT) (modelo Bluegrass de la marca Parrot) sobre el ensayo, con el fin de obtener imágenes del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) e Índice de Diferencia Normalizada de Borde Rojo (NDRE), mediante una cámara multiespectral (Sequoia) de 4 bandas montada al mismo. Durante la misión de vuelo se utilizó el software Pix4D capture y para el armado del ortomosaico se empleó Pix4D mapper. Posteriormente los índices obtenidos fueron procesados mediante el software QGIS (Figura 7).

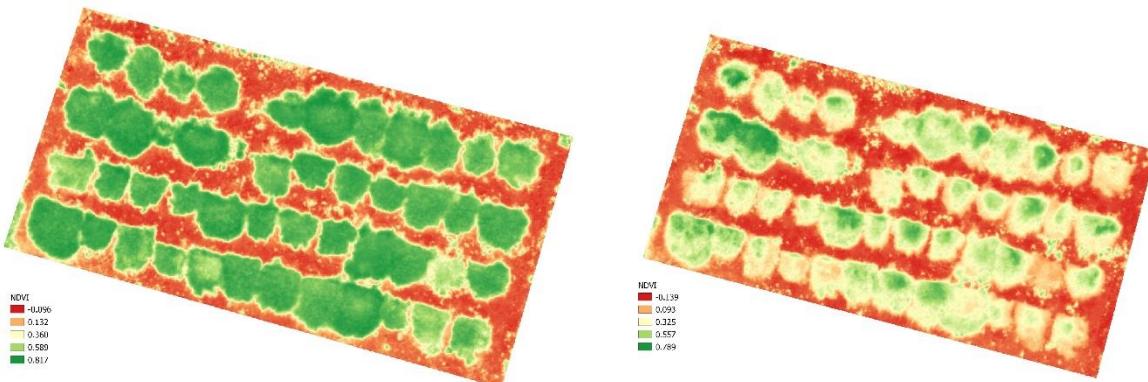


Figura 7: Índice de NDVI en líneas de *Stylosanthes guianensis*, antes (izquierda) y después (derecha) de una helada.

Los datos generados, fueron analizados mediante análisis de la varianza con test de Tukey y Test de correlación de Pearson, usando para ello el software INFOSTAT versión estudiantil 2020 y Microsoft Office Excel 2013.

Resultados y discusión

Caracterización de variables fisiológicas durante el periodo vegetativo

La primera variable analizada fue la que se denominó como *germinación-emergencia*, en la cual se contabilizaron las plantas emergidas en 20 cm lineales de surco. Mediante un análisis de la varianza se pudieron hallar diferencias significativas entre las líneas en evaluación (Figura 8), siendo 1-cook-3 la que presentó un mayor número de plántulas al momento del recuento ($\bar{X} = 17,3$ plantas), lo cual podría indicar un mejor establecimiento de dicha línea, asemejándose al cultivar Graham ($\bar{X} = 12,3$ plantas) y superando a Endevour, los cuales son cultivares comerciales y fueron utilizados como controles. Con respecto al cultivar Endevour la diferencia en el número de plantas emergidas fue muy significativa ($\bar{X} = 5,7$ plantas).

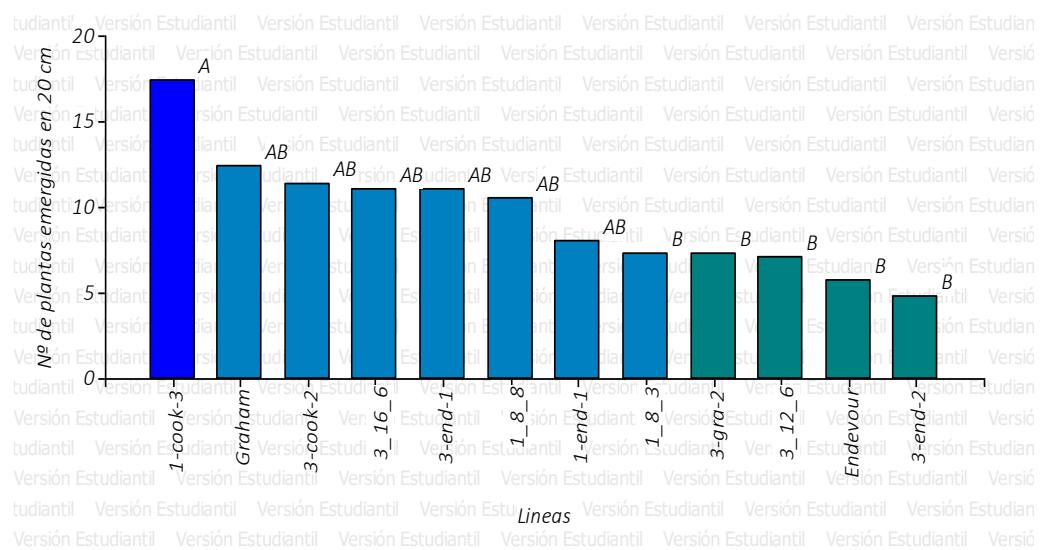


Figura 8: Número de plantas germinadas en 20 cm en líneas de *Stylosanthes guianensis*. Letras distintas muestran diferencias significativas entre las familias ($p < 0,05$, Test de Tukey)

En segundo lugar, con el objetivo de detectar variaciones en las líneas durante el crecimiento y desarrollo temprano del cultivo, se realizaron estimaciones visuales de las variables *densidad inicial* y *vigor*, frente a las cuales el test de ANOVA no arrojó diferencias significativas entre las mismas para los parámetros en estudio, lo que probablemente resulte del proceso de selección en F_2 y F_3 .

Por otro lado, el análisis de varianza en cuanto a la variable *nodulación*, no mostró diferencias significativas entre líneas, ya sea para los nódulos evaluados de 0 a 10 cm, de 10 a 30 cm, así como tampoco en la media global

($\bar{X} = 110$ nódulos por planta). Cabe destacar que todas las líneas presentaron nódulos activos y eficientes (coloración rosada - rojiza en su interior) (Figura 9).

La presencia de estos indica la capacidad de las líneas de asociarse con cepas nativas de rizobios y poder producir altas cantidades de forraje en un ambiente muy pobre en materia orgánica y nitrógeno.

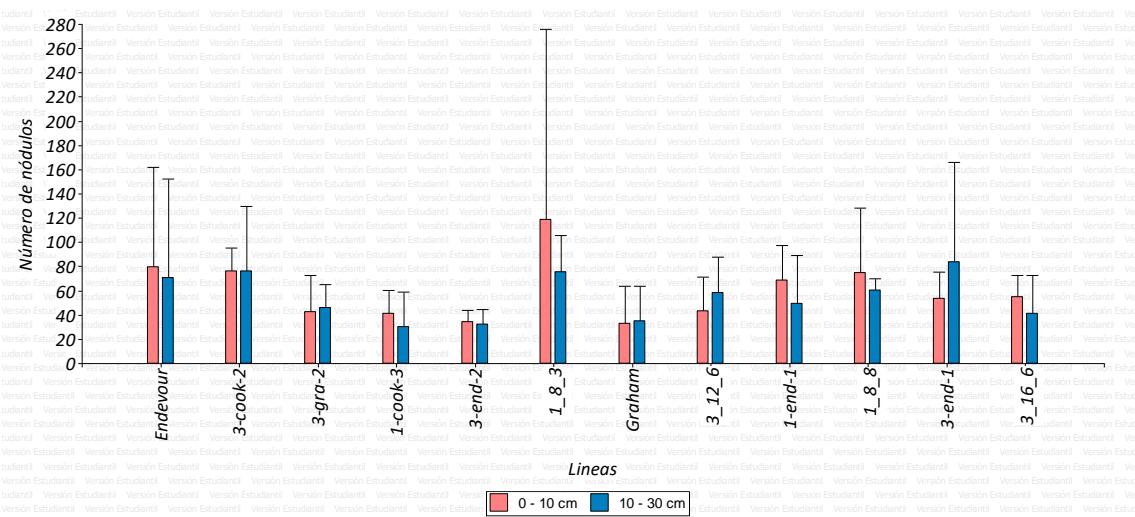


Figura 9: Número de nódulos contabilizados en las raíces de *Stylosanthes guianensis* de 0 a 10 cm y de 10 a 30 cm.

La producción de estas especie es de crecimiento estival, alcanzado la máxima productividad en el mes de marzo, y siendo esta elevada hasta el mes de mayo, donde se ve disminuida por las bajas temperaturas (Ciotti et al., 2010). Al analizarse la producción de biomasa, mediante análisis de la varianza no se hallaron diferencias significativas entre las líneas estudiadas en ninguno de los dos momentos de corte, así como tampoco al analizar la materia seca acumulada de ambos cortes, pero si se hallaron variaciones significativas en algunas de las

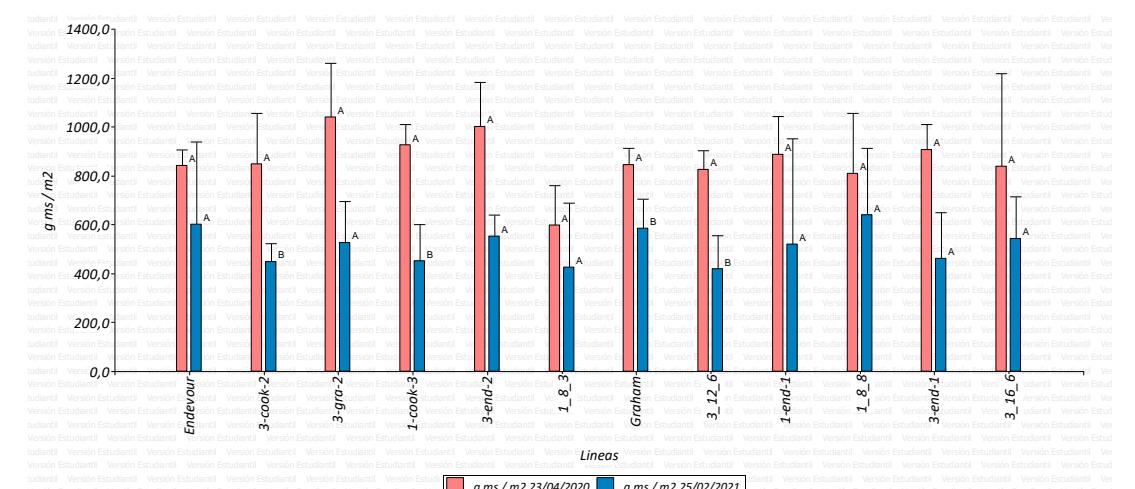


Figura 10: Producción de biomasa ($g\text{ ms/m}^2$) en líneas de *Stylosanthes guianensis* para dos fechas de evaluación (23/04/2020 y 25/02/2021). Letras distintas muestran diferencias significativas entre las familias ($p < 0,05$, Test de Tukey)

líneas en la producción de biomasa si se comparan las mediciones de ambas fechas (Figura 10), lo cual puede indicar que aquellas líneas con diferencias significativas entre ambos cortes, se ven más afectadas por el mismo, y su capacidad de rebotar es menor, ya que es una especie muy sensible al manejo en lo que se refiere a la altura de corte, consecuencia del hábito de crecimiento (Ciotti et al., 2010). Además cabe destacar que producciones promedio de entre 8600 kg/ha (04/2020) y 5260 kg/ha (02/2021) de biomasa podrían ser obtenidas de las líneas estudiadas, lo cual resulta de gran interés para la producción forrajera de nuestra región.

En lo que refiere a la variable denominada *tolerancia al frío*, al realizarle un test de ANOVA, se pudo observar que no hubo diferencias significativas entre líneas, lo cual es un indicador de la fuerte selección que hubo inicialmente por este carácter en el proceso de mejoramiento, y también es de destacar que todas las líneas sobrevivieron al periodo de bajas temperaturas. La misma situación se repite con respecto al *rebrote* observado luego de la ocurrencia de bajas temperaturas, donde no se observaron diferencias significativas entre las líneas, incluso al compararlas con los controles (Figura 11).

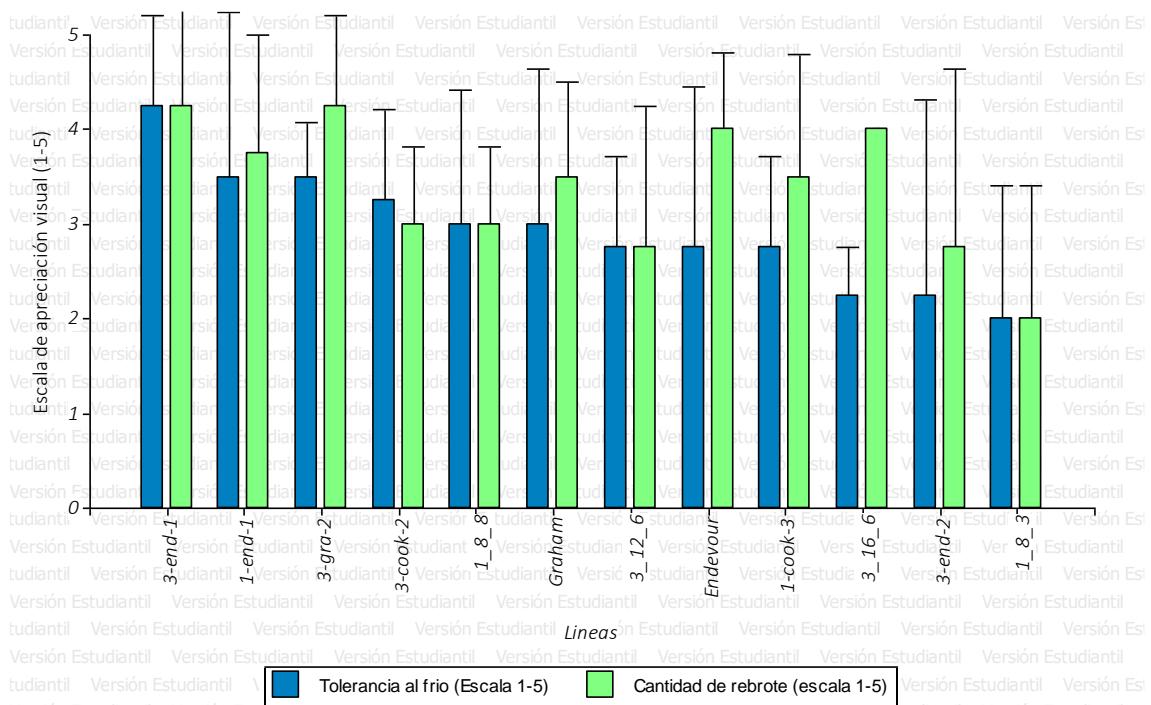


Figura 11: Comportamiento de diferentes líneas de *Stylosanthes guianensis* frente a las variables Tolerancia al Frío (Escala de apreciación visual de 1 a 5) y Cantidad de rebrote (Escala de apreciación visual de 1 a 5).

Caracterización durante el periodo reproductivo

La primer variable descripta de este grupo corresponde a la *Floración*, la cual en el Norte de Corrientes tiene lugar entre los meses de marzo y mayo, seguida de la fructificación que ocurre entre junio y agosto, dependiendo de las especies y cultivares (Ciotti et al., 2000). El test de ANOVA arrojó diferencias significativas entre las líneas en estudio en las dos fechas en las que se realizó la determinación, siendo las líneas que presentaron índices de floración avanzada en fechas más tempranas los genotipos 1-cook-3 y Graham (control). El comportamiento observado en el cultivar Graham se condice con lo que Ciotti et al. (1999) mencionan acerca de su floración, la cual tenía lugar hasta un mes antes que otras líneas. Es importante mencionar que estas dos se destacaron frente al otro cultivar comercial, Endeavour, que demostró una floración más retrasada. Por otro lado el genotipo que manifestó índices de floración más bajos y por lo tanto más tardíos, aunque incrementándose de una fecha a la otra, fue el genotipo 1-8-8 (Figura 12).

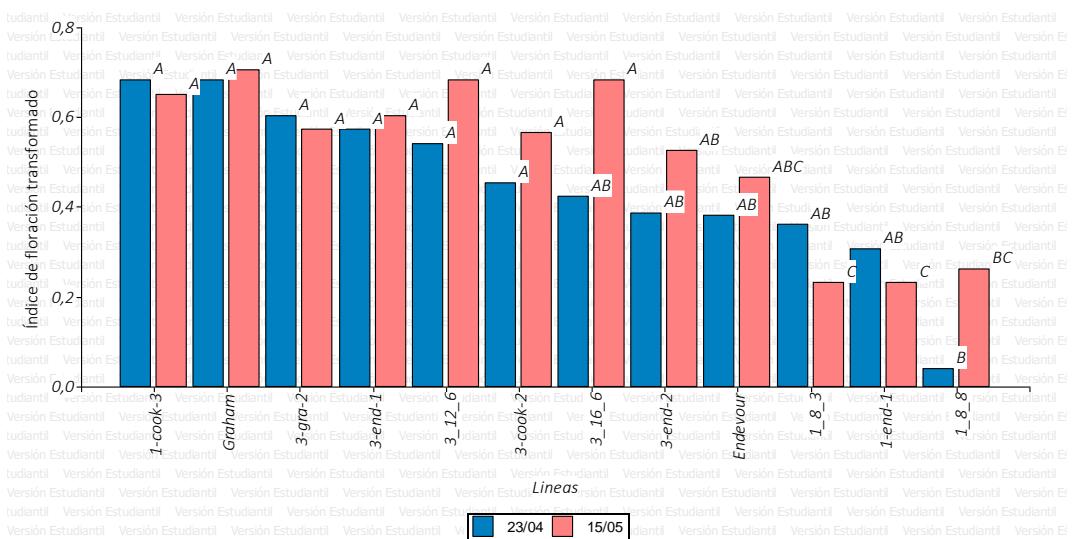


Figura 12: Índices de floración observados el 23/04/2020 y el 15/05/2020 en las diferentes líneas en evaluación de *Stylosanthes guianensis*. Letras distintas muestran diferencias significativas entre las familias ($p<0,05$, Test de Tukey).

En cuanto a la variable *producción de semillas*, el análisis de varianza determinó la existencia de diferencias significativas entre las líneas en estudio. El genotipo 1-cook-3 fue el destacado, con una producción promedio de 83,2 gramos por unidad experimental, sin diferencias notorias frente a los cultivares Endeavour ($\bar{X}= 42,7$ g) y Graham ($\bar{X}= 73,6$ g), siendo este último el segundo en orden de mérito. Por el otro lado, la línea que manifestó una menor productividad

fue 1-End-1 con una media de 13,5 g. Cabe destacar que, en general, la productividad fue alta en todos los genotipos (Figura 13).

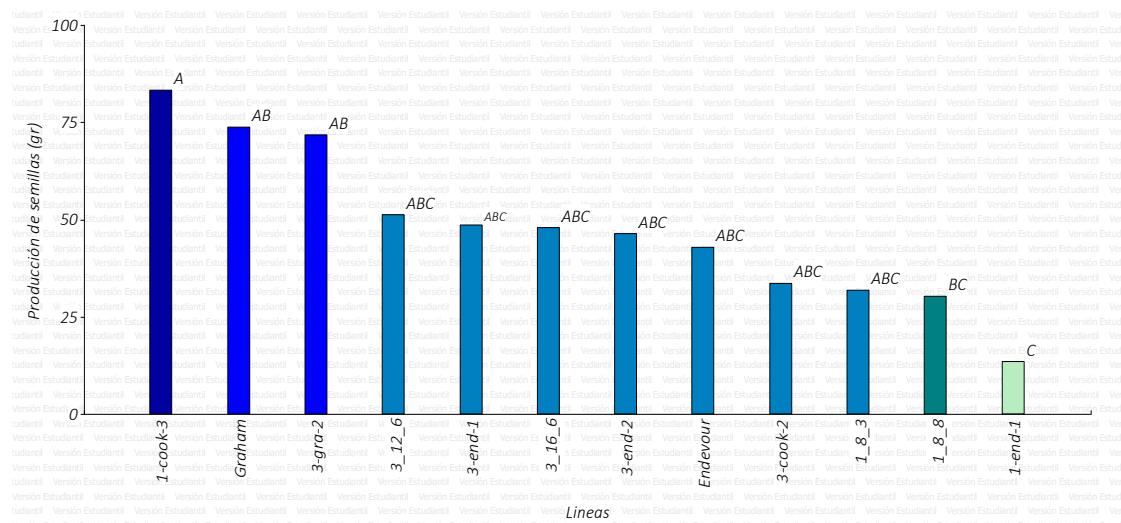


Figura 13: Producción de semillas (gramos) de las líneas de *Stylosanthes guianensis* en estudio. Letras distintas muestran diferencias significativas entre las familias ($p<0,05$, Test de Tukey).

Índices de vegetación

Dos índices de la vegetación fueron obtenidos a partir de un vuelo realizado con Drone sobre el ensayo en cuestión. En primer lugar, en cuanto al Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), al realizar un análisis de la varianza para cada línea con respecto a los valores de antes y después de la helada, se observaron diferencias notorias en todas las líneas (Figura 14). En

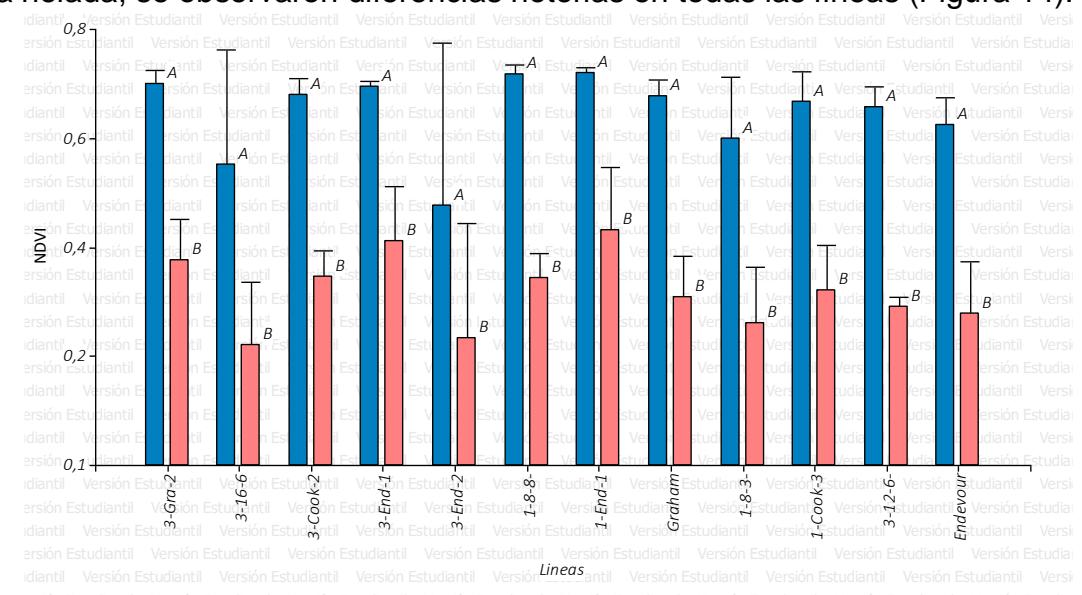


Figura 14: Diferencias en las lecturas del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) antes (Barras en color azul) y después (Barras en color rosa) de una helada en líneas de *Stylosanthes guianensis*. Letras distintas muestran diferencias significativas entre las familias ($p<0,05$, Test de Tukey).

contraparte, al comparar las lecturas obtenidas antes de la helada no arrojaron diferencias significativas entre las líneas, así como tampoco lo hicieron las lecturas obtenidas luego de la helada.

En segundo lugar, el test de ANOVA realizado sobre las lecturas del índice de Diferencia Normalizada de Borde Rojo (NDRE), demostró la existencia de diferencias significativas entre las líneas en los datos obtenidos antes de la ocurrencia de la helada, destacándose la línea 1-End-1 con los valores de NDRE más altos, contrariamente la línea 3-End-2 fue la que manifestó lecturas con valores más bajos (Figura 15). En cambio los valores de NDRE tomados luego de la helada no mostraron diferencias significativas.

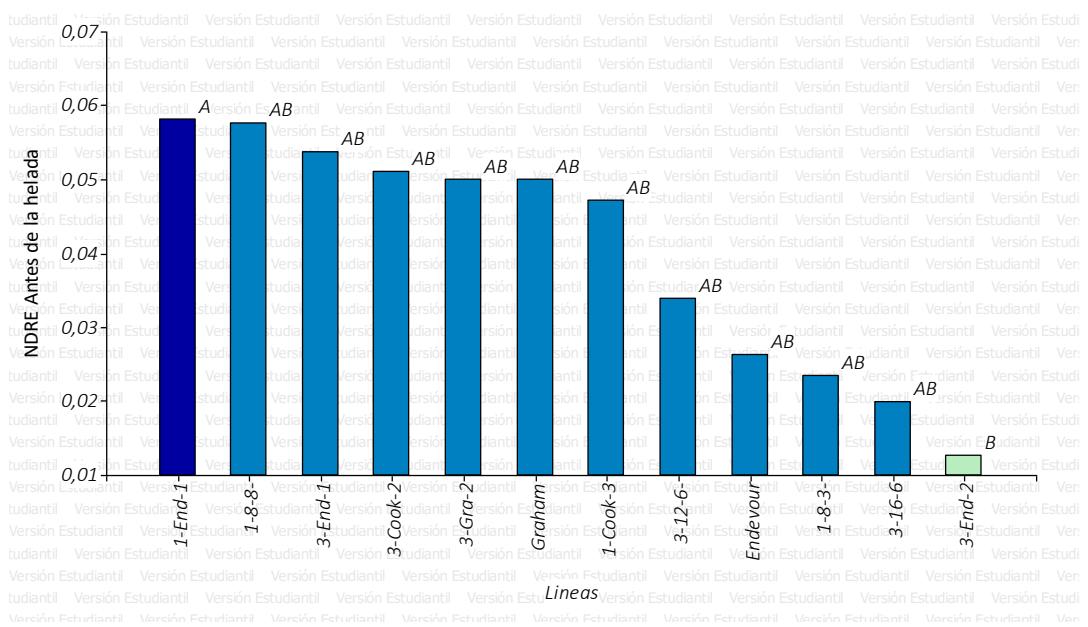


Figura 15: Valores correspondientes al índice de Diferencia Normalizada de Borde Rojo (NDRE) antes de una helada, observados en líneas de *Stylosanthes guianensis*. Letras distintas muestran diferencias significativas entre las familias ($p<0,05$, Test de Tukey).

Sin embargo, al igual que con el NDVI, al realizar el test de ANOVA para cada línea con respecto a los valores de antes y después de la helada, si se hallaron diferencias significativas en la mayoría de las líneas (Figura 16), siendo aquellas que no manifestaron variaciones notorias en la vegetación las líneas Endeavour (control), 1-8-3, 3-16-6 y 3-End-2, lo que puede ser indicador de la capacidad de la línea para soportar las bajas temperaturas.

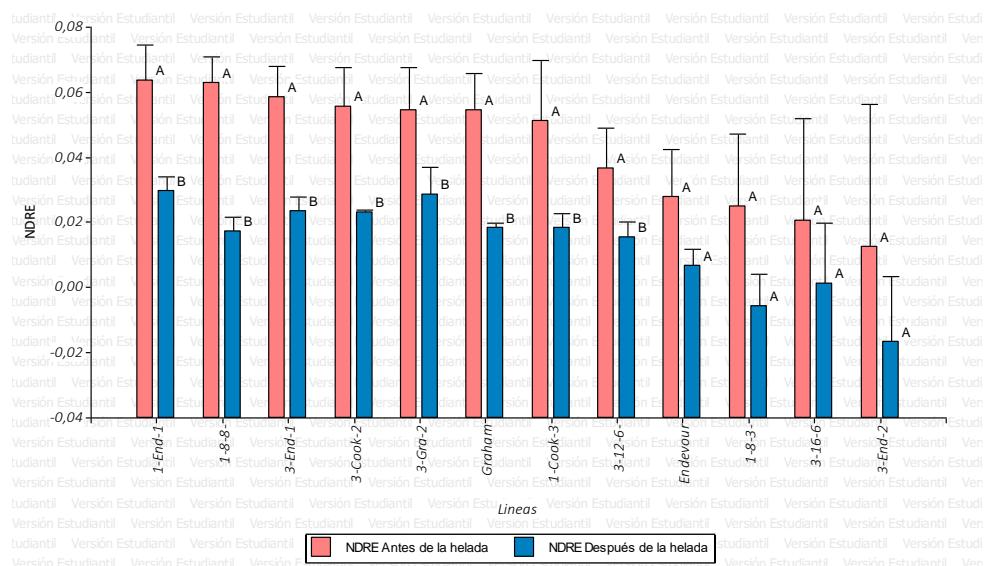


Figura 16: Diferencias en las lecturas del índice de Diferencia Normalizada de Borde Rojo (NDRE) antes y después de una helada en líneas de *Stylosanthes guianensis*. Letras distintas muestran diferencias significativas entre las familias ($p<0,05$, Test de Tukey).

Por otra parte, mediante test de correlación de Pearson, se buscó demostrar la existencia de correlaciones entre algunas de las variables en estudio. La utilidad de las mismas radica en que si dos variable se correlacionan, y una de ellas es más sencilla de medir que la otra, o se obtienen datos en un menor tiempo, se pueden tomar únicamente los datos de esa variable y de esta manera acelerar y facilitar el proceso de selección.

En primer lugar se analizó la correlación entre el segundo índice de floración medido y la producción de semillas ($r= 0,55$) (Figura 17). Se obtuvo una correlación positiva entre ambas variables, siendo esta significativa ($p=3,1E-04$), lo que permite relacionar que ante buenos niveles de floración observados a

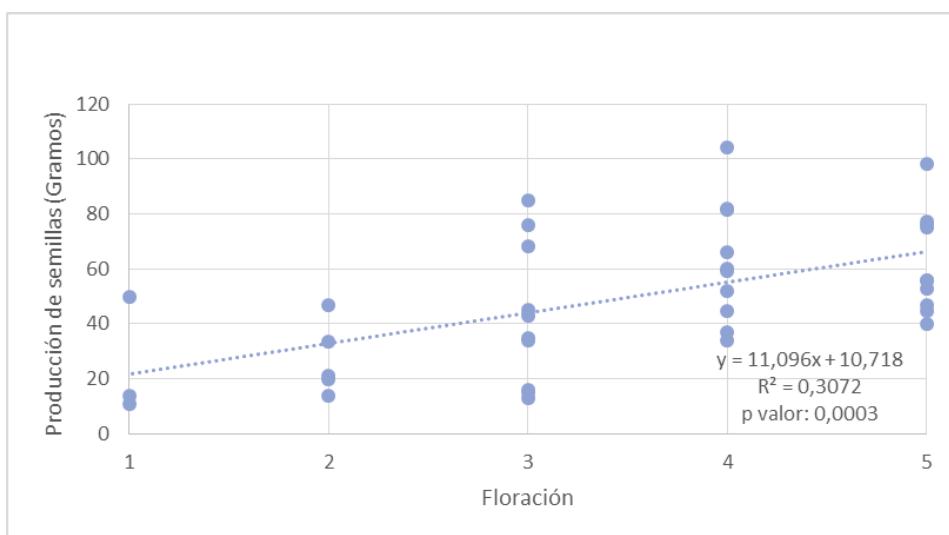


Figura 17: Correlación hallada entre la Floración y la Producción de Semillas en líneas de *Stylosanthes guianensis*.

campo (floración temprana y concentrada), también la producción de semillas lo será, ya que si se produce un retraso en la misma, el efecto que tienen las bajas temperaturas sobre el cultivo puede interrumpir dicho fenómeno fisiológico, impidiendo así que la planta cumpla con todas las etapas del ciclo reproductivo. Por otra parte cabe mencionar que aunque el ajuste del modelo fue bajo ($R^2=0,3072$) y por lo tanto su utilidad de predicción es escasa, el mismo es significativo ($p=0,0003$).

Además se analizó si había correlación entre las variables tolerancia al frío y cantidad de rebrote (Figura 18), como resultado se halló una correlación positiva débil ($r=0,33$), aunque con un buen nivel de significancia ($p=0,02$), esto podría ser consecuencia de que aquellas líneas con mayor tolerancia al frío, se mantuvieron más verdes y, por ende probablemente, con mayor área fotosintéticamente activa, lo que permitió una mayor acumulación de reservas para rebrotar de manera más abundante en la primavera.

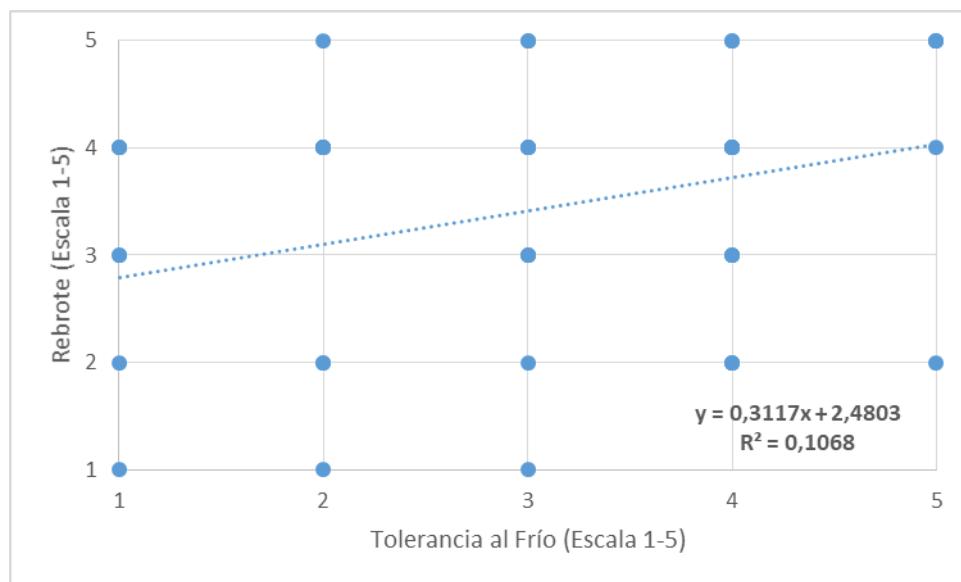


Figura 18: Correlación hallada entre la Tolerancia al Frío luego de un helada y el posterior Rebrote en líneas de *Stylosanthes guianensis*

De modo similar, se buscó determinar si las observaciones realizadas a campo de la variable tolerancia al frío luego de una helada y los índices de estimación visual que se obtuvieron en consecuencia, se correlacionaban con las lecturas obtenidas mediante el vuelo con Drone de los índices NDVI y NDRE, ambos también tomados luego de la ocurrencia de bajas temperaturas. La correlación fue positiva en ambos casos $r= 0,79$ y $r= 0,52$ respectivamente.

Además ambas tuvieron un buen nivel de significancia, siendo $p=2,8E-11$ para el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada y $p= 1,6E-04$ para el índice de Diferencia Normalizada de Borde Rojo (Figura 19). Al observar el R^2 de ambas relaciones, podemos ver que el ajuste del modelo cuando se tiene en cuenta el NDVI ($R^2= 0,62$) es mayor versus cuando se considera el NDRE ($R^2= 0,27$).

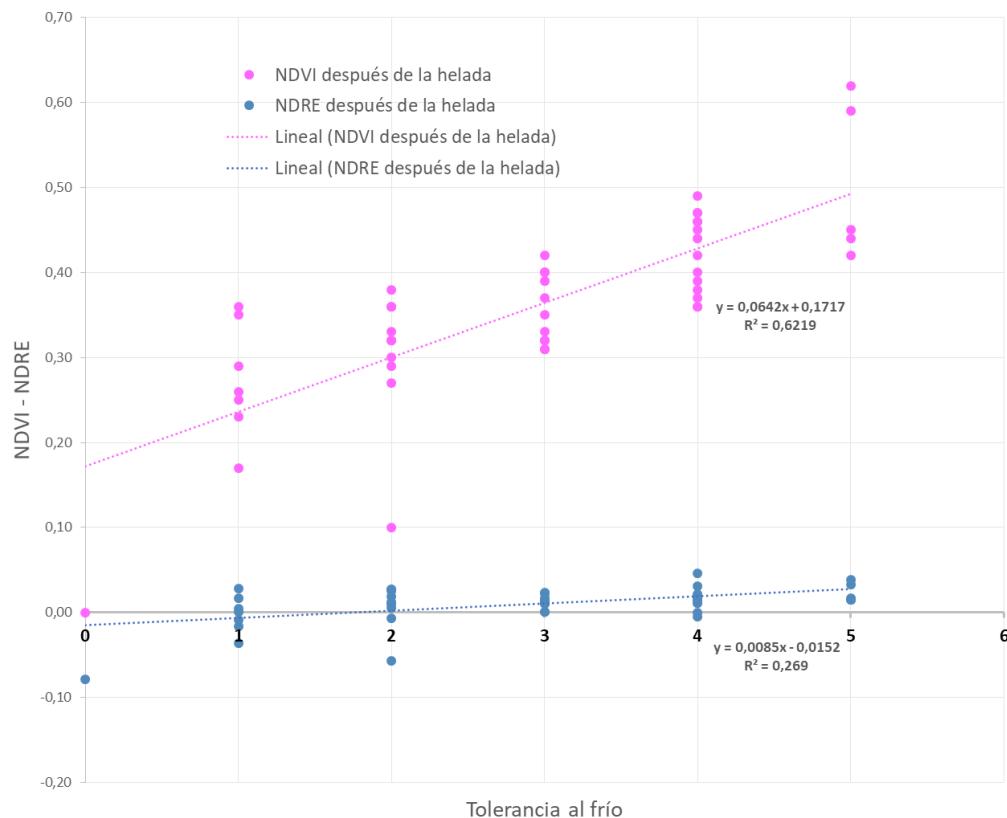


Figura 19: Correlaciones, líneas de tendencia y R^2 halladas entre la Tolerancia al frío (determinada mediante observación visual con escala de 1-5) y el índice de Diferencia Normalizada de Borde Rojo (NDRE) y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), parámetros tomados después de una helada.

Para finalizar, se puede decir que, como resultado de todos los análisis y técnicas empleadas, las líneas que sobresalieron fueron 1-cook-3, 3-cook-2, 3-end-1, 3-gra-2 y 3-12-6, por presentar un comportamiento destacado ya sea en una o más de una de las variables: germinación-emergencia, floración temprana, y producción de semillas, que fueron aquellas variables en las que se pudieron detectar diferencias significativas entre las líneas. Por lo tanto, otras evaluaciones podrían ser llevadas a cabo sobre las progenies de las mismas con el objetivo de continuar este proceso de selección, como probar el desempeño de las mismas en otros ambientes, evaluar su capacidad de adaptarse a diferentes frecuencias e intensidades de pastoreo, y la tolerancia a la antracnosis, ya que en este caso no pudo ser evaluada. Por otra parte, las líneas



1-8-3, 3-16-6 y 3-End-2 que se destacaron por no manifestar cambios significativos en sus valores de NDRE entre las lecturas de antes y después de la helada, requerirían un estudio más detallado del uso de dicho índice para *Stylosanthes guianensis* para así poder explicar cuál podría ser la razón de esta característica deseable, y que otras variables podrían estar relacionadas.



Conclusión

Se pudieron determinar diferencias de interés en las variables agronómicas germinación, floración, producción de semillas y NDRE, lo cual determina que aún existe variación entre las líneas en estudio, y sirve de indicador para continuar el proceso de selección enfocado en esas características, siendo las líneas destacadas 1-cook-3, 3-cook-2, 3-end-1, 3-gra-2 y 3-12-6. Particularmente, se considera de gran interés la producción de semillas por su importancia en la futura comercialización del material, y el impacto que la misma puede tener en los costos de la misma y por consiguiente en la adopción por parte de los productores. Además las líneas que se destacaron en cuanto a esta variable, fueron aquellas que presentaron una floración avanzada más temprana, ya que este proceso fisiológico tuvo lugar entre los meses de abril y mayo cuando ya las temperaturas comienzan a descender, impidiendo que las líneas con floración más tardía desarrolle una adecuada cantidad de flores, proceso que es clave para asegurar la descendencia. También es importante destacar el uso de los índices de vegetación como una herramienta más a tener en cuenta a la hora del proceso de selección, ya que nos brinda información de valor, particularmente para la evaluación más eficiente de progenies numerosas. Siendo fundamental, realizar nuevas evaluaciones que permitan calibrar el uso de los mismos, y determinar cuál se adecúa mejor para esta especie en los diferentes momentos de su ciclo fenológico, así como también profundizar en el hecho de que las líneas 1-8-3, 3-16-6 y 3-End-2 no hayan manifestado cambios significativos en sus valores de NDRE con la ocurrencia de una helada.



Bibliografía

Aquino, S. G. (2016). Producción de semillas en cultivares e híbridos F₁ de *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Sw. Trabajo Final de Graduación: Modalidad pasantía. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste.

Auravant (s.f.) Agricultura de precisión - Índices de vegetación y su interpretación
<https://www.auravant.com/blog/agricultura-de-precision/indices-de-vegetacion-y-como-interpretarlos/>

Burkart, A. (1952). Las Leguminosas Argentinas, silvestres y cultivadas. (Edición 2). Buenos Aires, Argentina: Editorial ACME.

Calvi, M. (2019). Estadísticas ganaderas en Corrientes. Hoja informativa INTA (volumen 105). Recuperado de:
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_estadisticas_ganaderas_en_corrientes_hoja_informativa105_0.pdf

Ciotti, E. M., Tepper, N., Porta, M., Castelan, M., Hack, C. (2010). Efecto de la altura de defoliación sobre el rendimiento estacional de *Stylosanthes guianensis* cv. Graham. Agrotecnia Nº20.

Ciotti, E. M., Castelán, M. E., Berg, C. H. (2006). Efecto del encharcamiento temporal sobre el rendimiento y la nodulación de *Stylosanthes guianensis* y *Arachis pintoi*. Pasturas Tropicales Vol. 28 (1): 52– 56

Ciotti, E.M., M.E. Castelán, C.E. Tomei, I.P. Mónaco and J.F. Benítez. (2003a). Respuesta de *Stylosanthes guianensis* CIAT 184 a la fertilización con una baja dosis de fósforo. RIA 32: 137-148

Ciotti, E.M., M.E. Castelán, A. Persoglia and C.E. Tomei. (2003b). Valor nutritivo de *Stylosanthes spp.* en dos etapas fenológicas. Reuniones Científicas y Tecnológicas, Universidad Nacional del Nordeste.

Ciotti, E., Castelán, M., Tomei, C., Soneira, D. (2000). Momento de cosecha de semillas de *Stylosanthes guianensis* CIAT 184. Agrotecnia Nº 6.

Ciotti, E.M., C.E. Tomei and M.E. Castelán. (1999). The adaptation and production of some *Stylosanthes* species in Corrientes, Argentina. Tropical Grasslands (33) 165-169.



Ciotti, E., Castelán, M., Tomei, C. (1998). Perspectivas de la producción de semillas de *Stylosanthes guianensis* en Corrientes. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Tomo III. 5-33 pp.

Earth Observing System (s.f.). Industrias – Agricultura – NDRE
<https://eos.com/es/industries/agriculture/ndre/>

Earth Observing System (s.f.). Hacer un análisis– NDVI
<https://eos.com/es/make-an-analysis/ndvi/>

GeoAgro (s.f.). Monitoreo Satelital – Índices de Monitoreo – NDRE
<https://support.geoagro.com/es/kb/que-es-un-ndre/>

Marcón, F., M.H. Urbani, C.L. Quarín, and C.A. Acuña. 2018. Agronomic characterization of *Paspalum atratum Swallen* and *P. lenticulare Kunth*. Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales, 6:70-81.

Pizzio, R., Bendersky D., Barbera P., Maidana E. (2021). Caracterización y manejo de los pastizales correntinos. Mercedes, Argentina: Ediciones INTA.

Podkowa, F. M. (2020). Evaluación y selección de líneas genéticas F_3 de *Stylosanthes guianensis* (Fabaceae) por comportamiento agronómico. Trabajo Final de Graduación: Modalidad tesina. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste.

Tomei, C.E.; M.N. Brito, C.M. Hack, M.E. Castelán and E.M. Ciotti. 2005. Efecto del agregado de fósforo sobre el rendimiento de *Stylosanthes guianensis* cv CIAT 184. RIA. 34: 19-27.

Vanni, R. (2017). The genus *Stylosanthes* (Fabaceae, Papilioideae, Dalbergieae) in South America. Boletín Sociedad Argentina de Botánica, volumen (52) (3): 549-585.

Winter, J.D., E.A. Brugnoli, y C.A. Acuña. (2018). Selección de genotipos por comportamiento forrajero a partir de una progenie F_2 de *Stylosanthes guianensis* (Fabaceae). XXIV Reuniones de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad Nacional del Nordeste.