

TESIS DE GRADO
INGENIERÍA EN
RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

2021

EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DIFERENCIAL DE SEIS GENOTIPOS DE LEPTOCHLOA CRINITA AL ESTRÉS HÍDRICO



Tesista:

Juana Panasiti Ros

Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad Nacional de Cuyo

Almirante Brown 500. Chacras de
Coria - Luján de Cuyo. Mendoza -
Argentina.

EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DIFERENCIAL DE SEIS GENOTIPOS DE *LEPTOCHLOA CRINITA* AL ESTRÉS HÍDRICO

Tesista

Juana Panasiti Ros

jpanasitiros@gmail.com

Director

Ing. Agr. Deolindo Dominguez

ddominguez@mendoza-conicet.gob.ar

Codirector

Dr. Pablo Cavagnaro

cavagnaro.pablo@inta.gob.ar

Comité evaluador

Dr. Federico Berli

fberli@fca.uncu.edu.ar

Verónica Noé Ibañez

veronicanoeibanez@gmail.com

Dra. María Emilia Fernández

mefernandez@mendoza-conicet.gob.ar



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE
**CIENCIAS
AGRARIAS**

RESUMEN

La degradación de las tierras de zonas áridas y semiáridas es un proceso que ocurre mundialmente y que va en aumento. Ha sido atribuido a eventos climáticos como a actividades antrópicas. Ya que la provincia de Mendoza se encuentra en una zona árida, se plantea llevar a cabo actividades de restauración en áreas degradadas. Para ello, es necesario conocer los atributos de las gramíneas nativas ya que son componentes importantes del estrato herbáceo. *Leptochloa crinita* es un pasto nativo del Monte argentino que se comporta como especie pionera en sitios degradados, protege el suelo contra la erosión, posee una buena calidad forrajera, resistencia a la sequía y al pastoreo, lo que le confiere gran potencial para ser utilizada en restauración.

En base a esto, la presente tesis tuvo como objetivo determinar y comparar el efecto del estrés hídrico sobre algunos mecanismos fisiológicos de seis genotipos de *Leptochloa crinita*, con el fin de identificar y seleccionar genotipos tolerantes para restaurar zonas áridas degradadas. Para ello se determinó el efecto del estrés hídrico en la partición de asimilados hacia la parte aérea y subterránea de las plantas de *L. crinita*. Por otro lado, se evaluó cómo afecta el estrés hídrico el área foliar, la conductancia estomática y el índice de clorofila en los distintos genotipos de *L. crinita*. Y, por último, se determinó, mediante fluorescencia de la clorofila, como se afecta el aparato fotosintético con el estrés hídrico en los distintos genotipos de *L. crinita*.

El ensayo fue realizado en la parcela de la cátedra de Fisiología Vegetal. Los genotipos seleccionados fueron sembrados y mantenidos en invernáculo hasta que presentaron 5-6 hojas, luego fueron colocados a la intemperie para un periodo de rusticación y por último fueron llevados a campo. Se utilizó un diseño factorial 6 x 2 en parcelas divididas, con dos parcelas principales (testigo y estrés hídrico) y seis subparcelas (genotipos 1, 3, 5, 9, 18, 22) dentro de cada parcela principal. Los tratamientos fueron testigo y estrés hídrico, para evitar el contacto del agua de lluvia el suelo de la parcela experimental fue cubierto con polietileno negro de 200 micrones de espesor.

Una vez por semana se determinó para 3 plantas de cada uno de los genotipos: conductancia estomática, índice de clorofila y eficiencia del fotosistema II. Al mismo tiempo, se realizaron cuatro muestreos cada 30 días aproximadamente, en cada muestreo se cosecharon 3 plantas por cada genotipo para ambas parcelas, y a su vez se colectó la parte aérea y subterránea de cada planta. En estos muestreos también se determinó el área foliar y el coeficiente de partición de materia seca.

De acuerdo con los resultados obtenidos, es correcto aceptar la hipótesis de trabajo. Por lo tanto, concluimos que la respuesta al estrés hídrico de *Leptochloa crinita* es genotipo-dependiente. Esta respuesta se manifiesta mediante la expresión diferencial de algunos mecanismos fisiológicos como la partición de fotoasimilados, modificaciones del área foliar y conductancia estomática, como así también de algunos indicadores de daño oxidativo como el índice de clorofila y la eficiencia del fotosistema II. Los genotipos 1, 3 y 9 se desempeñaron mejor ante condiciones de déficit hídrico por lo que podrían ser utilizados para proyectos de restauración de áreas degradadas. Asimismo, el genotipo 9 demostró ser muy productivo aun en condiciones de estrés hídrico por lo que puede ser utilizado en zonas de baja precipitación como forraje para el ganado.

Palabras claves: gramíneas nativas, Monte argentino, restauración, sequía.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por haberme apoyado y acompañado durante todos estos años, enseñándome la importancia del estudio y del trabajo y que con perseverancia se puede lograr todo lo que nos proponemos, sin ellos este camino no hubiera sido igual.

A mis amigas Agus, Aye, Marti T. y Sofi M., que me enseñaron como disfrutar de la vida universitaria de otra forma y que me acompañaron en toda esta etapa.

A mis amigas y amigos, compañeros de estudio y futuros colegas que me acompañaron en este camino, compartiendo muchas horas de estudio, mates y hermosas salidas. A los que estuvieron desde el principio, Nicky y Tobi, y los que aparecieron en el camino, Neri, Sofi A., Maika, Coti, Belu, Juli, Juanchi, Juan, Mari, Marti B., Juani a ustedes y a todos los que hicieron que cursar la carrera fuera un poco más fácil. Y en especial a Marti R. por ayudarme desde el momento cero en esta tesis.

A Deo, mi director, que me ayudo en todo este trabajo, por su paciencia y sabiduría para guiarme en la realización de esta tesis y por ser alguien tan importante para culminar esta carrera.

A los evaluadores, Federico, Emilia y Verónica por la predisposición para evaluarlo y por sus aportes para mejorar la calidad de este trabajo.

A la cátedra de Fisiología Vegetal por permitirme usar el espacio para realizar el ensayo.

A la Universidad Nacional de Cuyo, a la Facultad de Ciencias Agrarias por su calidad académica pero más que nada por su enorme calidad humana, a la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables y especialmente a sus docentes por haberme formado académica, ética y profesionalmente.

A todos los que hicieron que esto fuera posible.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Formulación. Fundamentación	1
1.2. Hipótesis	2
1.3. Objetivo general	2
1.3.1. Objetivos específicos.....	2
2. ESTADO DE CONOCIMIENTO ACTUALIZADO DEL TEMA.....	2
2.1. Zonas áridas	2
2.2. Importancia de las gramíneas en las zonas áridas	4
2.3. <i>Leptochloa crinita</i>	5
2.4. Algunos mecanismos fisiológicos involucrados en la respuesta de las plantas al déficit hídrico	7
2.4.1. Partición de fotoasimilados.....	8
2.4.2. Área foliar.....	9
2.4.3. Conductancia estomática.....	9
2.4.4. Índice de clorofila.....	10
2.4.5. Eficiencia fotoquímica del fotosistema II (PSII).....	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
4. RESULTADOS.....	14
4.1. Caracterización de los genotipos en relación a la acumulación de materia seca	14
4.2. Partición de fotoasimilados	24
4.3. Área foliar	27
4.1. Conductancia estomática	29
4.2. Índice de clorofila	31
4.3. Eficiencia fotoquímica del PSII	33
5. DISCUSIÓN.....	34
6. CONCLUSIONES.....	37
7. BIBLIOGRAFÍA.....	39
8. ANEXO.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Regiones hiperáridas, áridas, semiáridas y secas subhúmedas del Mundo. (Fuente: Millennium Ecosystem Assessment, 2005)	3
Figura 2: Inflorescencia de <i>Leptochloa crinita</i> (Fuente: propia).	6
Figura 3: Distribución geográfica de <i>Leptochloa crinita</i> en América (área sombreada) (Fuente: Kozub et al., 2017).....	6
Figura 4: A) Siembra de genotipos en macetas. B) Periodo de rusticación de los plantines (Fuente: propia).	11
Figura 5: Plantas establecidas en el terreno de la parcela experimental (Fuente: propia). ...	12
Figura 6: Medición de conductancia estomática con el porómetro de hoja Decagon SC-1 (Fuente: propia).	13
Figura 7: Curvas de acumulación de materia seca total para cada genotipo evaluado sin restricción hídrica (A) y con estrés hídrico (B) durante el ciclo de cultivo	16
Figura 8: Valores promedio de acumulación de materia seca total para cada genotipo de <i>L. crinita</i> bajo estrés hídrico y testigo a los 1, 27, 63 y 101 DDT (A, B, C y D respectivamente). Medias con una letra común no son significativamente diferentes según test de Tukey ($p>0.05$).	17
Figura 9: Curvas de acumulación de materia seca de tejidos aéreos para cada genotipo evaluado sin restricción hídrica (A) y con estrés hídrico (B) durante el ciclo de cultivo	18
Figura 10: Valores promedio de acumulación de materia seca de tejidos aéreos para cada genotipo de <i>L. crinita</i> bajo estrés hídrico y testigo a los 1, 27, 63 y 101 DDT (A, B, C y D respectivamente). Medias con una letra común no son significativamente diferentes según test de Tukey ($p>0.05$).	19
Figura 11: Curvas de acumulación de materia seca de raíces para cada genotipo evaluado sin restricción hídrica (A) y con estrés hídrico (B) durante el ciclo de cultivo.....	20
Figura 12: Curvas de acumulación de materia seca de tejidos aéreos para cada genotipo evaluado sin restricción hídrica (A) y con estrés hídrico (B) durante el ciclo de cultivo	20
Figura 13: Genotipos 1,3 y 5 bajo tratamiento testigo (izquierda), genotipos 1,3 y 5 bajo tratamiento de estrés hídrico(derecha) a los 63 DDT (Fuente: propia).	22
Figura 14: Genotipos 9,18 y 22 bajo tratamiento testigo (izquierda), genotipos 9, 18 y 22 bajo tratamiento de estrés hídrico (derecha) a los 63 DDT (Fuente: propia).	23
Figura 15: Partición de materia seca hacia tejidos aéreos y raíces para cada genotipo de <i>L. crinita</i> bajo estrés hídrico y testigo a los 1, 27, 63 y 101 DDT (A, B, C y D respectivamente).	26
Figura 16: Valores promedio de área foliar para cada genotipo de <i>L. crinita</i> bajo estrés hídrico y testigo a los 1, 27, 63 y 101 DDT (A, B, C y D respectivamente). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).	28
Figura 17: Variación del área foliar de los genotipos de <i>Leptochloa crinita</i> a lo largo de los días transcurridos DDT.	29
Figura 18: Curvas de conductancia estomática para cada genotipo evaluado sin restricción hídrica (A) y con estrés hídrico (B) durante el ciclo de cultivo.	30
Figura 19: Valores de conductancia estomática para cada genotipo de <i>L. crinita</i> , para los 98 DDT. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).	31
Figura 20: Curvas de índice de clorofila para cada genotipo evaluado sin restricción hídrica (A) y con estrés hídrico (B) durante el ciclo de cultivo.	32
Figura 21: Valores de índice de clorofila para cada genotipo de <i>L. crinita</i> , para los 98 DDT. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).	32

Figura 22: Curvas de eficiencia del PSII para cada genotipo evaluado sin restricción hídrica (A) y con estrés hídrico (B) durante el ciclo de cultivo.....	33
Figura 23: Valores de eficiencia del PSII para cada genotipo de <i>L. crinita</i> , para los 98 DDT. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos del origen geográfico de genotipos de <i>Leptochloa crinita</i>	11
Tabla 2: Fechas de ejecución de los 4 muestreos realizados en el ensayo.....	13
Tabla 3: Resultados del ANOVA para la variable materia seca total, para distintos días transcurridos después del tratamiento de estrés hídrico (DDT) ($\alpha=0.05$).	14
Tabla 4: Resultados del ANOVA para la variable partición de fotoasimilados considerando como factores de variación “genotipo”, “tratamiento” y “tejido” y la interacción “genotipo × tratamiento” (dentro de cada tejido) y la triple interacción “genotipo × tratamiento × tejido” en los cuatro muestreos realizados ($\alpha=0.05$).	24
Tabla 5: Resultados del ANOVA para la variable área foliar, para los días transcurridos después del tratamiento (DDT) ($\alpha=0.05$).	27
Tabla 6: Resultados del ANOVA para la variable conductancia estomática ($\alpha=0.05$).	29
Tabla 7: Resultados del ANOVA para la variable índice de clorofila ($\alpha=0.05$).	31
Tabla 8: Resultados del ANOVA para la variable eficiencia del PSII ($\alpha=0.05$).	33
Tabla suplementaria 1: Valores promedio de acumulación de materia seca por tejido y genotipo de <i>L. crinita</i> , para los días transcurridos DDT.	43
Tabla suplementaria 2: Valores promedio de área foliar por genotipo de <i>L. crinita</i> , bajo ambos tratamientos (testigo y estrés hídrico) para los días transcurridos DDT.	44



1. INTRODUCCIÓN

1.1. Formulación. Fundamentación

Es de amplio conocimiento que la desertificación, degradación de las tierras de zonas áridas y semiáridas, es un fenómeno que ocurre a nivel mundial y va en aumento. Las causas de la desertificación son numerosas, y han sido atribuidas tanto a factores relacionados con las acciones humanas, a causa de un mal manejo de los recursos naturales, como a eventos climáticos.

Las zonas áridas y semiáridas representan el 75% del territorio de la República Argentina. En ellas habitan 9 millones de personas que representan el 20% de la población total. En estas regiones ya se observan los efectos que causa la desertificación. El sobrepastoreo y la deforestación destruyen la cubierta vegetal, lo que produce que la erosión hídrica y eólica remuevan los estratos fértiles del suelo. Así también las prácticas agrícolas no sustentables eliminan los nutrientes del suelo, salinizándolo, desecándolo, compactándolo o sellando su superficie y provocando la acumulación de sustancias tóxicas (Abraham, 2002).

En estos ecosistemas áridos la disponibilidad de agua es uno de los principales factores limitantes para la productividad primaria, por lo que las plantas se han adaptado de distintas formas a este ambiente. La tolerancia a la sequía de las plantas nativas es una característica importante a tener en cuenta al momento de seleccionar especies para restaurar tierras degradadas de ambientes áridos, como es la región fitogeográfica del Monte Argentino. Una de las especies forrajeras nativas más importantes de esta región es *Leptochloa crinita*, principalmente debido a su buena calidad forrajera y a la extensa área de distribución de la misma (Waistein y González, 1969; Roig, 1971; Cavagnaro, 1988). Juega un rol fundamental en la protección del suelo contra la erosión y se propone para ser usada en la restauración de la cobertura vegetal en zonas áridas degradadas (Kozub et al., 2017).

Debido a su importancia, el Instituto Argentino de Investigaciones de Zonas Áridas (IADIZA), perteneciente al Centro Científico Tecnológico Mendoza (CCT-Mendoza), creó el Banco de Germoplasma de Gramíneas Nativas, con el objetivo de coleccionar, preservar, estudiar y distribuir el germoplasma de pastos nativos de la región del Monte Argentino. Este banco de germoplasma contiene materiales vegetales obtenidos de 48 poblaciones naturales de *Leptochloa crinita* recolectadas en una extensa región (350.000 km²) del Monte. Actualmente hay 21 accesiones de *L. crinita* conservadas en colecciones de campo y bancos de semilla.

Varios de los materiales de esta colección fueron multiplicados, evaluados y caracterizados desde el punto de vista morfológico, fisiológico y de productividad forrajera (Cavagnaro et al., 1989; Greco 1996; Greco y Cavagnaro 2003, 2005).

Greco y Cavagnaro (2003) realizaron un estudio en el que se compararon tres genotipos de *L. crinita*, de alta, media y baja productividad. En este estudio, se llegó a la conclusión que las diferencias en la productividad de los genotipos de *L. crinita* se mantienen con déficit hídrico, el genotipo más productivo presentó una mayor proporción brote/raíz, producción más rápida de área foliar y mayor producción de biomasa, mientras que el genotipo de baja productividad tuvo una menor relación brote/raíz, menor desarrollo del área foliar y menor producción de biomasa sin embargo no se consideraron mecanismos fisiológicos como la conductancia estomática, el índice de clorofila y otros, asociados con un mayor o menor tiempo de supervivencia de las plantas bajo condiciones de sequía. Por ello, cabe la posibilidad que los resultados obtenidos anteriormente no sean del todo extrapolables al resto de los genotipos del banco de germoplasma, y que existan mecanismos adicionales, o interacciones entre dichos mecanismos.



En este contexto, es necesario evaluar diferentes mecanismos fisiológicos e indicadores de daño oxidativo asociados a la respuesta al estrés hídrico en otros genotipos genéticamente diversos no evaluados hasta el momento, teniendo en cuenta el potencial de estas gramíneas nativas para ser usadas en tareas de revegetación y el contexto socio-ambiental donde se desarrollan. La variabilidad encontrada entre los genotipos de *L. crinita* para la tolerancia al estrés hídrico puede ser explotada para mejorar este carácter y ayudar a identificar y seleccionar genotipos superiores para restauración en zonas áridas.

1.2. Hipótesis

La respuesta al estrés hídrico de *Leptochloa crinita* es genotipo-dependiente. Esta respuesta se manifiesta mediante la expresión diferencial de algunos mecanismos fisiológicos como la partición de fotoasimilados, modificaciones del área foliar y conductancia estomática, como así también de algunos indicadores de daño oxidativo como el índice de clorofila y la eficiencia del fotosistema II.

1.3. Objetivo general

Determinar y comparar el efecto del estrés hídrico sobre algunos mecanismos fisiológicos de 6 genotipos de *Leptochloa crinita*, con el fin de identificar y seleccionar genotipos tolerantes para restaurar zonas áridas degradadas.

1.3.1. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del estrés hídrico en la partición de asimilados hacia la parte aérea y subterránea de las plantas de *L. crinita*.
- Evaluar cómo afecta el estrés hídrico el área foliar en los distintos genotipos de *L. crinita*.
- Evaluar el efecto del estrés hídrico en la conductancia estomática de las hojas en los genotipos de *L. crinita*.
- Evaluar el efecto del estrés hídrico en el índice de clorofila a lo largo del ciclo de las plantas.
- Determinar, mediante fluorescencia de la clorofila, como se afecta el aparato fotosintético con el estrés hídrico en los distintos genotipos de *L. crinita*.
- Identificar genotipos tolerantes al estrés hídrico con el fin de restaurar zonas áridas degradadas.

2. ESTADO DE CONOCIMIENTO ACTUALIZADO DEL TEMA

2.1. Zonas áridas

Aunque el concepto es muy discutido, y los límites aún no son muy claros, se consideran zonas áridas o tierras áridas como aquellas áreas donde la precipitación media anual es menor que la mitad de la evapotranspiración potencial. Estas tierras se caracterizan por una precipitación baja y errática, altamente variable a lo largo del año. Reciben menos de 200 mm de lluvia en invierno o menos de 400 mm de lluvia en verano, a diferencias de las zonas semiáridas que reciben entre 200 y 500 mm de lluvia en invierno y de 400 a 600 mm en verano (FAO, 2007).

En ambientes áridos y semiáridos, el balance hidrológico resultante es una situación de déficit hídrico permanente, debido a la baja precipitación y elevada evapotranspiración. Según la FAO (2007), las tierras secas se pueden categorizar en Hiperáridas, Áridas, Semiáridas y Secas Subhúmedas. Esta clasificación utiliza el concepto del Índice de Aridez,



el cual se basa en la relación entre la precipitación y la evapotranspiración. En las tierras áridas este índice tiene un valor menor a 0.65.

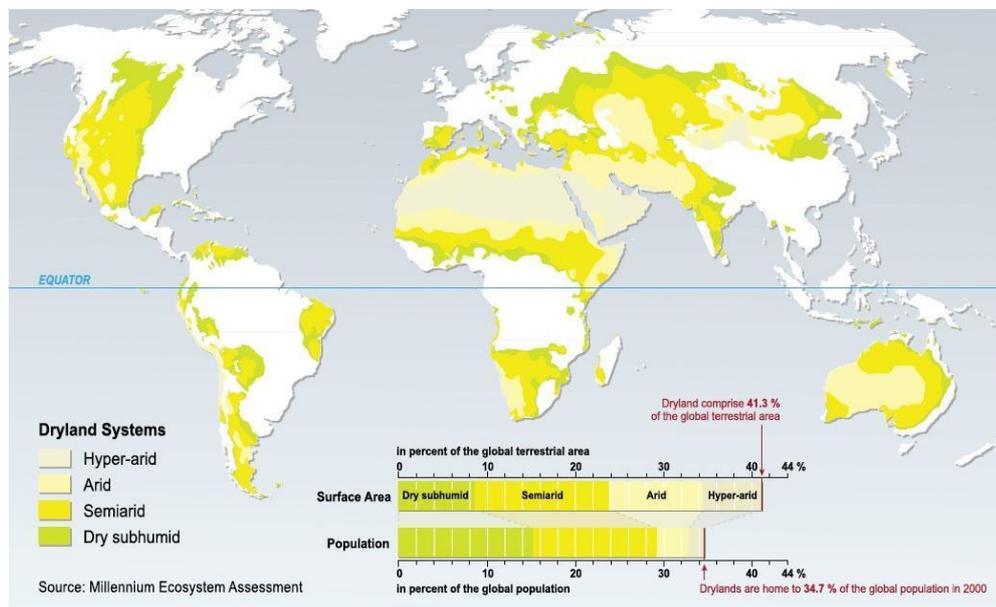


Figura 1: Regiones hiperáridas, áridas, semiáridas y secas subhúmedas del Mundo. (Fuente: Millennium Ecosystem Assessment, 2005)

En el mundo las zonas hiperáridas, áridas, semiáridas y secas subhúmedas se encuentran entre los 20° y 35° de latitud y ocupan el 47.2% de la superficie de tierra. En estas latitudes, la circulación atmosférica genera vientos secos y templados que descienden desde las capas superiores de la atmósfera y son la principal causa de aridez. Por otro lado, este fenómeno se atribuye a la continentalidad, el estar situado en las lejanías de las áreas oceánicas reduce las posibilidades de llegada de aire marítimo, y con ella de humedad y lluvias. Además, en algunas zonas la presencia de cadenas montañosas contribuye a la agravación de este fenómeno (Fernández y Volpedo, 2002).

Estas regiones presentan otras características medioambientales propias, como altos niveles de radiación solar incidente, variaciones amplias de temperatura durante el día y la noche, fuertes vientos, altas tasas de arrastre de sedimentos y pérdidas por infiltración en canales aluviales. Estas variables modelan el paisaje generando una variedad de suelos, que dan sustento a numerosos microorganismos y que son el medio en el cual crecen las plantas. (Fernández Gálvez, 2010).

La desertificación; degradación de la tierra por su uso en regiones áridas, semiáridas y subhúmedas secas que se origina a partir de varios factores que incluyen la variación climática y las actividades humanas, constituye un importante problema global (FAO, 2007). Pérdida del suelo por erosión hídrica y eólica, empobrecimiento del suelo, reducción del nivel de agua del subsuelo, alteración general del ciclo hidrológico, regeneración menor de plantas herbáceas y leñosas, reducción severa de la productividad de los ecosistemas y pérdida de la diversidad biológica, son algunos de los procesos negativos causados por este fenómeno (Granados, Hernández, Vázquez y Ruíz, 2013). Los procesos de desertificación causan una alteración del sistema suelo-planta-atmósfera, esto genera cambios en el microclima del suelo por modificaciones en la absorción de la energía solar, temperatura y evaporación. Para mitigar los efectos causados por la desertificación, se están llevando a cabo distintos procesos que involucran la restauración de estos sitios, para con ello reestablecer la integridad biótica preexistente, recuperar la funcionalidad del sistema y el



suministro de servicios ecosistémicos (Society for Ecological Restoration International, 2004).

2.2. Importancia de las gramíneas en las zonas áridas

En la provincia fitogeográfica del Monte las precipitaciones medias anuales varían entre 30 y 350 mm, por lo que el factor limitante es el agua. Tanto la calidad como la disponibilidad del agua son importantes para la distribución y supervivencia de la vegetación. El tipo de vegetación predominante es el matorral o estepa arbustiva xerófila, psamófila o halófila (Cabrera, 1971). Las gramíneas perennes son componentes importantes del estrato herbáceo de la vegetación nativa, con roles claves en el ecosistema, como pioneras en los procesos de sucesión y fijadoras de suelo (Villagra et al., 2011).

La familia Poaceae, conocida como Gramíneas, es una de las familias con mayor número de especies y se distribuye prácticamente en toda la superficie terrestre. Por ser tan numerosa ha sido dividida en subfamilias, y cada una de estas en tribus, según diversos criterios. La clasificación natural de Gramíneas Argentinas propuesta por Parodi (1960), considera 6 subfamilias.

Las especies pertenecientes a esta familia presentan dos vías fotosintéticas, C3 y C4, lo cual le permite adaptarse a diferentes hábitats y, en consecuencia, dominar gran diversidad de ecosistemas. Entre ellas se encuentran cereales, plantas sacaríferas, medicinales, aromáticas, oleaginosas, forrajeras y ornamentales por consiguiente poseen gran importancia económica para el hombre (Biganzoli y Zuloaga, 2015).

Las diferencias anatómicas y fisiológicas de las gramíneas C3 y C4 se reflejan en sus patrones de distribución de gradientes altitudinales y climáticos (Cañas, 2017). Situándonos en el lugar de estudio, el Monte, las gramíneas C4 se encuentran en el centro y norte de la región, y las C3 son dominantes en el sur, esto relacionado con las diferencias de temperatura y disponibilidad de agua. En función de la altitud, las especies C4 se encuentran predominantemente a bajas altitudes, mientras que las C3 se hacen dominantes a mayores altitudes (Villagra et al., 2011).

Debido a la baja disponibilidad hídrica durante gran parte del año que poseen tierras áridas y semiáridas, constituyen un ambiente natural de baja productividad. En consecuencia, las plantas que ocupan estos ambientes deben ajustar su estructura y función para maximizar la utilización y conservación del agua. Algunas de las adaptaciones que han adquirido estas especies son: ajustes fenológicos a la disponibilidad de agua, respuesta rápida a los pulsos de recursos, exploración de fuentes de agua profundas, entre otras, los cuales les permite sobrevivir ante condiciones ambientales estresantes (Villagra et al., 2011).

Las respuestas o mecanismos que emplean estos organismos para afrontar esta situación de estrés hídrico son característicos de cada especie o variedad. Entre las estrategias de resistencia a la sequía se encuentra: de escape, donde las especies son capaces de completar su ciclo de vida antes de un periodo de estrés hídrico, de evitación, previniendo la deshidratación celular, y tolerancia, las cuales poseen mecanismos que le permiten resistir la deshidratación celular.

Diversos autores han estudiado las estrategias que las gramíneas del Monte emplean para regular la pérdida de agua. Cuando el potencial agua desciende por debajo de un cierto umbral, como primera estrategia, estas plantas cierran los estomas (en algunas especies el potencial hídrico puede alcanzar valores de entre -5 y -4 MPa), y luego responden mediante



cambios en la arquitectura foliar, como por ejemplo plegando las hojas sobre la nervadura central (Greco y Cavagnaro 2003).

Anteriormente se habló que las gramíneas poseen una respuesta rápida a los pulsos de recursos, esto se puede observar en la emergencia y establecimiento de las plántulas durante los años húmedos. Cuando el periodo de estrés se prolonga mucho tiempo toda la parte aérea de la planta se seca, con excepción de las yemas basales de los macollos, que entran en dormición y ante la presencia de lluvias reinician su crecimiento (Villagra et al., 2011).

Gramíneas nativas pueden tener éxito como cultivos de cobertura en el sitio interfilar de viñedos bajo riego por goteo, ya que, en condiciones de alta temperatura y restricción hídrica, hacen uso eficiente del agua (Uliarte et al., 2014). El manejo con cobertura vegetal tiene beneficios no solo para el suelo, aporte de materia orgánica, reducción de la compactación, control de escorrentía y erosión, sino también al controlar el vigor de las plantas de vid permite mejorar la calidad de las cosechas (Uliarte et al., 2009). Por lo tanto, el estudio de las gramíneas nativas cobra importancia no solo para recuperar suelos degradados y para el diseño de planes de manejo y conservación de estas especies tanto in situ como ex situ, como se planteó con anterioridad, sino también su uso como coberturas vegetales en una zona vitivinícola como Mendoza.

2.3. *Leptochloa crinita*

Leptochloa crinita (Lag.) P.M.Peterson & N.Snow, vulgarmente conocido como “pasto de hoja o de raíz”, es uno de los pastos nativos más importantes de la zona noroeste de Argentina. Según estudios realizados protege el suelo contra la erosión, se comporta como especie pionera en sitios degradados, cubriendo lugares donde la vegetación ha sido removida, estos y otros caracteres de esta especie, como buena calidad forrajera, resistencia a la sequía, resistencia al pastoreo y pisoteo, le confieren gran potencial para ser utilizada en actividades de restauración de zonas áridas y semiáridas (Kozub et al., 2017).

El género *Leptochloa*, anteriormente *Trichloris*, con sus dos especies: *L. crinita* y *L. pluriflora*, pertenecen a la familia Poaceae, Subfamilia Cloridoideas, Tribu Eragrostidae. Este género fue renombrado recientemente, basados en análisis filogenéticos con secuencias de ADN plastídicas y nucleares (Peterson et al. 2012, 2015).

Leptochloa crinita es un pasto C4, perenne y cespitoso, decumbente o erecto. Crece durante el verano, cuando hay disponibilidad de agua y temperaturas superiores a 10°C. Las plantas tienen una altura de aproximadamente 20-40 cm en etapas vegetativas y alcanzan una altura de 50-90 cm después de establecer las inflorescencias. Se reproduce sexualmente, es autocompatible y predominantemente (sino exclusivamente) autógena (Kozub et al., 2017).



Figura 2: Inflorescencia de *Leptochloa crinita* (Fuente: propia).

Según Quiroga et al. (2018), la especie se encuentra en dos amplias regiones centradas en pastizales áridos y semiáridos de América del Sur y del Norte. Esto es importante para la aplicación de técnicas de restauración, ya que permite en áreas con características climáticas similares, implantar especies de un subcontinente en el otro. Sin embargo, esto debe realizarse con mucha precaución, la introducción de genotipos desconocidos en un ambiente puede causar la colonización de sitios no ocupados por la especie, con el posterior desplazamiento de especies nativas (Gutiérrez, 2006).



Figura 3: Distribución geográfica de *Leptochloa crinita* en América (área sombreada) (Fuente: Kozub et al., 2017).

En nuestro país *L. crinita* se distribuye desde climas áridos a subhúmedos, crece en suelos de textura fina (arcillosos), incluso en condiciones de salinidad. Se encuentra en las provincias fitogeográficas del Monte, Chaco y Espinal. En el Monte, se encuentra con otras



especies C4, arbustos del género *Larrea* y árboles del género *Prosopis* (Villagra et al., 2011).

La producción de biomasa forrajera ha sido un atributo muy estudiado en *L. crinita*. Se ha demostrado que entre los genotipos la producción de biomasa aérea varía entre 34 a 664 gramos de materia seca por metro cuadrado. Cavagnaro et al. (2006) estudiaron a la especie en diferentes sitios y durante tres temporadas de crecimiento, obteniendo un rango de variación de 34 a 265 g entre el genotipo más productivo y el menos productivo, encontrando por lo tanto que la producción de biomasa varía casi nueve veces entre el genotipo más productivo y el menos productivo.

Además, Greco (1996) y Greco y Cavagnaro (2005) estudiaron la relación entre la producción de biomasa y características morfológicas y fisiológicas, demostrando que la mayor partición de fotoasimilados hacia los brotes resultó en una mayor producción de biomasa aérea. En relación a la materia seca total (biomasa aérea y subterránea), el aumento de la misma se asoció con un área foliar total más grande, y la morfología y disposición espacial de las hojas permitió una mayor cantidad de luz interceptada por hojas. Por el contrario, la baja producción de biomasa se asoció con menor área foliar, desarrollo más lento del área foliar y a una mayor proporción de raíces.

La calidad forrajera determina la contribución de un forraje a la producción animal, reconociendo al menos cuatro componentes: consumo (qué cantidad de ese forraje es voluntariamente consumido por el animal), digestibilidad (cuánto de lo consumido es absorbido a través del aparato digestivo), eficiencia (relación entre la producción animal y el suministro de nutrientes) y factores de anti-calidad (todos aquellos componentes presentes en el forraje que pueden disminuir el consumo, la digestibilidad y la eficiencia) (Basigalup D. H., 2007). *L. crinita* tiene una buena calidad de forraje, caracterizada por un contenido medio de proteína bruta (CP) de 9.1% y un rango de variación, dependiendo del genotipo, de 8-10.2%. Aunque su contenido de proteína bruta no es el más alto entre las gramíneas nativas que cohabitan naturalmente con *L. crinita*, la mayor producción de biomasa de esta última se traduce en un rendimiento de CP por hectárea mucho mayor (Kozub et al., 2017).

Cavagnaro y Trione (2007) estudiaron el comportamiento de *L. crinita* bajo sombra. A intensidad de luz moderada no tiene limitaciones de crecimiento, y produce en cantidad y calidad similar a los ejemplares ubicados a plena luz solar. Esta especie cuenta con mecanismos que le permiten modificar su morfofisiología y sus parámetros bioquímicos en condiciones de sombra y gracias a ello puede producir suficiente biomasa herbácea.

Leptochloa crinita presenta patrones diferenciales al uso del agua en base a la procedencia de las plantas. Plantas provenientes de zonas húmedas en condiciones de sequía exhibieron mayor senescencia foliar y mayor reducción de la tasa de alargamiento de las hojas. A diferencia de plantas adaptadas a zonas áridas donde la tasa de consumo de agua del suelo y la senescencia foliar es menor, mientras que la tasa de elongación celular es mayor. Concluyendo que ante igual contenido de humedad del suelo las plantas provenientes de regiones áridas se ven menos afectadas en condiciones de estrés hídrico que las plantas procedentes de regiones húmedas (Quiroga et al., 2013).

2.4. Algunos mecanismos fisiológicos involucrados en la respuesta de las plantas al déficit hídrico

Cualquier limitación al funcionamiento óptimo de una planta, impuesta por una disponibilidad de agua insuficiente, es definido como estrés hídrico (Medrano y Flexas, 2003). El déficit hídrico comienza a desarrollarse cuando el agua perdida por evapotranspiración excede a la absorbida por las raíces. Cómo se vea afectada la planta dependerá de varios factores,



entre ellas, la intensidad y duración del déficit hídrico, el grado de aclimatación de la planta y su nivel de resistencia. Asimismo, en las plantas existe una diversidad de mecanismos de resistencia a la sequía. Sin embargo, cuando los niveles de estrés son altos, tanto en intensidad como en duración, se pueden superar los mecanismos de defensa, y provocar daños. La multiplicidad de mecanismos entre especies y dentro de las especies refleja determinados tipos de estrategia de defensa contra el estrés, adquiridos mediante adaptación evolutiva (Vila, 2011).

Bajo estas condiciones, el proceso fotosintético se ve afectado disminuyendo la capacidad fotosintética global, lo que provoca reducciones en la supervivencia. Si, además, se presentan condiciones de exceso de radiación y altas temperaturas, que inhiben los procesos de las enzimas fotosintéticas y en la cadena de transporte electrónico, se desarrollan daños permanentes en la capacidad fotosintética (Herralde Traveria, 2000).

Ante esta situación, resulta imprescindible la evaluación de los factores que limitan la fotosíntesis, lo relacionado con la apertura estomática y su incidencia en el intercambio de gases. Mediante estudios de las adaptaciones ecofisiológicas de los organismos al medio ambiente bajo estrés es posible determinar las condiciones para el desarrollo de una especie o genotipo. Esto contribuiría a seleccionar genotipos adecuados para un ambiente determinado y de esa forma realizar actividades de restauración de sitios degradados.

2.4.1. Partición de fotoasimilados

Los cambios en el estado de desarrollo de las plantas, las variaciones en las condiciones climáticas, prácticas culturales y genotipos determinan variaciones en la partición de asimilados a órganos aéreos y subterráneos. Por lo tanto, el conocimiento sobre la partición de fotoasimilados entre estructuras aéreas y subterráneas, es uno de los requisitos para entender estrategias ecológicas de sobrevivencia y respuesta a las condiciones de estrés hídrico, y de esta forma ayudar a seleccionar genotipos para un propósito en particular.

En el proceso de crecimiento y desarrollo, las plantas presentan partes contrastantes metabólicamente que son conocidas como tejidos fuente (exportadores netos de asimilados) y vertedero (importadores netos de asimilados). El metabolismo de la fuente y del vertedero, están estrechamente acoplados porque la información de disponibilidad de asimilados en cada órgano es percibida y usada para guiar la expresión de genes. Esta coordinación es necesaria para evitar fluctuaciones y desbalances entre el abastecimiento y la demanda (Foyer y Paul, 2001).

Los asimilados poseen varios destinos potenciales pudiendo ser utilizados en los centros de actividad meristemática, para producir nuevo tejido y crecer, o ser acumulados como reservas. Su ubicación definitiva dependerá de la relación fuente-destino, la cual está principalmente determinada por la actividad de los destinos. En las gramíneas, durante una gran parte del año, los principales destinos lo constituyen los meristemas responsables del crecimiento de los órganos foliares y de las raíces (Robson et al., 1988).

La partición de materia seca está influenciada en gran medida por el estado hídrico de la planta. Cuando el agua es limitante, se ha observado un aumento relativo de la biomasa de las raíces en relación con la biomasa de brotes, debido principalmente a una reducción del crecimiento de brotes. En condiciones estresantes, estos cambios en la relación biomasa aérea/subterránea podrían ser una estrategia para reducir transpiración y aumentar la exploración radical de agua (Greco y Cavagnaro, 2003).



2.4.2. Área foliar

La estimación del área foliar de una planta constituye un requisito importante para realizar estudios ecofisiológicos, por su relación con la intercepción de la radiación solar, el proceso fotosintético y la transpiración.

La magnitud del área foliar define la capacidad de la cubierta vegetal para interceptar la radiación fotosintéticamente activa (PAR), la cual es la fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la fabricación de tejidos y elaboración de compuestos alimenticios. Dentro de una misma especie los diferentes genotipos pueden exhibir variaciones significativas en su capacidad para interceptar la radiación solar. Ello depende de los cambios fisiológicos y morfológicos por los que atraviesa la planta durante su ciclo ontogénico (Warnock et al., 2006).

La expansión foliar es uno de los primeros procesos afectados por el estrés hídrico en la mayoría de las especies, ya que un mecanismo con el que cuentan las plantas para controlar las pérdidas de agua ante estas condiciones es reducir la superficie transpiratoria. Cuanta más superficie foliar haya, mayor son las pérdidas.

Greco y Cavagnaro (2003) concluyeron que *Leptochloa crinita* reduce la superficie expuesta a través del pliegue de lámina foliar. En este estudio se evaluaron sólo 3 de las 20 accesiones pertenecientes al Banco de Germoplasma de Gramíneas Nativas del IADIZA, por lo que estudiar otros genotipos en lo que respecta a este y a otros aspectos de la ecofisiología de esta especie frente a estrés hídrico es importante dado el potencial de las gramíneas nativas para ser usadas en restauración de sitios degradados.

2.4.3. Conductancia estomática

La apertura y cierre de estomas, es un mecanismo esencial con el que cuentan las plantas para adaptarse al ambiente continuamente cambiante en el que habitan. Los estomas son la principal vía de intercambio gaseoso en las plantas, es por donde ingresa el carbono necesario para la síntesis de diversas moléculas orgánicas. Sus mecanismos de cierre y apertura regulan las pérdidas de agua (transpiración) y la absorción de CO₂ (asimilación fotosintética de carbono). Los puntos de cierre estomático, el grado de cierre, y las tasas de cierre y apertura son muy variables, dependiendo de la especie, el ambiente y la historia de cada hoja (Golberg et al., 2011).

En periodos de sequía, cuando la demanda evaporativa es mayor, el cierre estomático permite reducir las pérdidas de agua, contribuyendo a mantener los potenciales hídricos y contenidos hídricos relativos más cercanos a la saturación, y por lo tanto el mantenimiento de la turgencia celular. Aunque el cierre estomático suponga una gran ventaja a la hora de evitar pérdidas de agua, tiene como contrapartida una reducción en la captación de CO₂ y el calentamiento de la hoja, que pueden conducir a la inanición de la planta y a daños en la estructura celular respectivamente (Herralde Travería, 2000).

La conductancia estomática expresa cuán abiertos están los estomas en la planta, lo cual se asocia a la respuesta de la planta en base a la temperatura del aire, a la radiación solar y a la disponibilidad del recurso hídrico en el sistema radical. Un instrumento utilizado para medir la conductancia estomática es el porómetro. El porómetro portátil Decagon SC-1, permite medir la conductancia estomática mediante el flujo de vapor desde la hoja a través de los estomas. La pinza del porómetro, incorpora una cámara con un recorrido de difusión conocido, se fija a la superficie de las hojas y a continuación se empieza a medir la presión



de vapor entre dos puntos de esta trayectoria, para calcular el flujo y el gradiente con las medidas de presión de vapor y conductancia de difusión conocida (Flores, 2019).

2.4.4. Índice de clorofila

El contenido en clorofila, pigmento que le da el color verde a las plantas, juega un papel importante en las mismas, ya que está positivamente correlacionado con la fotosíntesis. Este proceso posibilita la síntesis de sustancias orgánicas a partir de las inorgánicas, mediante la transformación de la energía luminosa en energía química (Mancilla et al., 2013). El contenido de clorofila en las hojas es un parámetro muy útil para evaluar el estado fisiológico de las plantas. La cantidad de clorofila por unidad de área es un indicador de la capacidad fotosintética de una planta y esta cantidad está influenciada por estrés biótico y abiótico (Casierra et al., 2012).

Todas las hojas verdes presentan mayor capacidad de absorción en el rango de 400 - 700 nm. Los medidores portátiles de clorofila, están basados principalmente en mediciones de absorbancia de dos diferentes anchos de banda, las que varían entre el rojo y el rojo lejano. La luz roja es intensamente absorbida por la clorofila y la fracción correspondiente al rojo lejano es utilizada como una longitud de onda de referencia, siendo ambas lecturas utilizadas para crear un índice de clorofila, altamente correlacionado a un valor relativo de clorofila total (Callejas et al., 2013).

Este carácter es muy utilizado en programas de mejora y para estudiar la influencia de diversos estreses en las plantas, ya que se utiliza un método de medida no destructivo para la hoja y de bajo costo.

2.4.5. Eficiencia fotoquímica del fotosistema II (PSII)

La fluorescencia de la clorofila es la luz emitida por las moléculas de clorofila durante el retorno de los estados excitados a los no excitados. De ahí que sea utilizada como indicador de conversión de energía fotosintética en plantas superiores, algas y bacterias. La energía de la luz absorbida por las moléculas de clorofila en una hoja puede experimentar uno de tres casos. En primer lugar, se puede usar para conducir la fotosíntesis, en segundo lugar, el exceso de energía puede disiparse como calor y, por último, volver a emitirse como luz: fluorescencia de clorofila (Luzuriaga Espinosa, 2020).

El Fotosistema II es la parte más vulnerable del aparato fotosintético al daño inducido por la luz. Cuando el nivel de estrés es severo y se superan todos los mecanismos de defensa de las plantas ocurren daños en los fotosistemas, estos daños son irreversibles (Luzuriaga Espinosa, 2020). Las medidas de fluorescencia de la clorofila se vienen empleando cada vez más en los estudios de ecofisiología vegetal. Su relación con la eficiencia energética y el nivel de asimilación de CO₂ en la fotosíntesis permite que los parámetros de fluorescencia puedan ser utilizados para valorar diferencias en la respuesta de las plantas a factores medioambientales y, por consiguiente, para la detección de estrés ambiental. Además de ser una medida no destructiva, de fácil manejo y rápida respuesta (Catalina Tomás, 2015).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en la parcela experimental de la Cátedra de Fisiología Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo. Se trabajó con 6 genotipos del Banco de Germoplasma de Gramíneas Nativas- IADIZA, los cuales mostraron diferencias en su respuesta al estrés hídrico en un estudio realizado en la temporada 2017/18 (Dominguez, datos no publicados).



Tabla 1: Datos del origen geográfico de genotipos de *Leptochloa crinita*

Genotipo ID	Provincia	Localidad	Latitud	Longitud	Precipitación media (mm)	Temperatura media (°C)
1	Mendoza	Rivadavia, El Mirador	33°12'	68°15'	192	15
3	Mendoza	Santa Rosa, Nacuñan	33°59'	67°58'	333,6	15,6
5	Mendoza	Luján de Cuyo, Ugarteche	33°11'	68°55'	242,1	15,3
9	Mendoza	Santa Rosa, Nacuñan	33°59'	67°58'	333,6	15,6
18	La Pampa	Lihuel Calel, Sierra Chica	37°55'	65°26'	360	15,5
22	Mendoza	Lavalle, Arroyito	32°06'	67°27'	258	16,7

Los genotipos fueron sembrados el día 11/09/18 en macetas de 8cm x 8cm x 10cm y mantenidas en invernáculo en iguales condiciones de riego y fertilización. En el momento que las plantas presentaban de 5-6 hojas (16/10/18), las macetas fueron colocadas a la intemperie para un periodo de rusticación. Luego de una semana, el 24/10/18, se trasladaron a la parcela experimental.



Figura 4: A) Siembra de genotipos en macetas. B) Periodo de rusticación de los plantines (Fuente: propia).

Se utilizó un diseño factorial 6 x 2 en parcelas divididas, con dos parcelas principales (testigo y estrés hídrico) y seis subparcelas (genotipos 1, 3, 5, 9, 18, 22) dentro de cada parcela principal. Cada subparcela, constó de 12 plantas de cada genotipo distribuidas al azar con una distancia de 80 cm entre sí. Para evitar las lluvias, el suelo de la parcela experimental fue cubierto con polietileno negro de 200 µm de espesor. Este fue colocado en el terreno días previos a la plantación en la parcela.



Figura 5: Plantas establecidas en el terreno de la parcela experimental (Fuente: propia).

Con el objetivo de que las plantas estuvieran establecidas en el terreno, tanto las parcelas del tratamiento testigo como las de estrés hídrico fueron regadas una vez a la semana hasta los 90 días después de trasplante, siguiendo la metodología propuesta por Greco y Cavagnaro, 2003. En ese momento, 22/01/19, comenzó el tratamiento de estrés hídrico, con la suspensión de riego para la parcela correspondiente.

Una vez por semana se determinó para 3 plantas de cada uno de los genotipos ($n=36$):

- Conductancia estomática mediante un porómetro de hoja Decagon SC-1
- Índice de clorofila con un SPAD-502 Plus
- Eficiencia del fotosistema II mediante fluorescencia de la clorofila, a través de un Pocket PEA chlorophyll fluorimeter

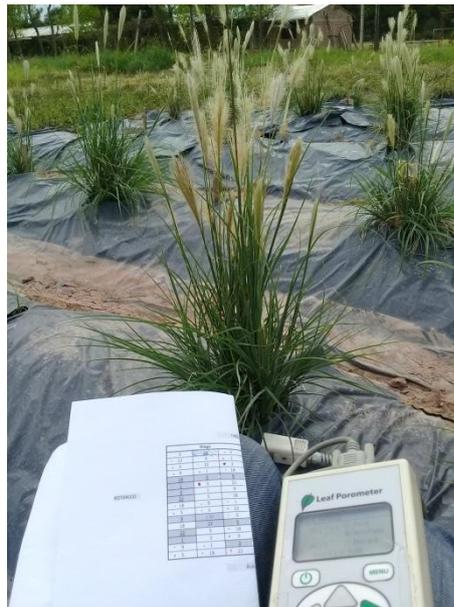


Figura 6: Medición de conductancia estomática con el porómetro de hoja Decagon SC-1 (Fuente: propia).

Las plantas fueron cosechadas en distintos momentos durante el ciclo vegetativo. En primera instancia se realizó un muestreo para todos los genotipos al comienzo del tratamiento de estrés hídrico, y luego 3 muestreos más cada 30 días aproximadamente. En cada muestreo se cosecharon 3 plantas por cada genotipo para ambas parcelas, y a su vez se colectó la parte aérea y subterránea de cada planta.

Tabla 2: Fechas de ejecución de los 4 muestreos realizados en el ensayo

Muestreo	Fecha	Días después de tratamiento (DDT)
Primer muestreo	23/01/19	1
Segundo muestreo	18/02/19	27
Tercer muestreo	26/03/19	63
Cuarto muestreo	03/05/19	101

Siguiendo la metodología propuesta por Greco y Cavagnaro (2003) las raíces se obtuvieron por excavación hasta una profundidad de 40 cm; previamente se determinó que hasta allí se encontraba la mayor parte de raíces en esta especie. Las mismas se separaron del suelo por lavado y tamizado, utilizando un tamiz de abertura de 0.6 mm. Posteriormente fueron secadas a estufa a 60 °C durante 48 hs o hasta peso constante, para obtener su materia seca.

Se calcularon también coeficientes de partición de la materia seca para cada muestreo mediante la fórmula:

$$\text{Coeficiente de partición} = \frac{\text{materia seca en peso absoluto de cada órgano}}{\text{materia seca en peso absoluto de la planta entera}} \times 100$$

Se determinó además el área foliar en muestras de hojas de plantas de todos los genotipos para ambos tratamientos con un medidor de área foliar Licor 3000 A.



Finalmente, los datos se analizaron estadísticamente usando análisis de varianza (ANOVA) mediante modelos lineales generales y mixtos con estructura factorial (MLM), considerando “tratamientos”, “genotipos” y sus interacciones como efectos fijos, mientras que las 3 repeticiones se trataron como efectos aleatorios. Para el caso del análisis de la partición de fotoasimilados el ANOVA realizado mediante los modelos fue de tres vías considerando en los MLM “tratamientos”, “genotipos”, “tejido” y sus interacciones como efectos fijos, mientras que las 3 repeticiones se trataron como efectos aleatorios. Se consideraron diferentes estructuras de varianza residual y se seleccionaron los mejores modelos utilizando los criterios de información de Akaike (AIC) y Schwarz (BIC) (Di Rienzo et al.2017). La comparación de medias se realizó mediante test de Tukey para un nivel de probabilidad de 0.05. Para el procesamiento y análisis de los todos los datos se utilizó el paquete estadístico Infostat versión 2018 (Di Rienzo et al. 2018).

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de los genotipos en relación a la acumulación de materia seca

Utilizando los datos tomados durante el ensayo a campo, se llevó a cabo el análisis estadístico a través de ANOVA. En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para la variable materia seca. El análisis se realizó para cada muestreo, considerando como fuentes de variación los “genotipos”, “tratamiento” y la interacción entre ellas.

En la tabla 3 se puede observar, que pasado 1 día de comenzado el tratamiento (testigo y estrés hídrico) se rechaza la hipótesis nula en el caso del “genotipo” y para “genotipo x tratamiento”, pero se acepta en el caso del “tratamiento”. Esto implica que no existe variabilidad entre los tratamientos de estrés hídrico y testigo en este punto, lo cual se explica porque todas las plantas se regaron de igual manera hasta este momento. A partir de los 27 días después del tratamiento (DDT en adelante) se rechaza hipótesis nula para todas las fuentes de variación. Esto determina que los “genotipos”, los “tratamientos” y la interacción “genotipo x tratamiento” presentan variabilidad.

Tabla 3: Resultados del ANOVA para la variable materia seca total, para distintos días transcurridos después del tratamiento de estrés hídrico (DDT) ($\alpha=0.05$).

DDT	F.V.*	gl*	Estadígrafo F	p-valor
01	Genotipo	5	461.26	<0.0001
	Tratamiento	1	4.0E-04	0.9843
	Genotipo x Tratamiento	5	5.43	0.0021
27	Genotipo	5	2538.94	<0.0001
	Tratamiento	1	8433.62	<0.0001
	Genotipo x Tratamiento	5	79.15	<0.0001
63	Genotipo	5	1424.55	<0.0001
	Tratamiento	1	14586.66	<0.0001
	Genotipo x Tratamiento	5	115.85	<0.0001
101	Genotipo	5	2287.85	<0.0001
	Tratamiento	1	19329.64	<0.0001
	Genotipo x Tratamiento	5	293.38	<0.0001

*F.V.: Fuentes de variación; gl: grados de libertad

Se encontraron diferencias significativas ($p<0.05$) entre los genotipos de *L. crinita* en cuanto a los valores promedio de acumulación de materia seca total, de tejidos aéreos y de raíz (Figuras 8, 10 y 12). Para observar con claridad estas diferencias se compararon las curvas



de acumulación de materia seca de la parte aérea, las raíces y la materia seca total de la planta de cada uno de los genotipos desde 1 DDT hasta los 101 DDT (Figura 7, 9 y 11).

Materia seca total:

Tanto para el tratamiento testigo como para el de estrés hídrico, las curvas de acumulación de materia seca total (parte área + raíces) fueron mayores para el genotipo 9 (Figura 7). Los genotipos 18 y 22, presentaron una curva de acumulación de materia seca por debajo del genotipo 9 y por encima de los demás genotipos en el tratamiento testigo (Figura 7A). Situación diferente se observó en el genotipo 18 en el tratamiento de estrés hídrico, ya que presentó valores de acumulación de materia seca muy bajos comparados con su respectivo testigo con riego (Figura 7B).

A partir de los 27 DDT cuando comenzaron a observarse diferencias entre los tratamientos, en condiciones de estrés hídrico el genotipo 9, presentó una mayor acumulación de materia seca total respecto a los otros genotipos evaluados seguido por los genotipos 3 y 22 (Figura 8). Mientras que el genotipo 5, para ambos tratamientos, presentó la menor acumulación de materia seca (Figura 8).

A los 101 DDT (Figura 8D), los genotipos que presentaron menor reducción de la variable materia seca total en comparación al testigo fueron el 1, 3, 9 y 22 (64.8%, 63%, 59.1% y 58.2% respectivamente), por lo tanto, fueron los genotipos menos afectados por el estrés hídrico para esta variable. Los genotipos que más redujeron su materia seca total respecto al testigo fueron el 5 y el 18 (20.2% y 31.6% respectivamente).



EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DIFERENCIAL DE SEIS GENOTIPOS DE LEPTOCHLOA CRINITA AL ESTRÉS HÍDRICO

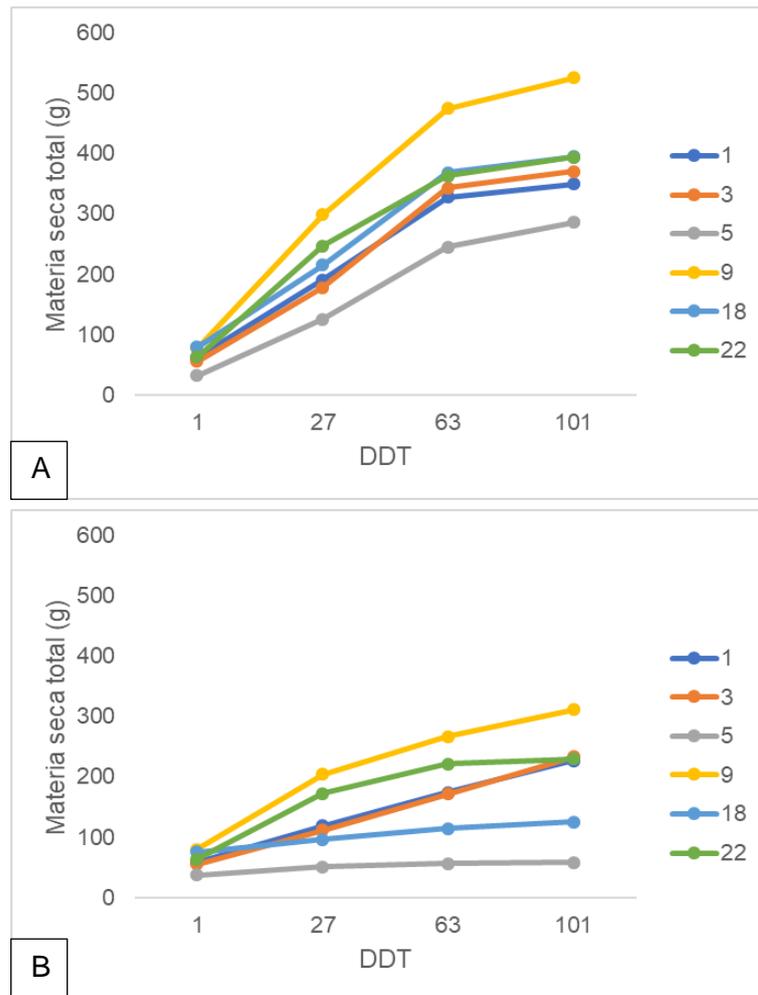


Figura 7: Curvas de acumulación de materia seca total para cada genotipo evaluado sin restricción hídrica (A) y con estrés hídrico (B) durante el ciclo de cultivo



EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DIFERENCIAL DE SEIS GENOTIPOS DE *LEPTOCHLOA CRINITA* AL ESTRÉS HÍDRICO

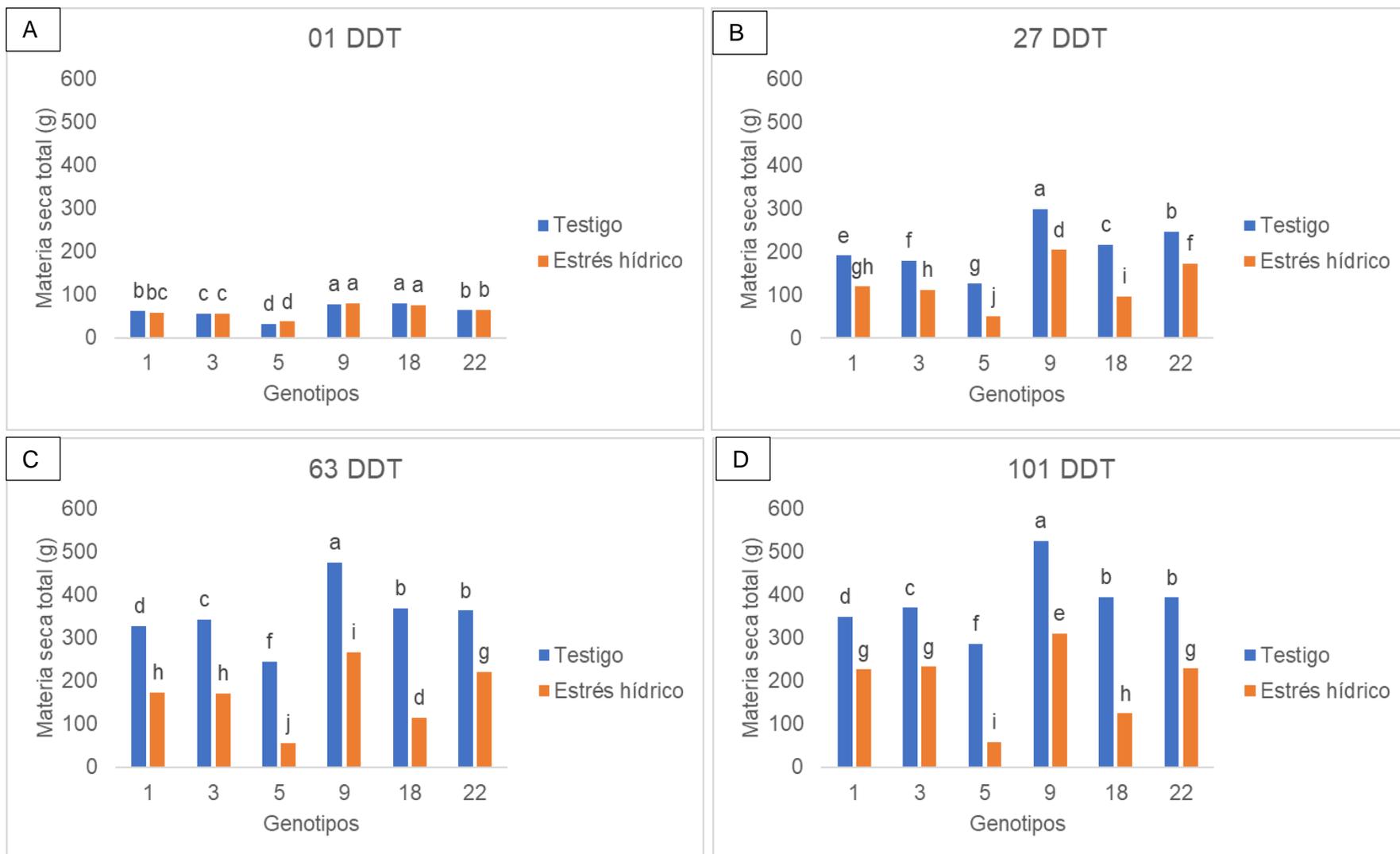


Figura 8: Valores promedio de acumulación de materia seca total para cada genotipo de *L. crinita* bajo estrés hídrico y testigo a los 1, 27, 63 y 101 DDT (A, B, C y D respectivamente). Medias con una letra común no son significativamente diferentes según test de Tukey ($p > 0.05$).



Parte aérea:

Considerando los datos registrados a lo largo del ensayo realizado, la mayor acumulación de materia seca aérea se observó en el genotipo 9 registrando en el último muestreo 451.6 g en el testigo y 264 g en condiciones de estrés hídrico. (Figura 10 D). En contraposición a esto, en ambos tratamientos, y a lo largo de todo el ensayo, el genotipo 5 fue el que menor valor de acumulación de materia seca en la biomasa aérea presentó (Figura 9).

En el testigo y a los 101 DDT (ultimo muestreo), para los genotipos 3, 18 y 22 los valores promedio de acumulación de materia seca aérea no son significativamente diferentes ($p > 0.05$), ya que les corresponde el mismo rango de significancia según el test de comparación de medias de Tukey (Figura 10D). No obstante, para el tratamiento de estrés hídrico estos resultados no son coincidentes, dado que estos genotipos si presentan diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

A los 101 DDT todos los genotipos presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el tratamiento de déficit hídrico y el testigo. Sin embargo, la biomasa aérea de los genotipos 1, 3, 9 y 22 fue afectada en menor medida por el estrés hídrico, en comparación con los genotipos 5 y 18, por lo que estos últimos demostraron ser más susceptibles al efecto del estrés hídrico.

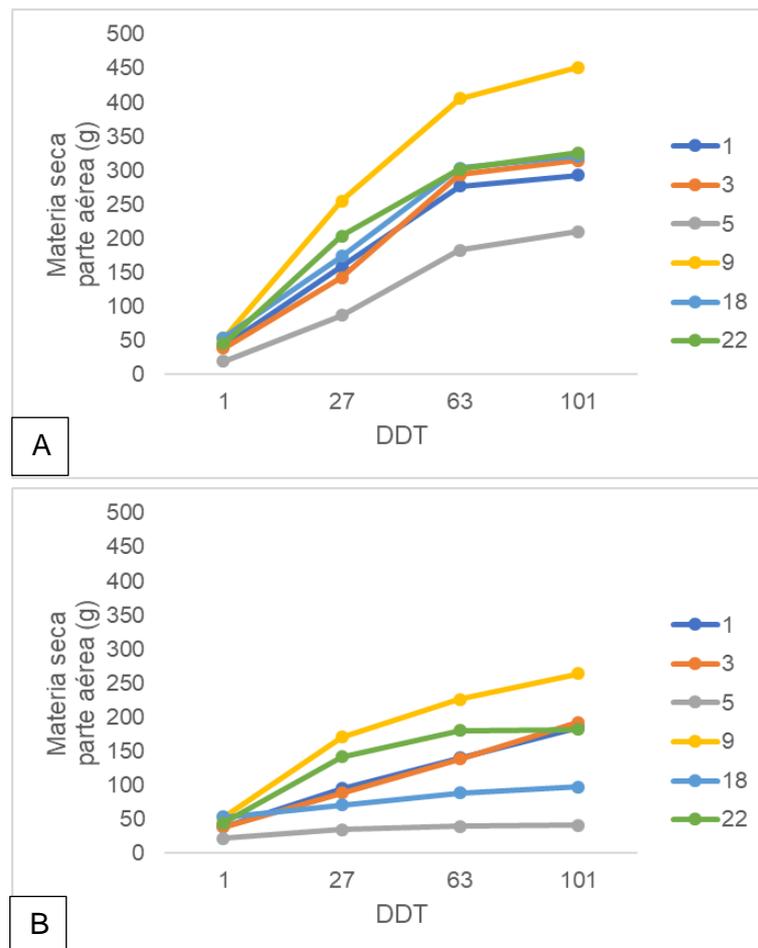


Figura 9: Curvas de acumulación de materia seca de tejidos aéreos para cada genotipo evaluado sin restricción hídrica (A) y con estrés hídrico (B) durante el ciclo de cultivo



EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DIFERENCIAL DE SEIS GENOTIPOS DE *LEPTOCHLOA CRINITA* AL ESTRÉS HÍDRICO

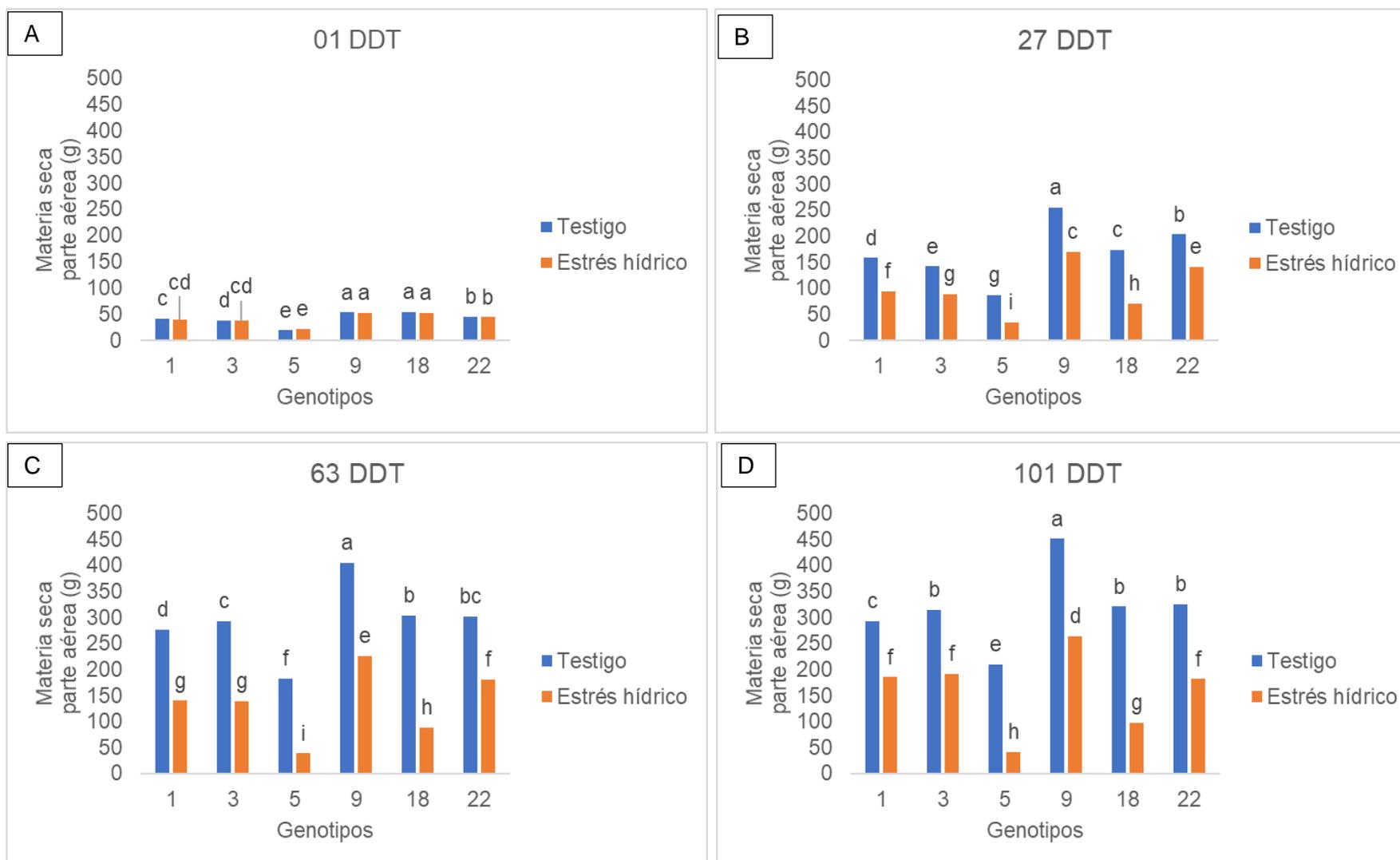


Figura 10: Valores promedio de acumulación de materia seca de tejidos aéreos para cada genotipo de *L. crinita* bajo estrés hídrico y testigo a los 1, 27, 63 y 101 DDT (A, B, C y D respectivamente). Medias con una letra común no son significativamente diferentes según test de Tukey ($p > 0.05$).



Raíces:

Se observó una menor acumulación de materia seca en el sistema radical de todos los genotipos bajo estrés hídrico, respecto al testigo. La mayor acumulación de materia seca en raíz a los 101 DDT se presentó en los genotipos 5, 9 y 18 en el tratamiento testigo, con 76.2, 74.3 y 74.2 g por planta respectivamente (Figura 12 D).

Los genotipos 9 y 22 presentaron mayores valores en condiciones de estrés hídrico con 47.2 y 47.7 g, respectivamente. Mientras que el genotipo 5, fue el que presentó valores inferiores a lo largo de todo el ensayo, en comparación a los demás genotipos evaluados.

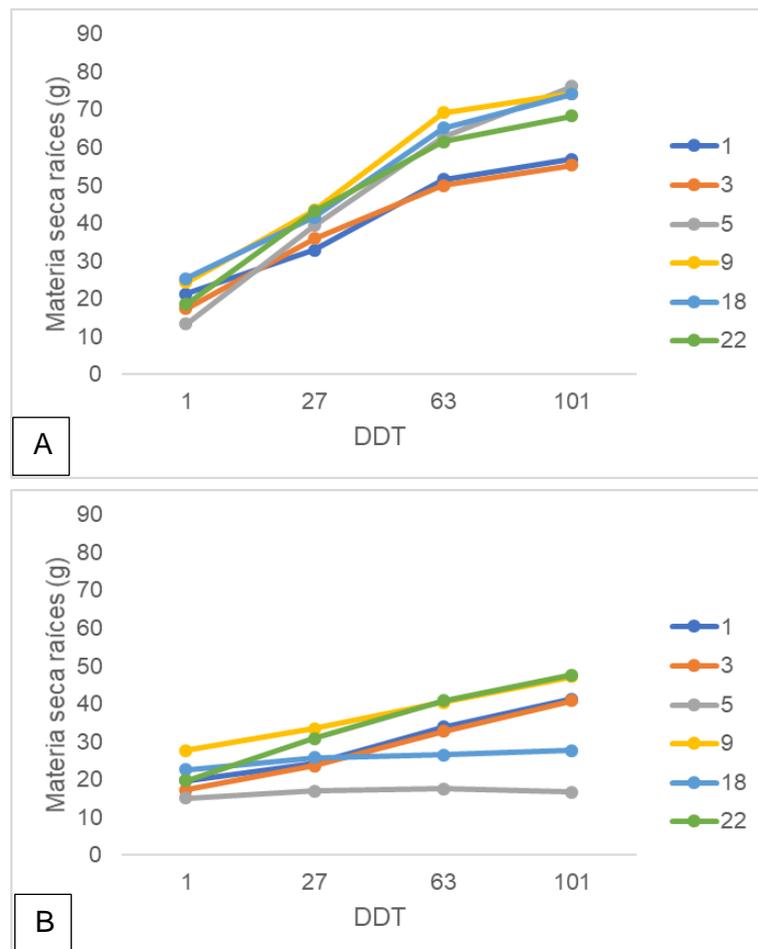


Figura 11: Curvas de acumulación de materia seca de raíces para cada genotipo evaluado sin restricción hídrica (A) y con estrés hídrico (B) durante el ciclo de cultivo



EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DIFERENCIAL DE SEIS GENOTIPOS DE *LEPTOCHLOA CRINITA* AL ESTRÉS HÍDRICO

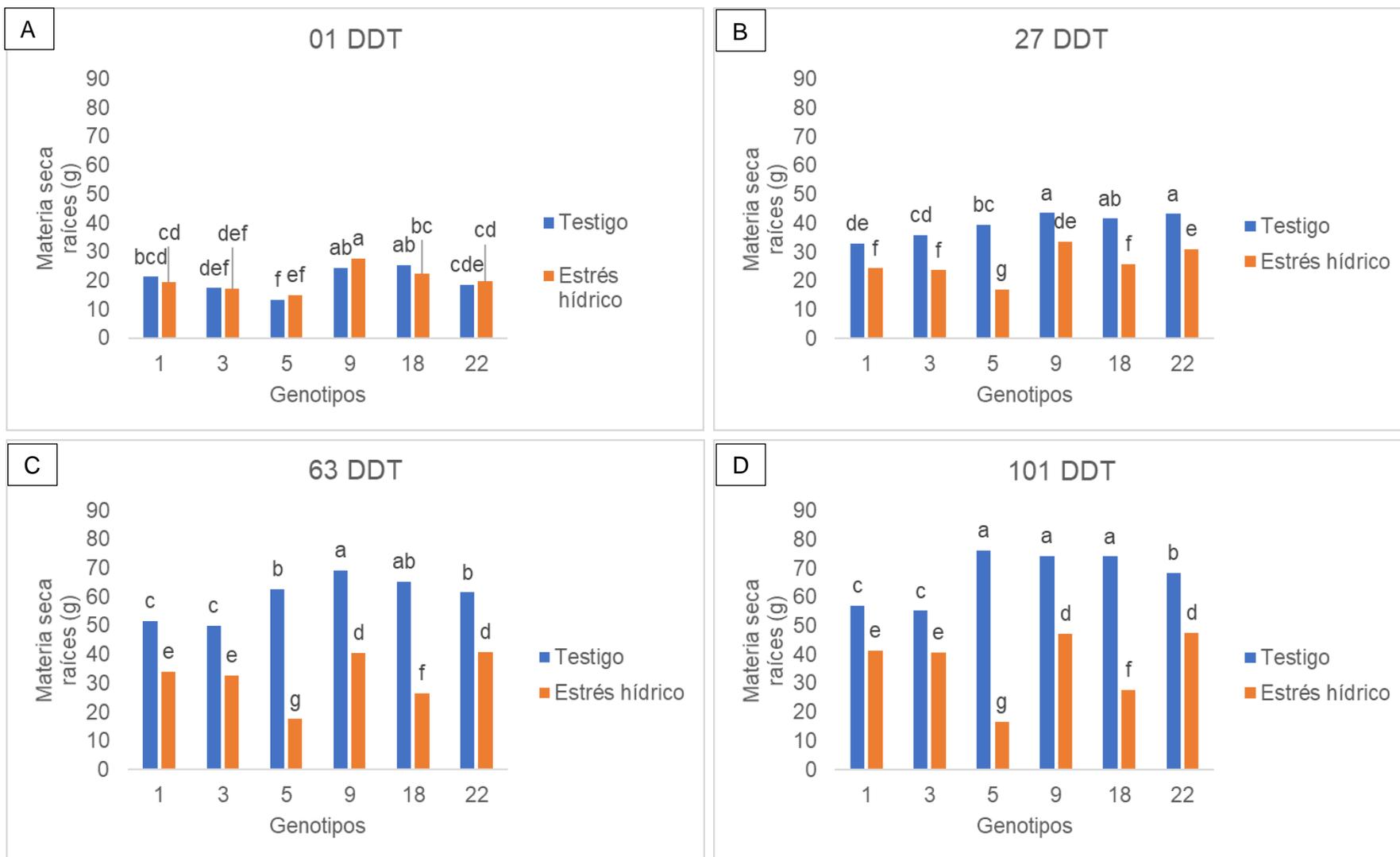


Figura 12: Valores promedio de acumulación de materia seca de raíces para cada genotipo de *L. crinita* bajo estrés hídrico y testigo a los 1, 27, 63 y 101 DDT (A, B, C y D respectivamente). Medias con una letra común no son significativamente diferentes según test de Tukey ($p > 0.05$).

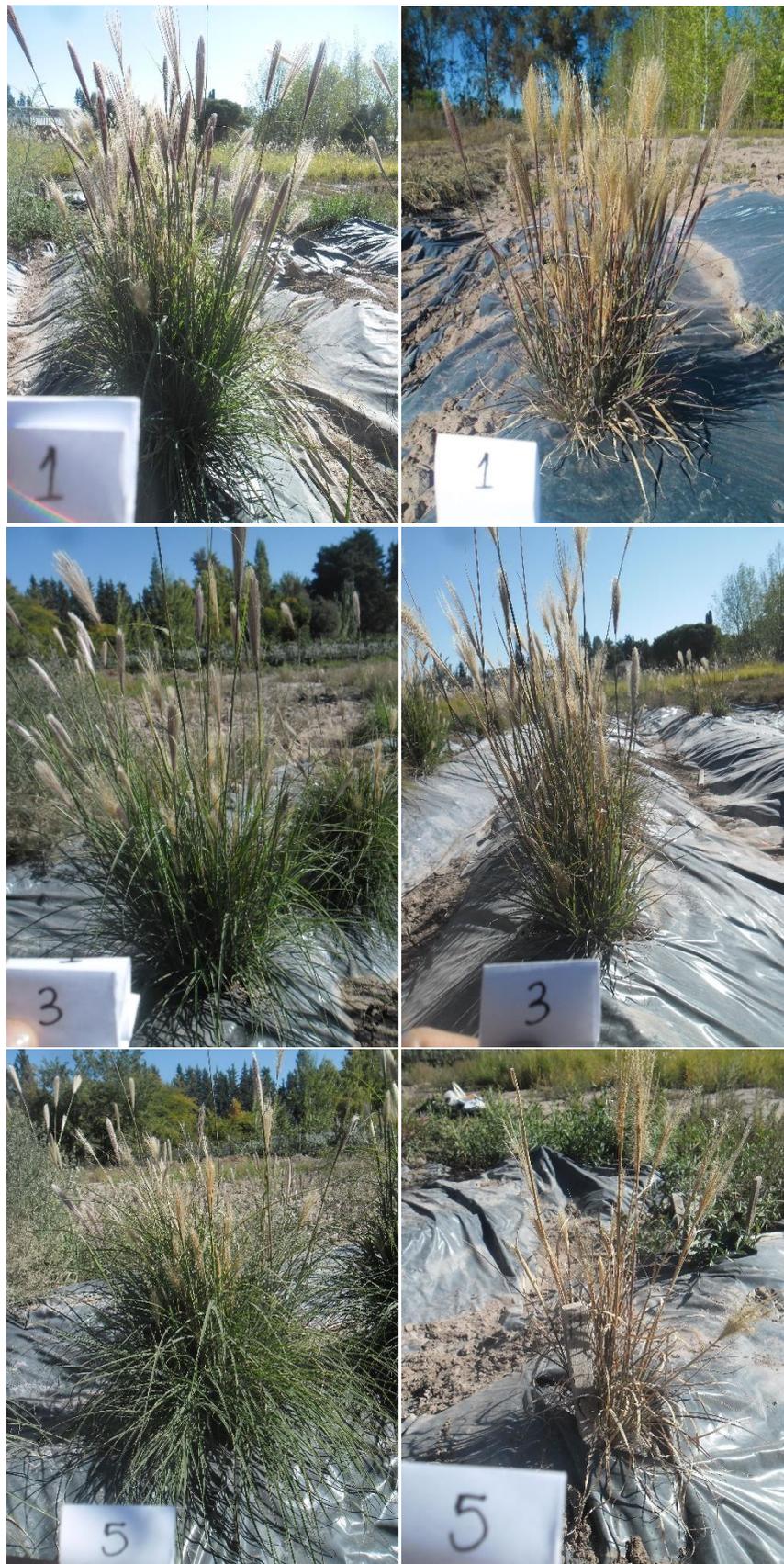


Figura 13: Genotipos 1,3 y 5 bajo tratamiento testigo (izquierda), genotipos 1,3 y 5 bajo tratamiento de estrés hídrico(derecha) a los 63 DDT (Fuente: propia).

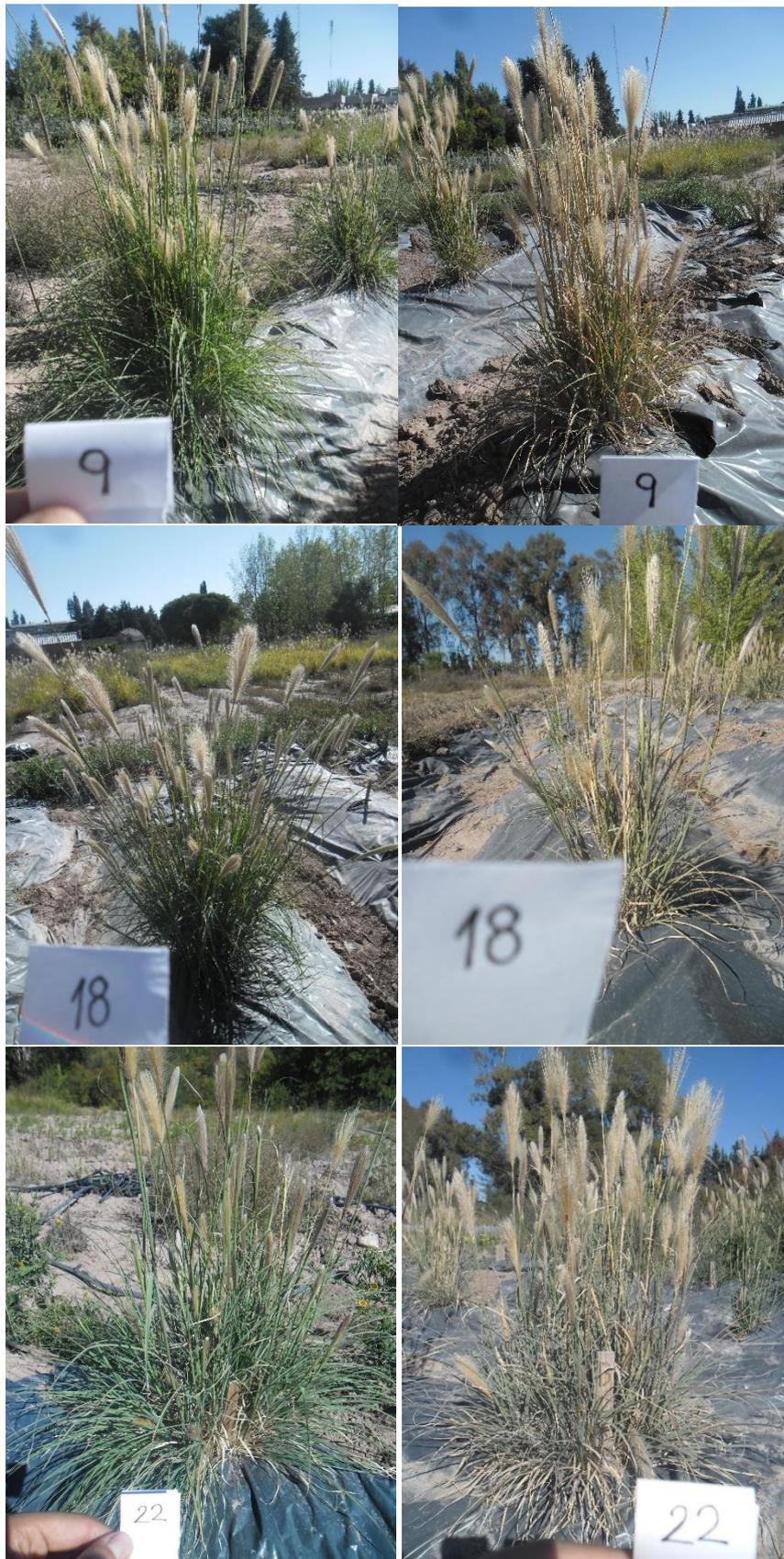


Figura 14: Genotipos 9,18 y 22 bajo tratamiento testigo (izquierda), genotipos 9, 18 y 22 bajo tratamiento de estrés hídrico (derecha) a los 63 DDT (Fuente: propia).



4.2. Partición de fotoasimilados

A lo largo del ciclo de cultivo de los genotipos de *L. crinita*, se determinó la partición relativa de fotoasimilados hacia las estructuras aéreas de la planta y hacia las raíces. En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos para la variable partición de fotoasimilados (%) luego de realizar el análisis estadístico mediante el ANOVA. Este se realizó para cada muestreo, considerando como fuentes de variación “tratamiento”, “genotipo”, “testigo” y la interacción entre ellos “genotipo × tratamiento” y “genotipo × tratamiento × tejido”.

En la tabla 4 se puede observar, que pasado 1 día de comenzado el tratamiento (testigo y estrés hídrico) se rechaza la hipótesis nula en el caso del “genotipo”, “genotipo × tratamiento” y para “genotipo × tratamiento × tejido”, pero se acepta en el caso del “tratamiento” y de “tejido”. Esto implica que no existe variabilidad entre los tratamientos de estrés hídrico y testigo en este punto, lo cual se explica porque todas las plantas se regaron de igual manera hasta este momento. A partir de los 27 DDT se rechaza hipótesis nula para todas las fuentes de variación. Esto determina que “genotipo”, “tratamiento”, “tejido” y las interacciones “genotipo × tratamiento” y “genotipo × tratamiento × tejido” presentan variabilidad. Sin embargo, a los 101 DDT la fuente de variación “genotipo × tratamiento” no presenta variabilidad.

Tabla 4: Resultados del ANOVA para la variable partición de fotoasimilados considerando como factores de variación “genotipo”, “tratamiento” y “tejido” y la interacción “genotipo × tratamiento” (dentro de cada tejido) y la triple interacción “genotipo × tratamiento × tejido” en los cuatro muestreos realizados ($\alpha=0.05$).

DDT	F.V.*	gl*	Estadígrafo F	p-valor
01	Genotipo	5	39.23	<0.0001
	Tratamiento	1	0.16	0.6913
	Tejido	1	1062.74	<0.0001
	Genotipo×Tratamiento	5	2.29	0.0808
	Genotipo×Tratamiento×Tejido	5	4.31	0.0027
27	Genotipo	5	334.48	<0.0001
	Tratamiento	1	100.51	<0.0001
	Tejido	1	1439.11	<0.0001
	Genotipo×Tratamiento	5	15.50	<0.0001
	Genotipo×Tratamiento×Tejido	5	19.61	<0.0001
63	Genotipo	5	802.49	<0.0001
	Tratamiento	1	691.44	<0.0001
	Tejido	1	2339.06	<0.0001
	Genotipo×Tratamiento	5	36.55	<0.0001
	Genotipo×Tratamiento×Tejido	5	30.07	<0.0001
101	Genotipo	5	147.93	<0.0001
	Tratamiento	1	57.01	<0.0001
	Tejido	1	2706.56	<0.0001
	Genotipo×Tratamiento	5	1.54	0.2196
	Genotipo×Tratamiento×Tejido	5	2.43	0.0494

*F.V.: Fuentes de variación; gl: grados de libertad

En la Figura 15 se puede observar la partición de materia seca hacia tejidos aéreos y raíces a los 1, 27, 63 y 101 días de comenzado el tratamiento. Los resultados demuestran que todos los genotipos particionaron significativamente ($p<0.05$) más a la parte aérea que a raíces, más allá del tratamiento en que se encontraban (estrés hídrico o testigo).



El genotipo 5 fue quien particionó mayor porcentaje de materia seca hacia raíces y menor porcentaje hacia tejidos aéreos en comparación de los demás genotipos. Esto se observa desde el primer día después de tratamiento hasta los 101 DDT y para los dos tratamientos (sin estrés hídrico y con estrés). Además, se observó que la partición de fotoasimilados de este genotipo no se vio afectada por el tratamiento de estrés hídrico, ya que particiona lo mismo hacia las diferentes estructuras se encuentre o no bajo este estrés.

A partir de los 27 DDT se observó que algunos genotipos particionaron de manera diferente la materia seca según el tratamiento. Mientras que otros genotipos no se vieron afectados y particionaron en igual proporción relativa hacia tejidos aéreos y raíces en ambos tratamientos (Figura 15).

A los 27 días de comenzado el tratamiento solo los genotipos 1 y 18 presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre los dos tratamientos, con mayor proporción de materia seca en raíces en el tratamiento de estrés hídrico (20.37% y 26.73% respectivamente). Los demás genotipos no presentaron diferencias significativas en los porcentajes de partición de asimilados entre los 2 tratamientos (Figura 15B).

En el tercer muestreo (63 DDT) sólo el genotipo 9 no presentó diferencias significativas, por lo tanto, es el único que no se vio afectado por el tratamiento de estrés hídrico, particionando en igual proporción los fotoasimilados hacia parte aérea (84.77%) y raíces (15.23%) que en el testigo. Los demás genotipos particionaron significativamente mayor porcentaje hacia raíces en condiciones de sequía, con excepción del genotipo 22 quien particionó más fotoasimilados hacia raíces en condiciones de buena disponibilidad hídrica (16.90%) (Figura 15C)

Por último, a los 101 DDT solo los genotipos 18 y 22 presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, destinando mayor porcentaje de materia seca hacia raíz en condiciones de estrés hídrico respecto al testigo regado. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos para los demás genotipos.



EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DIFERENCIAL DE SEIS GENOTIPOS DE LEPTOCHLOA CRINITA AL ESTRÉS HÍDRICO

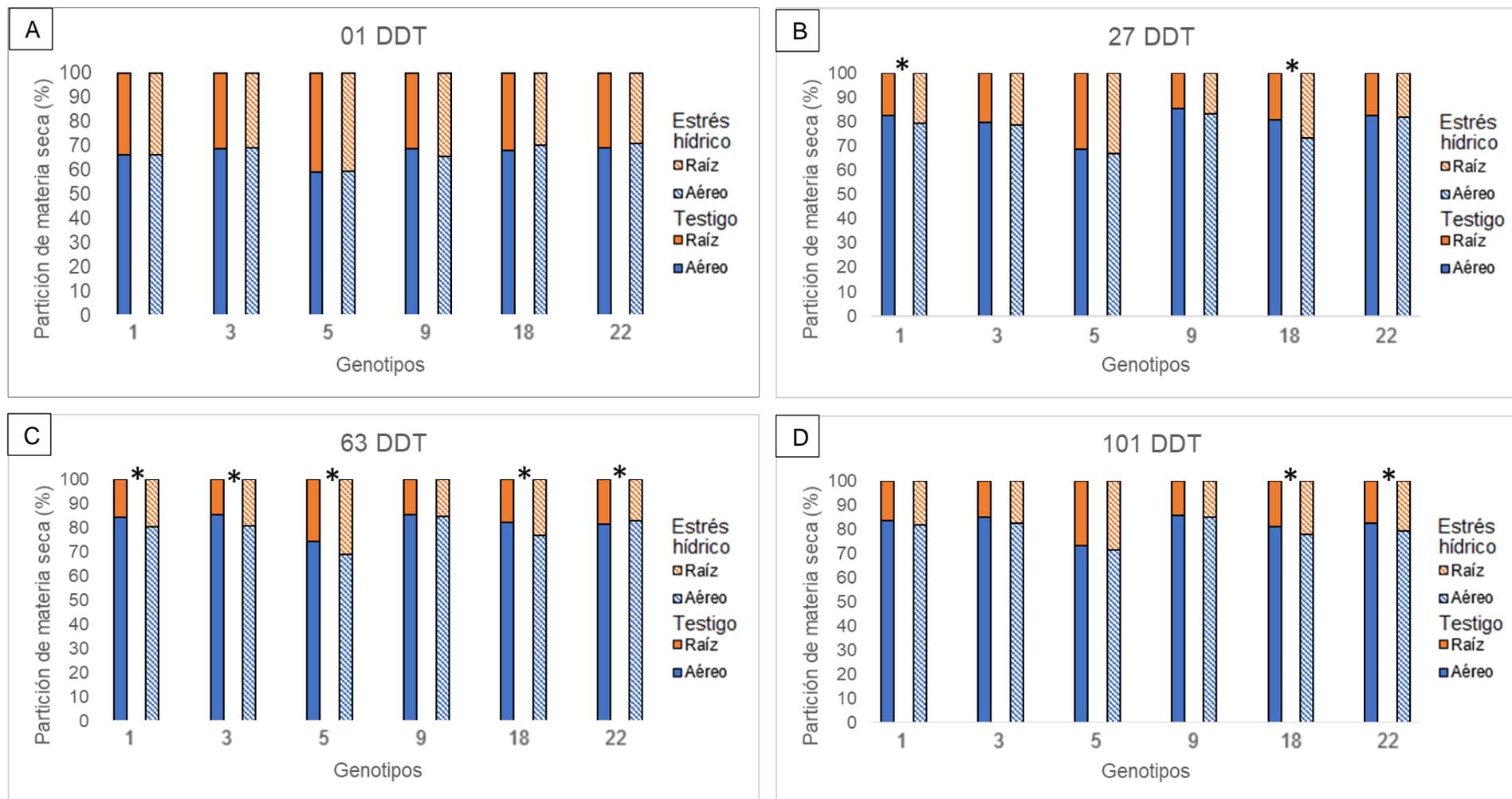


Figura 15: Partición de materia seca hacia tejidos aéreos y raíces para cada genotipo de *L. crinita* bajo estrés hídrico y testigo a los 1, 27, 63 y 101 DDT (A, B, C y D respectivamente).

* indica que hay diferencias significativas (test de Tukey $\alpha=0.05$) entre tratamientos



4.3. Área foliar

Se obtuvo el valor de área foliar total por planta para cada una de los 6 genotipos estudiados, tanto para el tratamiento testigo como para el de estrés hídrico. Asimismo, se analizaron los datos mediante la prueba de ANOVA (Tabla 5) y cuando las diferencias fueron significativas se utilizó el test de Tukey.

Para el primer muestreo realizado (1 DDT), se rechaza la hipótesis nula para los factores “genotipo” y “genotipo x tratamiento”, pero se acepta en el caso de “tratamiento”, que no presenta variabilidad significativa ($p=0.9859$) entre el tratamiento y el testigo (Tabla 5).

Para el caso de los siguientes muestreos (27, 63 y 101 DDT) se rechaza hipótesis nula para todas las fuentes de variación, por lo tanto, “genotipos”, “tratamientos” y la interacción “genotipo x tratamiento” presentan variabilidad significativa ($p<0.0001$).

Tabla 5: Resultados del ANOVA para la variable área foliar, para los días transcurridos después del tratamiento (DDT) ($\alpha=0.05$).

DDT	F.V.	gl	Estadístico F	p-valor
01	Genotipo	5	71.84	<0.0001
	Tratamiento	1	3.2E-04	0.9859
	Genotipo x Tratamiento	5	4.93	0.0035
27	Genotipo	5	509.73	<0.0001
	Tratamiento	1	959.40	<0.0001
	Genotipo x Tratamiento	5	37.61	<0.0001
63	Genotipo	5	142.09	<0.0001
	Tratamiento	1	1601.09	<0.0001
	Genotipo x Tratamiento	5	49.08	<0.0001
101	Genotipo	5	610.01	<0.0001
	Tratamiento	1	6820.88	<0.0001
	Genotipo x Tratamiento	5	150.75	<0.0001

*F.V.: Fuentes de variación; gl: grados de libertad

Según los resultados del ANOVA a partir de los 27 DDT comienzan a verse las diferencias entre el tratamiento de estrés hídrico y el testigo. Para el caso del testigo hubo una disminución en los valores de área foliar desde los 63 hasta los 101 DDT para los genotipos 1, 3 y 5. En el genotipo 9 esta disminución comenzó a observarse desde el segundo muestreo (27 DDT). Contrario a esta situación, el genotipo 18 se comportó aumentando el valor del área foliar a partir de los 27 DDT. Finalmente, el genotipo 22 presenta un comportamiento irregular a lo largo del ensayo (Figura 17). Para el testigo, el genotipo 9 obtuvo un valor de área foliar significativamente superior ($p<0.5$), respecto a los demás genotipos (Figura 16).

Bajo el tratamiento de estrés hídrico el área foliar disminuyó en todos los genotipos luego del primer muestreo (1DDT) (Figura 17). En estas condiciones el área foliar del genotipo 9 fue superior al de los otros genotipos a lo largo de todo el ensayo, mientras que el genotipo 5 fue el que presentó menor valor de área foliar.



EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DIFERENCIAL DE SEIS GENOTIPOS DE LEPTOCHLOA CRINITA AL ESTRÉS HÍDRICO

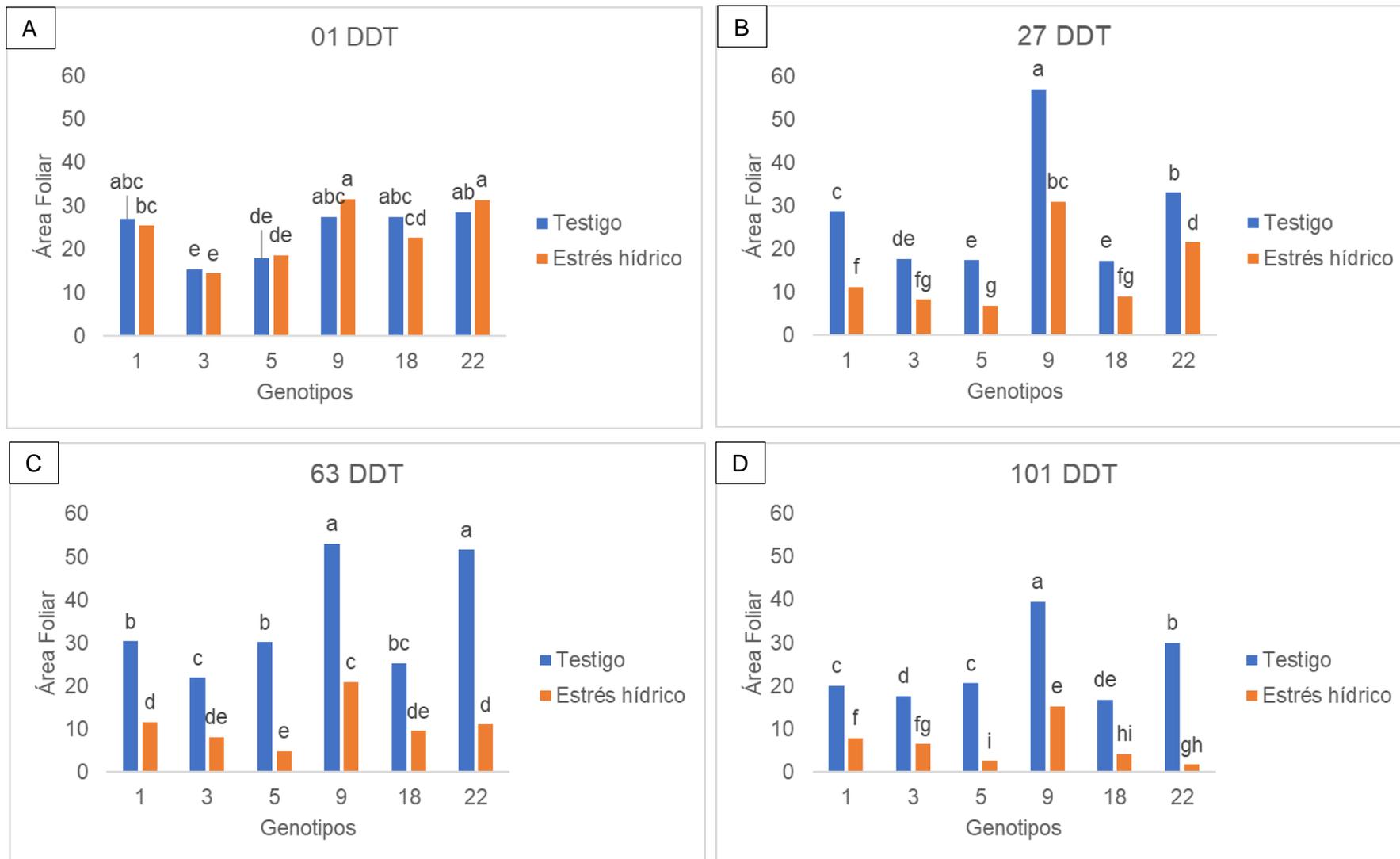


Figura 16: Valores promedio de área foliar para cada genotipo de *L. crinita* bajo estrés hídrico y testigo a los 1, 27, 63 y 101 DDT (A, B, C y D respectivamente). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

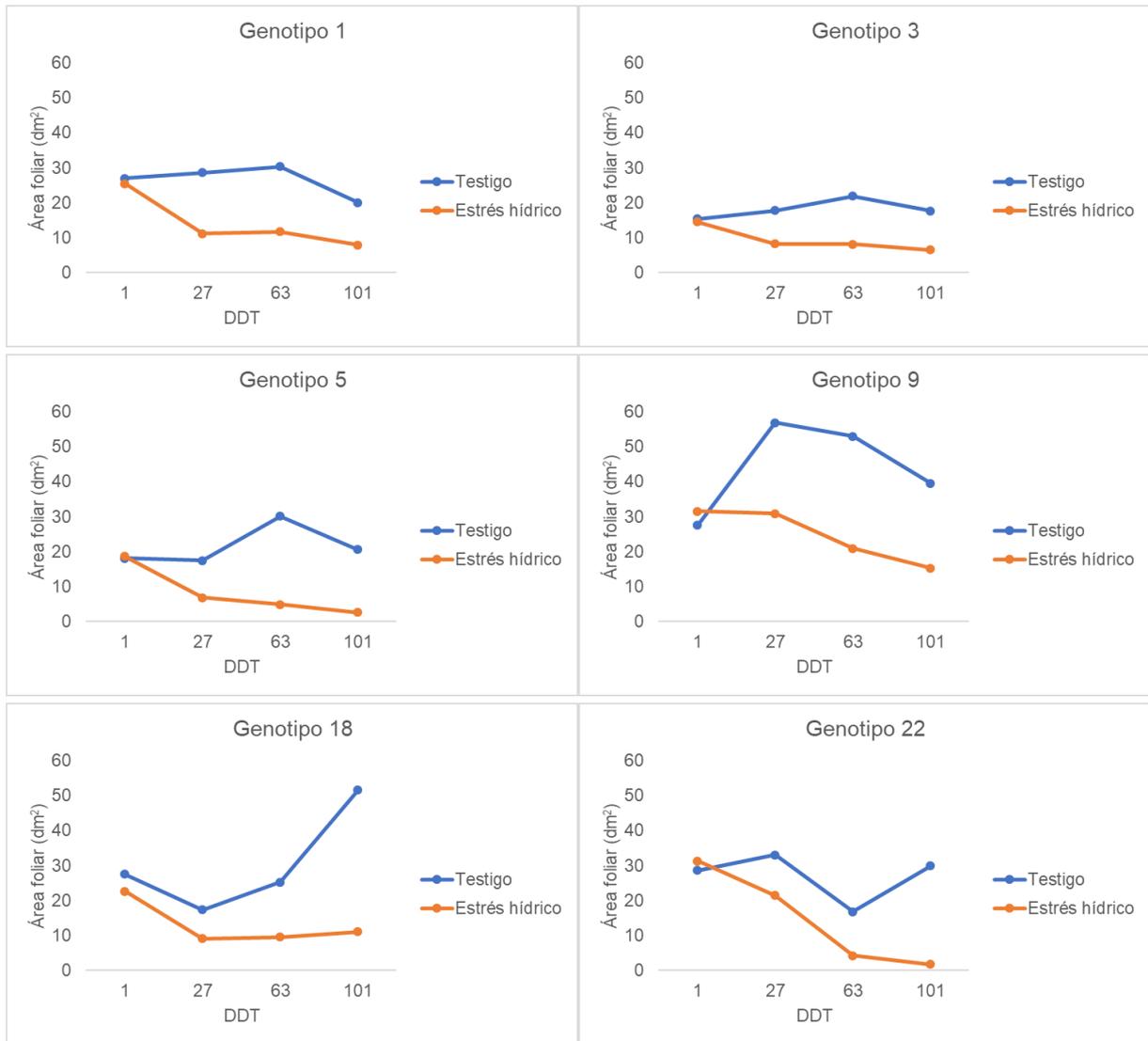


Figura 17: Variación del área foliar de los genotipos de *Leptochloa crinita* a lo largo de los días transcurridos DDT.

4.1. Conductancia estomática

Según los resultados del ANOVA se rechaza hipótesis nula para todas las fuentes de variación analizadas para la variable conductancia estomática. Esto indica que hay variabilidad entre los “genotipos”, los “tratamientos” y la interacción “genotipo x tratamiento”.

Tabla 6: Resultados del ANOVA para la variable conductancia estomática ($\alpha=0.05$).

Variable	F.V.*	gl*	Estadígrafo F	p-valor
Conductancia estomática	Tratamiento	1	2486.06	<0.0001
	Genotipo	5	28.94	<0.0001
	Genotipo x Tratamiento	5	12.67	<0.0001

*F.V.: Fuentes de variación; gl: grados de libertad

En la figura 18 se observa la dinámica de la conductancia estomática a lo largo del ciclo de cultivo para los 6 genotipos estudiados, tanto en condiciones de buena disponibilidad hídrica



(Figura 18A) como bajo estrés hídrico (Figura 18B). En el caso del testigo, se observó que en los genotipos 1 y 3 hubo un aumento de la conductancia estomática durante los primeros 14 DDT. La curva alcanzó un máximo de $49.4 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ para el genotipo 3. En los días que continuaron y hasta los 56 DDT, la conductancia estomática se mantuvo estable cerca de $40 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ para todos los genotipos excepto para el 5 que comenzó a disminuir paulatinamente hasta el final del ciclo. Luego de los 56 DDT la conductancia estomática comenzó a disminuir en los demás genotipos y continuó así hasta los 98 DDT. El genotipo 9 osciló en valores cercanos a los $40 \mu\text{mol.m}^2.\text{s}^{-1}$ hasta los 77 DDT y en los últimos días del ensayo disminuyó la conductancia estomática. Para finalizar, la curva de los genotipos 18 y 22 presentó similares características. Disminuyó la conductancia estomática hasta los 14 DDT, para luego producirse un aumento en la curva desde los 14 hasta los 49 DDT, finalmente comenzó a disminuir el valor en la variable hasta los 98 DDT.

En condiciones de estrés hídrico durante los primeros 7 DDT la conductancia estomática disminuyó bruscamente para todos los genotipos. Luego de los 7 DDT los genotipos 1,3 y 9 presentaron un aumento en el valor de la variable medida, sin embargo, este aumento no persistió durante el resto del ensayo, pero los valores de conductancia estomática de estos genotipos fueron superiores a los demás hasta el final del ciclo de cultivo. A partir de los 42 DDT comenzó a disminuir la actividad estomática, esta situación se mantuvo hasta que finalizó el estudio. Por otro lado, en los genotipos 5, 18 y 22 la conductancia estomática comenzó a reducirse paulatinamente desde los 7 hasta los 98 DDT (Figura 18B).

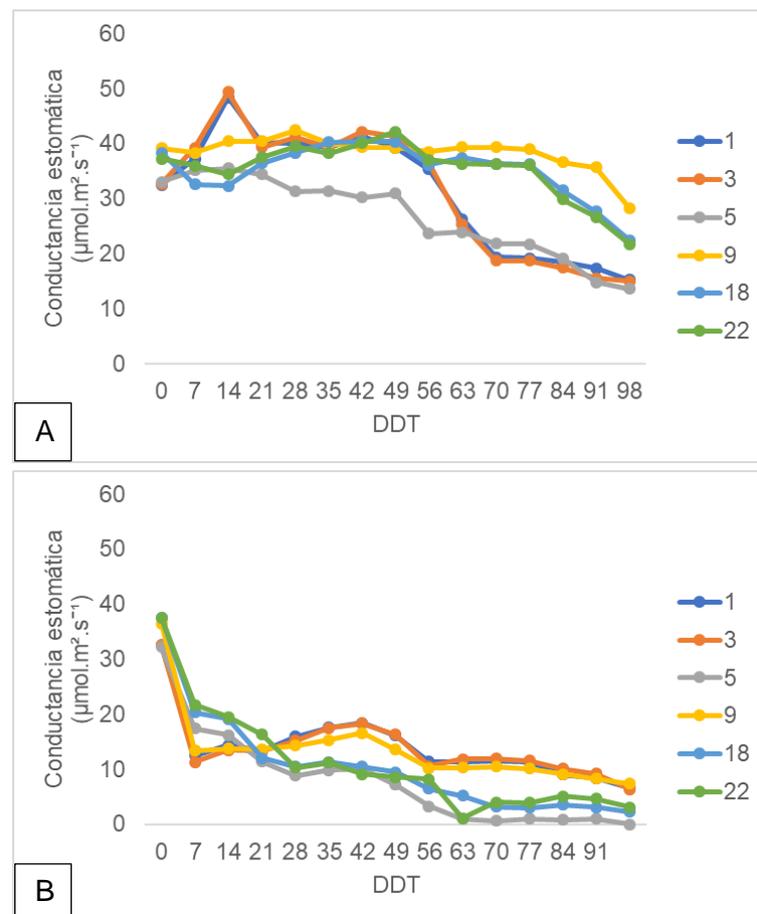


Figura 18: Curvas de conductancia estomática para cada genotipo evaluado sin restricción hídrica (A) y con estrés hídrico (B) durante el ciclo de cultivo.



La figura 19 presenta los resultados obtenidos del test de comparación de Tukey para la variable conductancia estomática a los 98 DDT. En la misma se observa que el genotipo 9 bajo el tratamiento testigo presenta significativamente el mayor valor de conductancia estomática respecto a los demás genotipos. Todos los genotipos bajo el tratamiento testigo, presentaron valores significativamente mayores que en el tratamiento de sequía. Respecto al tratamiento de estrés hídrico, los resultados de la prueba de Tukey indican que los genotipos con mayor conductancia estomática fueron 1, 3 y 9, mientras que en los genotipos 5, 18 y 22 la conductancia estomática fue significativamente menor.

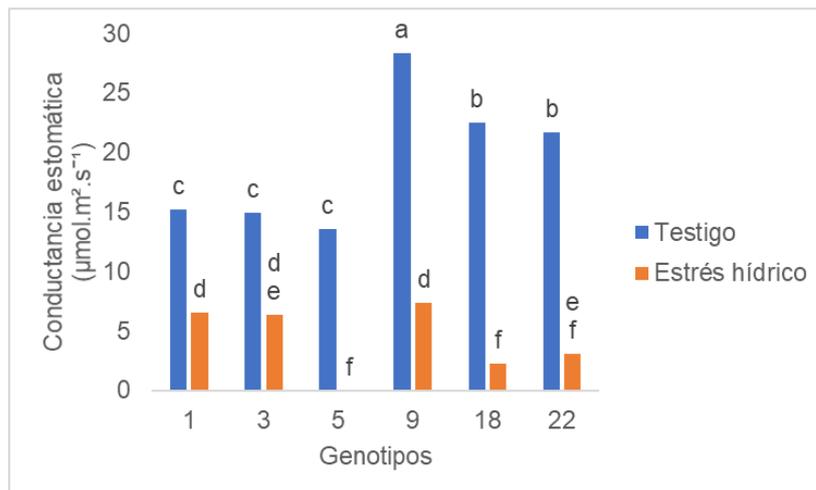


Figura 19: Valores de conductancia estomática para cada genotipo de *L. crinita*, para los 98 DDT. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

4.2. Índice de clorofila

Según los resultados del ANOVA se rechaza hipótesis nula para todas las fuentes de variación analizadas para la variable índice de clorofila. Esto indica que hay variabilidad entre los “genotipos”, los “tratamientos” y la interacción entre ellas.

Tabla 7: Resultados del ANOVA para la variable índice de clorofila ($\alpha = 0.05$).

Variable	F.V.*	gl*	Estadígrafo F	p-valor
Índice de clorofila	Tratamiento	1	402.35	<0.0001
	Genotipo	5	8.59	<0.0001
	Genotipo x Tratamiento	5	6.54	<0.0001

*F.V.: Fuentes de variación; gl: grados de libertad

En la comparación del contenido de clorofila de los 6 genotipos se puede observar que existe diferencia en sus valores de estrés hídrico respecto al testigo. En el tratamiento testigo los genotipos se mantienen fluctuando dentro del intervalo de 32 a 45 de unidades SPAD (Figura 20A). Según los resultados del test de comparación de Tukey (Figura 21) en el tratamiento testigo los genotipos que presentan mayor contenido de clorofila a los 98 DDT son el 1 y el 22 (ambos pertenecen al mismo rango de significancia).

En situación de estrés hídrico para todos los genotipos las curvas de SPAD presentan una tendencia de decrecimiento desde el comienzo del tratamiento (Figura 20B). No obstante, a partir de los 70 DDT, hubo una drástica disminución del contenido de clorofila. Por último, de los 77 hasta los 98 los valores de unidades de SPAD se mantuvieron relativamente constantes en cada uno de los genotipos estudiados. Por otro lado, ante esta situación de



EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA DIFERENCIAL DE SEIS GENOTIPOS DE LEPTOCHLOA CRINITA AL ESTRÉS HÍDRICO

estrés hídrico, los genotipos presentaron diferencias significativas finalizado el ensayo ($p < 0.05$) (Figura 21). El mayor contenido de clorofila se evidenció en los genotipos 1, 3 y 9, y el genotipo 5 fue el que menor contenido de clorofila presentó.

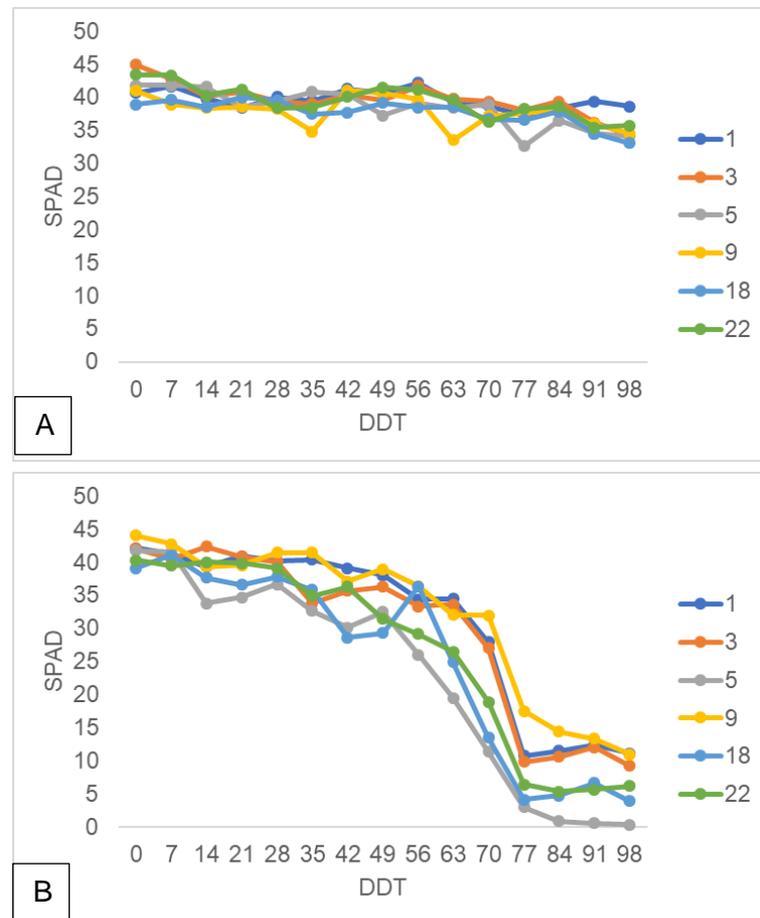


Figura 20: Curvas de índice de clorofila para cada genotipo evaluado sin restricción hídrica (A) y con estrés hídrico (B) durante el ciclo de cultivo.

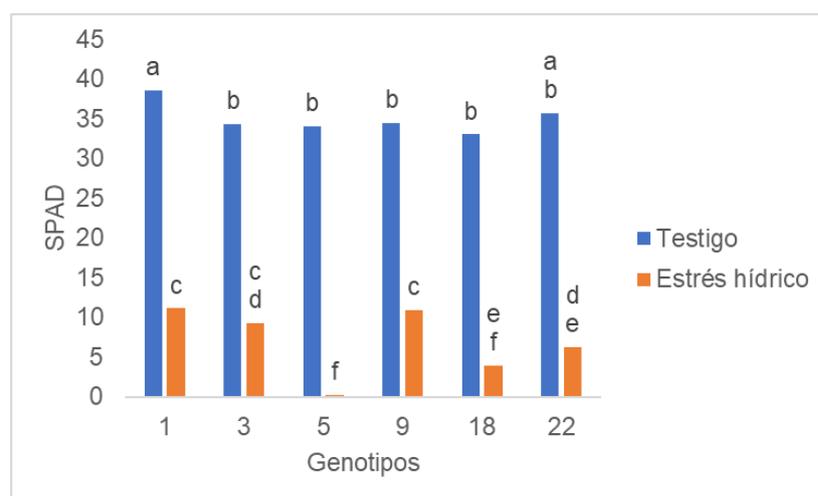


Figura 21: Valores de índice de clorofila para cada genotipo de *L. crinita*, para los 98 DDT. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).



4.3. Eficiencia fotoquímica del PSII

Según los resultados del ANOVA se rechaza hipótesis nula para todas las fuentes de variación analizadas para la variable fluorescencia de la clorofila. Esto indica que hay variabilidad entre los “genotipos”, los “tratamientos” y la interacción entre ellas.

Tabla 8: Resultados del ANOVA para la variable eficiencia del PSII ($\alpha=0.05$).

Variable	F.V.*	gl*	Estadístico F	p-valor
Fluorescencia de la clorofila	Tratamiento	1	249.15	<0.0001
	Genotipo	5	14.52	<0.0001
	Genotipo×Tratamiento	5	12.95	<0.0001

En el testigo, donde las plantas estaban hidratadas, los valores de fluorescencia oscilaron entre 0.70 a 0.78 para todos los genotipos a lo largo de todo el estudio (Figura 22A). Además, considerando los resultados del test de comparación de medias a los 98 días después que se inició el tratamiento (Figura 23), bajo estas condiciones, los valores de fluorescencia de la clorofila entre genotipos no son significativamente diferentes ($p<0.05$). Esto nos indica que los genotipos se comportaron de manera similar ante la situación de buena disponibilidad hídrica.

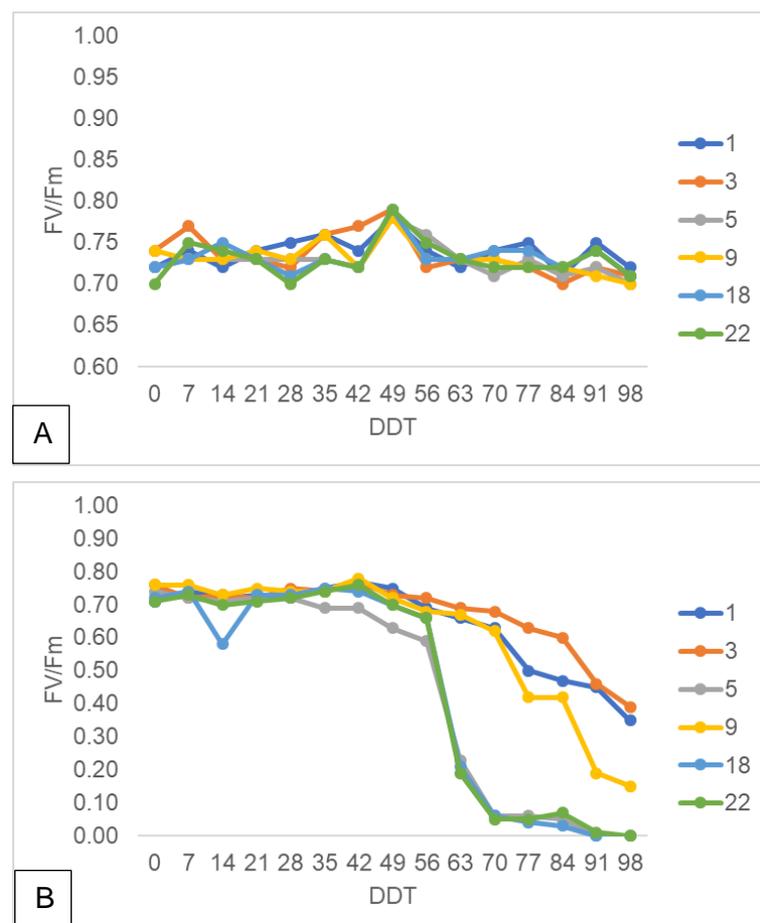


Figura 22: Curvas de eficiencia del PSII para cada genotipo evaluado sin restricción hídrica (A) y con estrés hídrico (B) durante el ciclo de cultivo.



En la figura 22B, se observa que bajo el tratamiento de estrés hídrico los valores de fluorescencia se encontraron en el intervalo 0.70-0.77 para todos los genotipos hasta los 28 DDT. El genotipo 5 presentó una disminución en los valores de fluorescencia de la clorofila a partir de los 28 días después de tratamiento, disminución que continuó hasta que terminó el ensayo. Mientras que los demás genotipos continuaron fluctuando en el intervalo 0.70-0.77 hasta los 49 DDT. A partir de los 56 días se observó una disminución del valor de fluorescencia a medida que las condiciones de déficit hídrico se fueron acentuando, donde se empezó a observar una diferente respuesta por genotipo. Finalizado el estudio (98 DDT) la diferencia entre los valores de fluorescencia ha sido significativa ($p < .05$), los genotipos 1 y 3 llegaron a valores próximos a 0.35, el genotipo 9 obtuvo un valor de fluorescencia de 0.15 y por último los genotipos que alcanzaron valores más bajos fueron el 5, 18 y 22 (Figura 22).

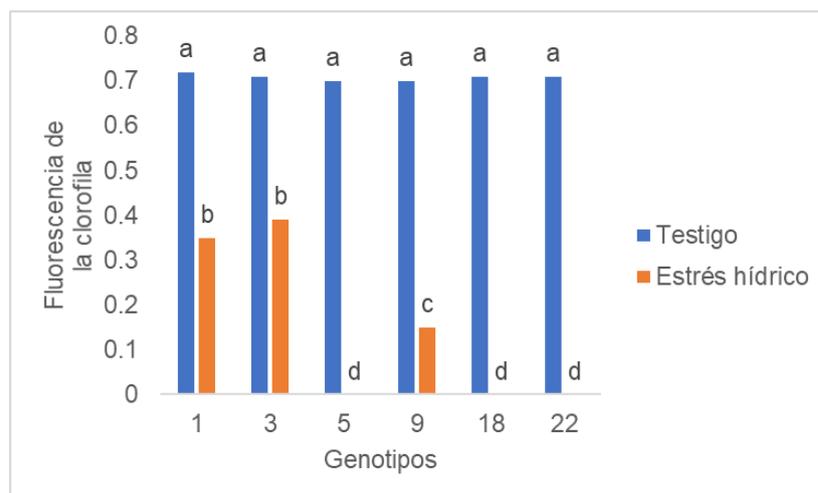


Figura 23: Valores de eficiencia del PSII para cada genotipo de *L. crinita*, para los 98 DDT. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

5. DISCUSIÓN

Diversas investigaciones han reportado evidencias de adaptaciones locales al estrés por sequía en *L. crinita* (Quiroga et al., 2013; Greco y Cavagnaro 2003) por ello es necesario determinar y comparar el efecto del estrés hídrico sobre algunos mecanismos fisiológicos e indicadores de daño oxidativo de genotipos de *Leptochloa crinita*, con el fin de identificar y seleccionar genotipos tolerantes para restaurar zonas áridas degradadas. En este trabajo se evaluó el efecto del déficit hídrico sobre 6 genotipos de *L. crinita* a campo, con las plantas expuestas a condiciones ambientales propias de un área abierta, tales como se encuentra en condiciones naturales.

Luego de someter a 6 genotipos de *L. crinita* a 101 días de estrés hídrico y compararlo con su respectivo testigo (sin estrés), y de realizar los correspondientes análisis estadísticos se resuelve aceptar la hipótesis planteada. Es decir que, la respuesta al estrés hídrico de *Leptochloa crinita* es genotipo-dependiente. Esta respuesta se manifiesta mediante la expresión diferencial de algunos mecanismos fisiológicos como la partición de fotoasimilados, modificaciones del área foliar y conductancia estomática, como así también de algunos indicadores de daño oxidativo como el índice de clorofila y la eficiencia fotoquímica del fotosistema II.

Para todas las variables evaluadas (excepto para partición de fotoasimilados en el último muestreo) se detectó interacción significativa de "tratamiento x genotipo". Esto implica, desde un punto de vista biológico, que ambos factores (tratamiento y genotipo) no actúan de



manera independiente para determinar los resultados obtenidos para cada una de las variables estudiadas. Por lo tanto, los resultados obtenidos de las variables analizadas dependieron tanto del tratamiento como de los genotipos actuando en conjunto y no independientemente. Esto implica que no todos los genotipos respondieron de la misma manera ante el estrés hídrico, sino que esta respuesta dependió de la interacción entre el genotipo en cuestión y si se encontraba o no bajo estrés hídrico.

Los 6 genotipos proceden de lugares donde la precipitación media anual es variable de un sitio a otro, lo que determina que los mecanismos fisiológicos estudiados como los indicadores de daño oxidativo tienen un fuerte componente genético y no ambiental.

El estrés hídrico redujo la acumulación de materia seca total, de tejidos aéreos y de raíces diferencialmente en los 6 genotipos evaluados cuando se comparan con el tratamiento testigo (Figura 8, 10 y 12). A su vez, el estrés produjo que todos los genotipos presentaran una disminución del área foliar desde el comienzo del tratamiento hasta su finalización, con más efecto en algunos genotipos (5, 18 y 22). Esto coincide con lo reportado por Greco y Cavagnaro (2003, 2005) y Golberg et al. (2011) quienes han determinado que el área foliar es una de las variables que resulta más afectada por el estrés hídrico. La reducción del área foliar es una de las primeras líneas de defensa frente a la sequía, puesto que un área foliar menor permite que la planta transpire menos y permite conservar de forma eficaz un aporte limitado de agua en el suelo (Taiz y Zeiger, 2006).

En lo que respecta a la materia seca total, el genotipo que mayor valor de la variable presentó fue el 9, para los dos tratamientos realizados. La mayor acumulación de materia seca total puede estar asociada con una mayor tasa de desarrollo del área foliar, un área foliar total mayor, una morfología particular y disposición espacial de las hojas que permiten una mayor eficiencia en la intercepción de luz por las hojas; como lo observado por Greco y Cavagnaro (2005). El genotipo 9 a su vez tuvo buen desarrollo de área foliar tanto en estrés hídrico como en el testigo.

El genotipo 5 en ambos tratamientos presentó la menor acumulación de materia seca total y a los 101 DDT obtuvo un área foliar menor a los demás genotipos. Greco y Cavagnaro (2005) reportan que una menor acumulación de materia seca en condiciones de estrés hídrico está asociado a un área foliar más pequeña, un desarrollo más lento del área foliar y a una mayor proporción de raíces. Sin embargo, bajo las condiciones experimentales del presente estudio esto no se cumplió y se observó que el genotipo 5 (de menor acumulación de biomasa) se vio afectado significativamente por el estrés hídrico-

Por lo tanto, haciendo una asociación entre productividad y el área foliar se puede decir que genotipos más productivos poseen una mayor área foliar ya que esto les asegura una mayor intercepción de la luz, y en consecuencia tienen mayor superficie capaz de realizar fotosíntesis. Tal como puede observarse para el genotipo 9 bajo estudio. En otras especies de gramíneas como, *Lolium perenne*, *L. multiflorum*, *Festuca arundinacea* y varias especies de *Dactylis* también se encontró que las variedades y genotipos con mayor rendimiento fueron los que tuvieron la expansión de hojas más rápida (Norris y Thomas, 1982).

Cavagnaro et al. (2006) expusieron que, en los genotipos más productivos, mantienen sus características de producción de biomasa aérea bajo diferentes ambientes, esto concuerda con los resultados obtenidos en nuestro estudio para el genotipo 9. El mismo presentó la mayor acumulación de materia seca en los tejidos aéreos (451.5 g en condiciones normales de riego y con 263.9 g en presencia de estrés hídrico), de esta forma fue el genotipo con mayor desarrollo de follaje o aparato fotosintético (Figura 10). Además, este genotipo fue quien particionó una mayor proporción relativa hacia tejidos aéreos. Mientras que, genotipos menos productivos, como el 5, particionó más hacia raíces.



Para la variable materia seca radical, se observó que, respecto al testigo, todos los genotipos redujeron la acumulación de materia seca en el sistema radical en condiciones de estrés hídrico. En el testigo, los genotipos 5, 9 y 18 fueron los de mayor valor (76.2 g, 74.3 g y 74.2 g respectivamente). Para la misma variable en condiciones de sequía una respuesta similar se encontró en los genotipos 9 (47.2 g) y 22 (47.7 g), en las cuales se registró mayor peso seco de raíz. Estos resultados no coinciden con lo expuesto por Golberg et al. (2011), quienes sostienen que una mayor producción de biomasa subterránea en condiciones de sequía se debe principalmente a la necesidad de explorar el suelo en busca de un recurso escaso, otorgando a la planta la posibilidad de sobrevivir en un ambiente estresante.

Greco y Cavagnaro (2003) estudiaron la partición de asimilados a los diferentes órganos de la planta en 3 genotipos de *L. crinita*, encontrando que la misma no era afectada por el estrés hídrico, sino la relación vástago/raíz. Sin embargo, Vega Riveros et al. (2020) reportaron que esta especie repartía más biomasa a la raíz en condiciones de sequía. Esto se debe a que, ante situación de estrés hídrico, el crecimiento de las hojas es afectado más rápidamente que la fotosíntesis, lo cual contribuye a que la planta derive mayor cantidad de fotoasimilados hacia las raíces, favoreciendo el crecimiento de estas últimas por sobre el de la parte aérea (Golberg et al., 2011).

En este trabajo se encontró que la partición de fotoasimilados hacia raíz depende de la interacción entre varios factores, como son el tratamiento y el genotipo. El genotipo 22 al inicio del tratamiento particionaba en mayor proporción hacia raíces en el testigo, pero a partir de los 63 DDT comenzó a particionar en mayor proporción hacia raíces bajo estrés hídrico, por lo cual para este genotipo la partición de fotoasimilados depende también de cuantos días transcurrieron desde su último riego y el avance del estrés hídrico. En cambio, en otros genotipos se observó que a partir de los 27 DDT particionaron significativamente más a raíz cuando estaban bajo estrés hídrico (genotipo 1 y 18), sin embargo, esto no se mantuvo a lo largo del ensayo, ya que en estos genotipos que se habían detectado diferencias entre los tratamientos, en muestreos posteriores no lo hicieron.

En el último muestreo (101 DDT) los genotipos que mostraron las menores pérdidas en materia seca por efecto del estrés hídrico y menor variación del área foliar respecto a su testigo fueron el 1 y el 3. Asimismo, estos genotipos no presentaron diferencias estadísticas significativas para cada tratamiento en lo que respecta a la variable partición de fotoasimilados. Por lo tanto, estos genotipos podrían considerarse “tolerantes” al estrés hídrico, ya que no se ven significativamente afectados por el tratamiento de estrés hídrico. Mientras que, los genotipos 5 y 18 bajo estrés hídrico presentaron valores significativamente menores ($p < 0.05$) que sus testigos y se consideran genotipos más susceptibles al estrés hídrico.

Flexas y Medrano (2002) describieron que la conductancia estomática es un indicador del estrés hídrico de la planta, y que es uno de los primeros parámetros afectados por este tipo de estrés. El estrés hídrico induce la disminución de la conductancia estomática y, por consiguiente, el cierre estomático generado por el aumento del ácido abscísico en las hojas, reduciendo la presión parcial interna de CO_2 y la fotosíntesis.

En la figura 18 se observa como la conductancia estomática fue disminuyendo, en los muestreos sucesivos a medida que el estrés hídrico se fue haciendo más intenso. En el caso de las plantas testigos, la conductancia estomática fue también decreciente, pero se mantuvo constante en muchos genotipos por más tiempo antes de disminuir. En todos los muestreos la conductancia estomática de los genotipos bajo el tratamiento testigo fue más alta que la conductancia estomática de los genotipos que se sometieron a estrés hídrico. Esto muestra el efecto negativo que ejerció el estrés hídrico sobre la conductancia estomática en todos los genotipos tratados. En el tratamiento de estrés hídrico en los



genotipos 1, 3 y 9 la conductancia estomática disminuyó rápidamente al comenzar el tratamiento, pero luego se mantuvo en el tiempo con valores más altos que en los genotipos 5, 18 y 22. Mientras que en estos últimos la conductancia estomática fue disminuyendo durante todo el tratamiento.

El contenido en clorofilas de las plantas se ha relacionado con la tolerancia a la sequía en diversas especies. En trigo se ha observado la existencia de variabilidad entre distintos genotipos en cuanto al contenido en clorofilas (Morgan y Lecain, 1991). En cebada también existe variabilidad para este carácter (González Rodríguez, 2004). En estos cultivos se ha comprobado que el mantenimiento de la clorofila es esencial para la actividad fotosintética en condiciones de estrés (González Rodríguez, 2004).

En la figura 20 se observa como el contenido en clorofila fue significativamente más alto en el tratamiento testigo que en el tratamiento de estrés hídrico en todos los muestreos. Estas diferencias fueron más importantes a los 42 DDT, cuando el estrés fue más severo y la bajada en el contenido en clorofila en el tratamiento de estrés fue mayor. Los genotipos que tuvieron valores de contenido en clorofilas significativamente más altos en condiciones de estrés hídrico fueron el 1, 3 y 9.

La existencia de estrés hídrico causa la disminución de la eficiencia del PSII. En este trabajo el valor de la relación F_v/F_m alcanzó valores máximos próximos a 0.78 en condiciones de estrés hídrico y en el testigo. Estos valores son algo inferiores a los reportados por Björkman y Demming (1987), quienes consideraron un valor de 0.83 como óptimo para un gran número de especies.

Estudios en otras especies también han demostrado que F_v/F_m no cambia hasta que se imponga un déficit hídrico de moderado a severo (Pankovic et al., 1999), razón por la cual en nuestro ensayo en condiciones de estrés hídrico el valor de la variable no comenzó a disminuir hasta los 49 DDT.

Los genotipos que alcanzaron mayor valor de fluorescencia de clorofila finalizado el ensayo, en déficit hídrico fueron el 1 y el 3. Según Silva et al. (2007), la capacidad de mantener altos valores de F_v/F_m en condiciones de estrés causadas por la deficiencia de agua indica que la planta mantiene una alta eficiencia en el uso de la radiación para la asimilación de carbono.

6. CONCLUSIONES

Se logró identificar genotipos de *L. crinita* más tolerantes al estrés hídrico, estudiando diferentes mecanismos fisiológicos. Los genotipos 9, 18 y 22 fueron superiores en acumulación de materia seca sin estrés, en cambio, con estrés hídrico, los genotipos de mejor performance fueron el 1 y 3 junto con el 9 que también en estrés hídrico alcanzó valores altos de acumulación de materia seca. Además de esto, dichos genotipos presentaron valores mayores de área foliar, mayor conductancia estomática, índice de clorofila y eficiencia del fotosistema II demostrando estar mejor adaptados a la situación a la que fueron expuestas.

A modo de resumen:

- La producción de materia seca y la partición de fotoasimilados bajo estrés hídrico fue genotipo-dependiente.
- Genotipos más tolerantes mantuvieron una mayor área foliar
- Genotipos más tolerantes obtuvieron mayor valor de conductancia estomática al final del ciclo de cultivo que los genotipos menos tolerantes



- Genotipos más tolerantes presentaron mayor índice de clorofila
- Genotipos más tolerantes obtuvieron mayor valor de Fv/Fm

La Agenda 21 dentro de las medidas tendientes a minimizar los peligros de la desertificación propone la restauración ecológica como mecanismo para mantener la cubierta vegetal para estabilizar y proteger el suelo (INCD, 1994). Una forma de restauración es la revegetación con especies nativas, donde se intenta restablecer las comunidades vegetales llevándolas a un estado lo más próximo posible al que existía previo al impacto (Dalmasso, 2010). Cabe destacar que es importante trabajar con especies vegetales autóctonas de la zona, ya que además de ser valiosos recursos genéticos, estas manifiestan gran adaptación a las condiciones ambientales locales, requieren menos agua, cuidado y mantenimiento que las especies exóticas (Dalmasso y Carretero, 2013). Por consiguiente, estudios como el de esta tesis son importantes a la hora de tomar decisiones respecto a la recuperación o restauración de zonas degradadas, ya que es necesaria la selección de especies y genotipos con mejor rendimiento ante condiciones estresantes del ambiente.

En definitiva, ya que *L. crinita* es un componente importante del estrato herbáceo del Monte, y algunos de los genotipos estudiados presentaron buen desempeño bajo condiciones de estrés hídrico, se puede concluir que los genotipos 1, 3 y el 9 son factibles de ser utilizados en programas de restauración de ambientes naturales degradados de la región del Monte, ya que estos sitios se encuentran sometidos a déficit hídrico en forma continua. Asimismo, por la baja demanda hídrica que presentan estos genotipos, cabe la posibilidad de ser utilizados como cultivos de cobertura en el sitio interfilar de viñedos bajo riego por goteo. Por otro lado, el genotipo 9 demostró ser muy productivo aun en condiciones de estrés hídrico por lo que puede ser utilizado en zonas de baja precipitación como forraje para el ganado.



7. BIBLIOGRAFÍA

- ABRAHAM, E. M. (2002). *Lucha contra la desertificación en las tierras secas de Argentina. El caso de Mendoza*. El agua en Iberoamérica, 27-44.
- BASIGALUP D. H. (2007). *Mejoramiento genético y desarrollo de variedades*. En: Basigalup, D.H. (ed). El cultivo de la alfalfa en la Argentina. Ediciones INTA. pp. 81.
- BIGANZOLI, F., Y ZULOAGA, F. (2015). *Análisis de diversidad de la familia Poaceae en la región austral de América del Sur*. Rodriguésia, 66(2), 337-351. <https://dx.doi.org/10.1590/2175-7860201566205>
- BJÖRKMAN, O., Y DEMMIG, B. (1987). *Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins*. Planta, 170(4), 489-504.
- CABRERA, A. (1971). *Fitogeografía de la República Argentina*. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 1971; 14: 1-42.
- CALLEJAS, R., KANIA, E., CONTRERAS, A., PEPPI, C., MORALES, L. (2013). *Evaluación de un método no destructivo para estimar las concentraciones de clorofila en hojas de variedades de uva de mesa*. Idesia (Arica), 31(4), 19-26.
- CAÑAS, D. G. (2017). *Distribución, migración e invasión de gramíneas C₃ y C₄ en los Andes Septentrionales: ¿una respuesta al cambio climático?* Simposio Nacional de Evolución, Ecología y Medio Ambiente.
- CASIERRA-POSADA, F., ÁVILA-LEÓN, O., RIASCOS-ORTÍZ, D. (2012). *Cambios diarios del contenido de pigmentos fotosintéticos en hojas de caléndula bajo sol y sombra*. Temas Agrarios, 17(1), 60-71. <https://doi.org/10.21897/rta.v17i1.697>
- CATALINA TOMÁS, Á. (2015). *Utilización de medidas de fluorescencia de la clorofila para monitorizar el estado nutricional y estimar el potencial enológico en viñedos afectados por clorosis férrica* [Tesis doctoral]. Universidad de Valladolid.
- CAVAGNARO, J. B., TRIONE, S. O. (2007). *Physiological, morphological and biochemical responses to shade of Trichloris crinita, a forage grass from the arid zone of Argentina*. Journal of Arid Environments, 68, 337–347.
- CAVAGNARO, J.B. (1988). *Distribution of C₃ and C₄ grasses at different altitudes in a temperate arid region of Argentina*. Oecologia (Berlin) 76:273-277.
- CAVAGNARO, J.B., LEMES, J., VENTURA, J.L., AND PASSERA, C.B. (1989). *Variabilidad ecotípica y producción forrajera de Trichloris crinita*. 14 Congreso de Producción Animal. Revista Asociación Argentina de Producción Animal (supl 1).
- CAVAGNARO, P. F., CAVAGNARO, J. B., LEMES, J. L., MASUELLI, R. W., Y PASSERA, C. B. (2006). *Genetic diversity among varieties of the native forage grass Trichloris crinita based on AFLP markers, morphological characters, and quantitative agronomic traits*. Genome, 49, 906–918
- DALMASSO, A. D. (2010). *Revegetación de áreas degradadas con especies nativas*.



DALMASSO, A. D., Y CARRETERO, E. M. (2013). *Revegetación de áreas degradadas. Estudio de caso en plataformas petroleras en Malargüe, Mendoza*. Restauración Ecológica en la Diagonal Árida de la Argentina. Vázquez Mazzini, Buenos Aires, 275-292.

DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZÁLEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. (2018) *InfoStat versión 2018*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <https://www.InfoStat.com.ar>

DI RIENZO JA; MACCHIAVELLI RE; CASANOVES F. (2017). *Modelos Lineales Generales Mixtos: Aplicaciones en InfoStat*. Grupo InfoStat, Córdoba, Argentina

FERNÁNDEZ CIRELLI, A., VOLPEDO, A. V. (2002). *Las tierras secas de Iberoamérica. El agua en Iberoamérica; de la escasez a la desertificación*. CYTED XVII, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Aprovechamiento y Gestión de los Recursos Hídricos. (A. Fernandez Cirelli y E. Abhan, Eds.). Publ. CYTED XVII y CETA, 11.

FERNÁNDEZ GÁLVEZ, J. (2010). *El recurso suelo-agua en medios áridos y semiáridos*. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/29768/18/fernandez.pdf>

FLEXAS, J., Y MEDRANO, H. (2002). *Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited*. *Annals of botany*, 89(2), 183-189.

FLORES ASIN, J. E. (2019). *Tecnologías verdes en zonas áridas: Diseño y evaluación energético-ambiental de sistemas de vegetación de aplicación en cubiertas edilicias* [Tesis doctoral]. Fac. de Ciencias Exactas. Univ. Nacional de Salta, Argentina.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (2007). *Secuestro de carbono en tierras áridas*. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma.

FOYER, C. Y PAUL, M.J. (2001). *Source – Sink Relationships*. Encyclopedia of Life Sciences. Nature Publishing Group, United Kingdom.

GOLBERG, A. D., RUIZ, M. D. L. A., QUIROGA, A. R., FERNÁNDEZ, O. A. (2011). *¿Qué le sucede a un cultivo cuando no llueve?* Ediciones INTA. Centro Regional La Pampa-San Luis del INTA y Áreas Estratégicas: "Forrajes y Pasturas" y "Gestión Ambiental". Argentina.

GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, Á. (2004). *Estudio de caracteres fenológicos, agronómicos, morfológicos y fisiológicos en relación con la tolerancia al estrés hídrico en cebada*. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones.

GRANADOS-SÁNCHEZ, D., HERNÁNDEZ-GARCÍA, M. Á., VÁZQUEZ-ALARCÓN, A., RUÍZ-PUGA, P. (2013). *Los procesos de desertificación y las regiones áridas*. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, 19(1), 45-66.

GRECO, S. (1996). *Algunas causas ecofisiológicas de variaciones intraespecíficas de productividad en Trichloris crinita (pasto de hoja)* [Tesis de Magister]. Fac. Agronomía. Univ. Buenos Aires, Argentina.

GRECO, S., CAVAGNARO, J.B. (2003). *Effects of drought in biomass production and allocation in three varieties of Trichloris crinita P. (Poaceae) a forage grass from the arid Monte region of Argentina*. *Plant ecology* 164:123-135.



GRECO, S.A., CAVAGNARO, J.B. (2005). *Growth characteristics associated with biomass production in three varieties of Trichloris crinita P. (Poaceae) a forage grass native to the arid regions of Argentina*. Rangeland Journal 27:135-142.

GUTIÉRREZ, F. D. (2006). *Estado de conocimiento de especies invasoras. Propuesta de lineamientos para el control de los impactos*. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt.

HERRALDE TRAVERIA, F. D. (2000). *Estudio integral de las respuestas ecofisiológicas al estrés hídrico: caracterización de variedades de almendro* [Tesis doctoral]. Universitat de Barcelona.

INTERGOVERNMENTAL NEGOTIATING COMMITTEE FOR THE ELABORATION OF AN INTERNATIONAL CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION (INCD). (1994). *Experiencing serious drought and/or desertification*. Draft final negotiating text of the Convention. United Nations. Paris, France: Autor.

KOZUB, P.C., CAVAGNARO, J.B., CAVAGNARO, P.F. (2017). *Exploiting genetic and physiological variation of the native forage grass Trichloris crinita for revegetation in arid and semi-arid regions: An integrative review*. Grass Forage Sci.; 00: 1-15. <https://doi.org/10.1111/gfs.12337>

LUZURIAGA ESPINOSA, M. E. (2020). *Evaluación de la conductancia estomática, contenido clorofila y fluorescencia de clorofila en rosa bajo invernadero (var. Explorer) en Latacunga-Cotopaxi Ecuador* [Tesis de Bachelor's]. Quito.

MANCILLA, C., CASTREJON, C., ROSAS, T., BLANCO, E., PEREZ, S. (2013). *Extracción y separación de pigmentos vegetales*.

MEDRANO H., Y J. FLEXAS (2003). *Respuesta de las plantas al estrés hídrico*. La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis. M.J. Reigosa, N. Pedrol, y A. Sánchez (eds.). Thompson Editores, España: 253-285.

MORGAN, J.A. Y LECAIN, D.R. (1991). *Leaf gas exchange and related leaf traits among 15 winter wheat genotypes*. Crop Sci., 31: 443-448.

NORRIS I.B. AND THOMAS H. (1982). *The effect of droughting on varieties and ecotypes of Lolium, Dactylis and Festuca*. Journal of Applied Ecology 19: 881–889.

PANKOVIĆ, D., SAKAČ, Z., KEVREŠAN, S., Y PLESNIČAR, M. (1999). *Acclimation to long-term water deficit in the leaves of two sunflower hybrids: photosynthesis, electron transport and carbon metabolism*. Journal of experimental botany, 50(330), 128-138.

PETERSON, P. M., ROMASCHENKO, K., ARRIETA, Y.H. (2015). *A molecular phylogeny and classification of the Eleusininae with a new genus, Micrachne (Poaceae: Chloridoideae: Cynodonteae)*. Taxon, 64, 445–467.

PETERSON, P. M., ROMASCHENKO, K., SNOW, N., JOHNSON, G. (2012). *A molecular phylogeny and classification of Leptochloa (Poaceae: Chloridoideae: Chlorideae) sensu lato and related genera*. Annals of Botany, 109, 1317–1329.



- QUIROGA, R. E., FERNÁNDEZ, R. J., GOLLUSCIO, R. A., BLANCO, L. J. (2013). *Differential water-use strategies and drought resistance in Trichloris crinita plants from contrasting aridity origins*. Plant ecology, 214(8), 1027-1035.
- QUIROGA, R.E., PREMOLI, A.C., FERNÁNDEZ, R.J. (2018). *Climatic niche shift in the amphitropical disjunct grass Trichloris crinita*. PLoS ONE 13(6):e0199811. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199811>
- ROBSON, M.J.; RYLE, G.J.A., WOLEDGE, J. (1988). *The grass plant its form and function*. Pp. 25-83. En: M.B. Jones, A. Lazenby (Eds.). *The Grass Crop: The Physiological Basis of Production*. Chapman and Hall, London.
- ROIG F.A. (1971). *Flora y vegetación de la Reserva Forestal de Ñacuñán*. La vegetación. Deserta, 1, 201–239.
- SILVA, M. D. A., JIFON, J. L., DA SILVA, J. A., Y SHARMA, V. (2007). *Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane*. Brazilian Journal of Plant Physiology, 19(3), 193-201
- SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL (SER). (2004). *Principios de SER Internacional sobre restauración ecológica*.
- TAIZ, L., Y ZEIGER, E. (2006). *Fisiología vegetal* (Vol. 10). Universitat Jaume I, 1265.
- ULIARTE, E. M., DEL MONTE, R. F., AMBROGETTI, A. O., Y MONTOYA, M. A. (2009). *Evaluación y elección de diferentes especies de coberturas vegetales en viñedos bajo riego de Mendoza*. Revista, 13, 18-34.
- ULIARTE, E.M, PARERA, C.A, ALESSANDRIA, E.E, DALMASSO, A.D. (2014). *Intercambio gaseoso y eficiencia en el uso del agua de cultivos de cobertura con especies nativas (Mendoza, Argentina), exóticas cultivadas y malezas*. Agriscientia, 31(2), 49-61.
- VEGA RIVEROS, C., VILLAGRA, P. E., Y GRECO, S. A. (2020). *Different root strategies of perennial native grasses under two contrasting water availability conditions: implications for their spatial distribution in desert dunes*. Plant Ecology, 221, 633-646.
- VILA, H. F. (2011). *Regulación de la hidratación y la turgencia foliares por mecanismos evitadores del estrés, y resistencia a déficit hídrico en vid* [Tesis doctoral]. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina.
- VILLAGRA, P. E., GIORDANO, C. V., ALVAREZ, J. A., CAVAGNARO, J. B., GUEVARA, A., SARTOR, C. E., GRECO, S. E. (2011). *Ser planta en el desierto: estrategias de uso de agua y resistencia al estrés hídrico en el Monte Central de Argentina*. Ecología Austral 21:29- 42. Asociación argentina de ecología.
- WAINSTEIN, P., GONZALEZ, S. (1969). *Valor nutritivo de plantas forrajeras del este de la provincia de Mendoza (reserva ecológica Ñacuñán)*. Revista Facultad Ciencias Agrarias, 15, 133–142.
- WARNOCK, R., VALENZUELA, J., TRUJILLO, A., MADRIZ, P., Y GUTIÉRREZ, M. (2006). *Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caoata*. Agronomía Tropical, 56(1), 21-42.



8. ANEXO

Tabla suplementaria 1: Valores promedio de acumulación de materia seca por tejido y genotipo de *L. crinita*, para los días transcurridos DDT.

DDT	Genotipo	MSA*		MSR*		MST*	
		Testigo	Estrés hídrico	Testigo	Estrés hídrico	Testigo	Estrés hídrico
01	1	41.5 c	39.03 cd	21.35 bcd	19.67 cd	62.85 b	58.7 bc
	3	38.57 d	38.61 cd	17.45 def	17.31 def	56.03 c	55.93 c
	5	19.33 e	22.17 e	13.33 f	15.07 ef	32.66 d	37.25 d
	9	53.45 a	52.8 a	24.33 ab	27.65 a	77.79 a	80.45 a
	18	54.09 a	53 a	25.41 ab	22.57 bc	79.51 a	75.57 a
	22	44.79 b	44.42 b	18.52 cde	19.75 cd	63.31 b	64.17 b
27	1	158.56 d	95.01 f	32.93 de	24.31 f	191.49 e	119.33 gh
	3	142.53 e	88.45 g	35.98 cd	23.7 f	178.51 f	112.15 h
	5	86.63 g	34.51 i	39.41 bc	16.97 g	126.04 g	51.48 j
	9	255.32 a	170.5 c	43.54 a	33.51 de	298.86 a	204.01 d
	18	174.19 c	70.95 h	41.59 ab	25.8 f	215.78 c	96.75 i
	22	203.89 b	141.36 e	43.2 a	30.95 e	247.09 b	172.31 f
63	1	276.61 d	140.11 g	51.6 c	33.98 e	328.21 d	174.09 h
	3	293.48 c	138.78 g	49.98 c	32.7 e	343.46 c	171.48 h
	5	183.09 f	39.19 i	62.75 b	17.63 g	245.84 f	56.83 j
	9	405.63 a	225.91 e	69.21 a	40.51 d	474.84 a	266.42 i
	18	303.71 b	88.25 h	65.25 ab	26.47 f	368.96 b	114.72 d
	22	302.12 bc	180.55 f	61.53 b	40.95 d	363.65 b	221.49 g
101	1	293.07 c	185.41 f	56.97 c	41.33 e	350.05 d	226.74 g
	3	314.97 b	192.38 f	55.29 c	40.84 e	370.26 c	233.22 g
	5	209.73 e	41.34 h	76.23 a	16.69 g	285.96 f	58.03 i
	9	451.56 a	263.98 d	74.34 a	47.2 d	525.90 a	311.18 e
	18	321.03 b	97.25 g	74.16 a	27.7 f	395.19 b	124.95 h
	22	325.74 b	181.71 f	68.4 b	47.69 d	394.14 b	229.40 g

Valores promedio con letras diferentes presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

*MSA: Materia seca parte aérea. MSR: Materia seca de raíces. MST: Materia seca total



Tabla suplementaria 2: Valores promedio de área foliar por genotipo de *L. crinita*, bajo ambos tratamientos (testigo y estrés hídrico) para los días transcurridos DDT.

DDT	Genotipo	Testigo	Estrés hídrico
01	1	26.97 abc	25.48 bc
	3	15.43 e	14.49 e
	5	18.07 de	18.66 de
	9	27.57 abc	31.62 a
	18	27.57 abc	22.68 cd
	22	28.61 ab	31.34 a
27	1	28.69 c	11.21 f
	3	17.73 de	8.26 fg
	5	17.40 e	6.78 g
	9	56.97 a	30.96 bc
	18	17.34 e	9.09 fg
	22	33.04 b	21.50 d
63	1	30.38 b	11.66 d
	3	21.91 c	8.15 de
	5	30.14 b	4.89 e
	9	53.07 a	20.96 c
	18	25.22 bc	9.56 de
	22	51.66 a	11.03 d
101	1	20.10 c	7.87 f
	3	17.69 d	6.50 fg
	5	20.58 c	2.54 i
	9	39.60 a	15.30 e
	18	16.84 de	4.19 hi
	22	29.97 b	1.67 gh

Valores promedio con letras diferentes presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p > 0.05$).