



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

## **CRECIMIENTO AL ESTABLECIMIENTO DE GRAMÍNEAS (POACEAE) NATIVAS DE ZONAS ÁRIDAS DE MÉXICO**

MARÍA DE JESÚS CARRILLO LLANOS

### **T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2018

---

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y  
DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe, **“MARÍA DE JESÚS CARRILLO LLANOS”**, Alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor **“DR. ADRIÁN RAYMUNDO QUERO CARRILLO”**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **“CRECIMIENTO AL ESTABLECIMIENTO DE GRAMÍNEAS (POACEAE) NATIVAS DE ZONAS ÁRIDAS DE MÉXICO”**, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y la que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Estado de México, a 27 de noviembre de 2018



\_\_\_\_\_  
Firma del  
Alumno (a)



\_\_\_\_\_  
Dr Adrián Raymundo Quero Carrillo  
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Crecimiento al Establecimiento de Gramíneas (Poaceae) Nativas de Zonas Áridas de México**. Realizada por la alumna **María de Jesús Carrillo Llanos**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, y que ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:


MAESTRA EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GANADERÍA.

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: \_\_\_\_\_

  
DR. ADRIÁN RAYMUNDO QUERO CARRILLO

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
DR. JOSÉ ALBERTO SALVADOR ESCALANTE

ASESORA: \_\_\_\_\_

  
DRA. LEONOR MIRANDA JIMÉNEZ

Montecillo Texcoco, Estado de México, enero de 2019

# CRECIMIENTO AL ESTABLECIMIENTO DE GRAMÍNEAS (POACEAE) NATIVAS DE ZONAS ÁRIDAS DE MÉXICO

María de Jesús Carrillo Llanos, M. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2018

## RESUMEN

---

El objetivo de esta investigación fue comparar el desarrollo, de la siembra al establecimiento, de gramíneas nativas: *Bouteloua curtipendula*; *B. radicata*; *Muhlenbergia phleoides* Sin. *Lycurus phleoides* y *Pennisetum ciliare* (introducida), en una segunda etapa se agregó pasto Chino *B. erecta* (Vasey y Hack) Columbus y Zacate de charco *Setaria viridis* (L.). El trabajo se realizó en invernadero. A continuación, se describen de manera general, las etapas del estudio. Primera etapa: se realizó limpieza, selección, medición y peso de cariósides, se sembraron dos tamaños de cariósida (chico, grande); como sustrato, se utilizó mezcla de suelo, tepalcates y corteza molida de árbol (2:1:1). La evaluación fue en biomasa de hoja, raíz y tallo, mediante cinco muestreos destructivos a 43, 56, 67, 81 y 96 días después de la siembra (dds). *Buffel* y *B. radicata* resultaron con mayor rendimiento de materia seca ( $P < 0.05$ ), considerando el tamaño de cariósida con respecto a materia seca, esta fue mayor para cariósida grande. Segunda etapa: Se trasplantaron las plantas asignando tratamientos de riego y sequía, el diseño experimental utilizado fue bloques al azar con dos tratamientos de humedad, 1) sequía se suspendió riego a 190 dd del trasplante (ddt) hasta que las plantas llegaron a punto de marchitez permanente (PMP) y, mediante muestreos destructivos, se evaluó biomasa aérea y radical. Los resultados mostraron que Banderita en sequía, mostró mejor distribución de raíz en el primer estrato ( $p < 0.05$ ) y resultó más eficiente en asignar recursos a la raíz ( $p < 0.05$ ) por efecto de sequía produciendo mayor MS respecto al tratamiento con riego.

**Palabras clave:** tamaño de cariósida, pastos nativos, pastos introducidos, mecanismos de resistencia a sequía.

# GROWTH TO PLANT ESTABLISHMENT OF NATIVE TO MEXICAN ARID LANDS

## GRASSES (POACEAE)

María de Jesús Carrillo Llanos, M. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2018

### ABSTRACT

---

In order to compare plant development from sowing to establishment in native to Mexico grasses: *Bouteloua curtipendula*; *B. radicata*; *Muhlenbergia phleoides* Sin. *Lycurus phleoides* y *Pennisetum ciliare* (exotic) species were evaluated. For a second phase pasto Chino *B. erecta* (Vasey y Hack) Columbus and Zacate de charco *Setaria viridis* (L.). Experimental plants were established whin greenhouse and evaluated through two phases. 1) caryopsis were obtained and weighed, using two caryopsis sizes (small, big), plants were established using a soil, tepecil and grounded pine bark (2:1:1); plant development was evaluated as biomas of leaves, roots and stem through five destructive sampling to 43, 56, 67, 81, and 96 days after sowing (dds). Buffel and *B. radicata* showed the highest (<0.05) DM production with respect to caryopsis size and big caryopsides size registered the highest DM production. 2) Transplanted seedlings were assigned to irrigated and drought treatments, the experimental design included randomized blocks design using two treatmens: a) drought, with watering suspension 190 dd post-trasplanting (ddt) until plants reached point for permanent withering (pmp), and through destructive samplings, both aerial and radical biomass were evaluated. Results showed that Banderita under drought stress, had rood better distribution for the first stratum ( $p < 0.05$ ) and also was the most efficient assigning supplies to root development ( $p < 0.05$ ) in response to drought, producing higher levels of root DM regarding watered treatment.

**Key words:** caryopsis size, native to Mexico grasses, exotic grass, drought resistance mechanisms.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de estudios de postgrado. Por el apoyo otorgado a través de la propuesta de Problemas Nacionales 2014 (248252): “Colecta, salvaguarda y evaluación de forrajeras (Poaceae) para pastoreo extensivo, nativas de México semiárido”; similarmente, por el apoyo financiero brindado para el desarrollo de este trabajo a través de la Beca de Maestría en Ciencias, otorgada a la autora de la presente tesis.

Al Colegio de Postgraduados por permitir avanzar en mi formación académica, al Programa de Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería.

A integrantes del Comité: Dr. Adrián Raymundo Quero Carrillo, Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada, Dra. Leonor Miranda Jiménez y Sinodal Dra. Martha Hernández Rodríguez por la disponibilidad, apoyo, tiempo y valiosa participación en mi estancia de maestría.

Al Dr. Cándido López Castañeda, Dr. Filogonio Hernández. M.C. María Teresa Rodríguez, M.C. Milton Javier Luna, por su disponibilidad, apoyo, préstamo de materiales y equipo.

A compañeros y amigos Alejandra, Elvira, Silvia, Abieser, a todas las personas que estuvieron involucradas en el avance de mis estudios, por el apoyo invaluable.

A Diana, Juan, Fidel y Remedios por la colaboración en este trabajo.

## DEDICATORIA

Dedico la presente tesis...

A mis padres Ma. Eustasia Llanos Gómez y Leonardo Carrillo Guijosa por darme la vida y por su apoyo siempre.

A mi hijo Fernando por su apoyo, cariño y comprensión.

A mis hermanos Ofelia, José Luis, Oscar, Sonia, Juan José, Luis Alberto por su ayuda y acompañamiento.

A mi esposo José Luis por su apoyo.

*“La satisfacción radica en el esfuerzo, no en el logro. El esfuerzo total es una victoria completa”...*

***Mahatma Gandhi.***

## CONTENIDO

RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
DEDICATORIA.....	vii
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	2
1.2 Pregunta de investigación.....	5
1.3 Objetivo General .....	5
1.3.1 Objetivos Particulares .....	5
1.4 Justificación .....	6
1.5 Hipótesis .....	7
CAPÍTULO II. TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN .....	8
2.1 Importancia de las gramíneas nativas e introducidas .....	9
2.2 Usos de las gramíneas y su importancia ante el cambio climático .....	10
2.3 Cambio climático y respuesta de la planta al estrés hídrico .....	12
2.4 Importancia del sistema radical.....	13
2.5 Mecanismos para enfrentar la escasa disponibilidad de agua.....	15
2.6 Gramíneas evaluadas.....	16
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
3.1 Localización .....	18
3.2. Material Genético.....	20
3.3. Acondicionamiento de semilla.....	20
CAPÍTULO IV. CRECIMIENTO DE LA SIEMBRA AL ESTABLECIMIENTO DE GRAMÍNEAS NATIVAS CON DOS TAMAÑOS DE CARIÓPSIDE .....	22
4.1 Antecedentes.....	22
4.2 Variables medidas .....	23



4.3 Acondicionamiento de cariósido .....	23
4.4 Selección de tamaño de semilla mediante tamiz .....	24
<b>CAPÍTULO V. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A SEQUÍA DE GRAMÍNEAS NATIVAS E INTRODUCIDAS .....</b>	<b>25</b>
5.1 Antecedentes .....	25
5.2. Variables medidas .....	26
5.3 Diseño experimental, tratamientos y medición de humedad .....	27
5.4 Contenido y manejo de humedad en el suelo .....	28
<b>CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>29</b>
6.1 Crecimiento desde la siembra al establecimiento de gramíneas, con dos tamaños de cariósido. ....	29
6.1.1 Morfología de cariósidos .....	29
6.2. Biomasa total .....	30
6.3. Composición morfológica.....	34
6.4 Tasas de crecimiento .....	37
6.4.1 Tasa media de asimilación neta (TAN) .....	37
6.4.2 Área foliar específica (AFE) .....	38
6.4.3 Tasa media de crecimiento absoluto (TCA) .....	39
6.4.4 Tasa media de crecimiento relativo (TCR) .....	40
6.5. Resistencia a Sequía de Gramíneas Nativas e introducidas .....	41
<b>CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES .....</b>	<b>50</b>
<b>CAPÍTULO VIII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>52</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Datos morfológicos de seis especies de gramíneas, cuatro nativas y dos introducidas, evaluadas en condiciones de invernadero, Colegio de Postgraduados, <i>Campus</i> Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	16
Cuadro 2. Biomasa total ( $\text{g}^{-1}\text{MS pl}^{-1}$ ) de tres variedades nativas y una introducida en cinco muestreos destructivos en condiciones de invernadero en Montecillo, Texcoco, Estado de México. ....	34
Cuadro 3. Tasa de Asimilación Neta ( $\text{TAN} = \text{g cm}^2 \text{ d}^{-1}$ ) en cuatro especies de pastos nativos e introducidas, con diferente tamaño de carióspside, en cuatro intervalos de tiempo .....	37
Cuadro 4. Área foliar específica ( $\text{AFE} = \text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ) en variedades nativas e introducidas de gramíneas, con diferente tamaño de carióspside a partir de cuatro intervalos. ....	39
Cuadro 5. Tasa media de crecimiento absoluto ( $\text{TCA} = \text{g d}^{-1}$ ) en cuatro variedades nativas e introducidas, con diferente tamaño de carióspside, en cuatro intervalos de tiempo .....	40
Cuadro 6. Tasa media de crecimiento relativo ( $\text{TCR} = \text{g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) en variedades nativas e introducidas con diferente tamaño de carióspside, en cuatro intervalos, en condiciones de invernadero en Montecillo, Texcoco, Estado. de México, México. ....	41
Cuadro 7. Biomasa aérea de pastos nativos e introducidos sujetos a dos condiciones de humedad en invernadero en Montecillo, Texcoco, Edo. de México. ....	47
Cuadro 8. Peso seco (g) total de raíces (PSTR), peso seco (g) de la parte aérea (PSPA) en estratos de 0-30, 31-60 y 61-100 cm, en condiciones de riego y sequía. ....	48

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso metodológico llevado a cabo en trabajo realizado en gramíneas nativas e introducidas en condiciones invernadero, Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	19
Figura 2. Dimensiones de cariopside de cuatro especies de gramíneas, tres nativas y una introducida, Colegio de Postgraduados campus Montecillo. ....	30
Figura 3. Biomasa total promedio (g-1 MS pl <sup>-1</sup> ) en cariopside grande y chico de cuatro especies de pastos mediante cinco muestreos destructivos en Banderita <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.; Navajita morada <i>Bouteloua radicata</i> ; Lobero <i>Lycurus phleoides</i> y pasto Buffel <i>Pennisetum ciliare</i> (L.). CG= Cariopside grande, CCh= Cariopside chico .....	31
Figura 4. Biomasa (g-1 MS pl <sup>-1</sup> ) promedio de cariopside chico de cuatro especies de pastos en cinco muestreos: Banderita <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.; Navajita morada <i>Bouteloua radicata</i> ; Lobero <i>Lycurus phleoides</i> y pasto Buffel <i>Pennisetum ciliare</i> (L.).....	32
Figura 5. Biomasa (g <sup>-1</sup> MS pl <sup>-1</sup> ) promedio de cariopside grande de cuatro especies de pastos en cinco muestreos: Banderita <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.; Navajita morada <i>Bouteloua radicata</i> ; Lobero <i>Lycurus phleoides</i> y pasto Buffel <i>Pennisetum ciliare</i> (L.).....	33
Figura 6. (a,b,c,d) Composición morfológica de cuatro genotipos de gramíneas a)Banderita;b)Lobero; c)Navajita morada; c)Buffel, mediante muestreos destructivos realizados a 43,56,67,81,96 dds en dos tamaños de cariopside (grande y chico) en condiciones de invernadero, Colegio de Postgraduados campus Montecillo.....	36
Figura 7. Contenido hídrico en el suelo de tratamientos de sequía y riego en especies nativas e introducidas de pastos. CC= Capacidad de campo. PMP= Porcentaje de marchitez permanente.....	43
Figura 8. Comportamiento de crecimiento de raíces cm, de seis genotipos de gramíneas forrajeras cuantificado en tres estratos en condiciones de vivero en riego y	

sequía. Los valores en porcentaje se refieren a la cantidad de raíz producida en sequía respecto a aquella bajo riego (100%) dentro de especie.....44

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

---

En la actualidad, el interés por utilizar pastos forrajeros nativos es creciente, debido básicamente a la adaptación edafoclimática a su región de origen y para alterar menos los ecosistemas con introducción de plantas exóticas. Las gramíneas (Poaceae) poseen una gran cantidad de taxa. Al respecto Dávila *et al.* (1990) señalan que a nivel mundial existen 702 géneros y 9, 675 especies pertenecientes a este grupo. Dadas estas cifras, Poaceae ocupa el tercer lugar en diversidad en el mundo en cuanto a géneros se refiere, y el quinto a nivel específico. En México, las gramíneas constituyen por su diversidad la tercera familia más importante, precedida por las asteráceas y fabáceas (Valdés y Cabral, 1993).

Las estimaciones más recientes señalan entre 198 y 206 géneros y un poco más de 1,000 especies a nivel nacional, representadas en 6 subfamilias, 26 tribus y 30 subtribus (Valdés y Dávila, 1995). En México, desde 1930, el deterioro de los pastizales se ha manifestado como respuesta al cambio de uso de suelo y descanso parcial o nulo de potreros bajo pastoreo (PMARP, 2012). Y en ese sentido, la investigación en las gramíneas representa una herramienta para disminuir el avance de la desertificación cubriendo el suelo, mediante dos factores como: producción y densidad de semilla por unidad de peso; además, de corto tiempo a la madurez esto es entre 70 a 90 días post-siembra (Quero *et al.*, 2014).

La siembra de pastos requiere normalmente de preparación de una cama adecuada para el establecimiento de plantas, semilla de buena calidad, siembra y manejo posterior adecuado para asegurar su establecimiento (Martin, 2016). Especies introducidas y nativas como *B. curtipendula* (Michx.) Torr. Se recomiendan para rehabilitación de zonas áridas degradadas (Corrales *et al.*, 2016). Por tanto, dependiendo de la especie se deberá dar manejo adecuado

para el establecimiento de praderas. El tamaño de cariósipide puede determinar el vigor de planta, aumento o reducción de la germinación (Naylor, 1980).

### **1.1 Planteamiento del problema**

Las zonas áridas representan más del 50% del territorio nacional, la flora se compone de seis mil especies, dominada por arbustos cactáceas y pastos, el 50% de la vegetación se limita a México. Las estimaciones más recientes señalan entre 198 y 206 géneros y un poco más de 1,000 especies a nivel nacional, representadas en 6 subfamilias, 26 tribus y 30 subtribus (Valdés y Dávila, 1995). México es un centro de origen genético muy importante para especies de gramíneas (Poaceae) nativas de zonas áridas; contrariamente a gramíneas forrajeras para praderas en regiones tropicales y templadas. México puede ser autosuficiente, mediante el escrutinio de amplia diversidad natural disponible, seleccionar genotipos valiosos, generar variedades destacadas y enfrentar los retos que el cambio climático impone: cambio de uso del suelo, degradación de los recursos, entre los de mayor importancia (Quero *et al.*, 2017a).

De esta manera se puede provocar la pérdida de diversidad genética de especies nativas. México es el centro de origen genético de pastos ampliamente adaptados a zonas áridas y especies valiosas para la producción y esta diversidad sufre deterioro genético marcado (Quero, 2017a).

Los procesos naturales de recuperación de la vegetación de las áreas de pastoreo, basados en los mecanismos de sucesión ecológica son demasiado lentos para lograr avances en corto plazo. Más aun, muchas áreas han alcanzado un nivel de deterioro tan grande, que no sería posible su recuperación sin la intervención directa del hombre (González, 1998). Las gramíneas, son una herramienta para disminuir el avance de la desertificación cubriendo el suelo, mediante dos factores como: producción y densidad de semilla, además de corto tiempo a la madurez y establecimiento (70 a 90 días;

Quero *et al.*, 2014). Especies introducidas y nativas como *B. curtipendula* se han recomendado para la rehabilitación de zonas áridas degradadas (Corrales *et al.*, 2016), existen diferentes recomendaciones para el establecimiento de praderas como usar o no, las unidades de dispersión completas es decir gluma lema y palea, dejando libre el cariósido, esto dependerá de la especie a trabajar y si tiene o no latencia. El tamaño de cariósido puede determinar el vigor de la planta, aumento o reducción de la germinación (Naylor, 1980). Para Banderita (Hernández, 2015) reporta mayor germinación en cariósido grande a diferente profundidad de siembra.

De esta manera, definir una alternativa de aprovechamiento de gramíneas nativas ampliamente diversas, al utilizar pastos forrajeros nativos es creciente, debido básicamente a la adaptación edafoclimática a su región de origen y para alterar menos los ecosistemas con introducción de plantas exóticas. Debido a la necesidad de satisfacer las necesidades de la sociedad, sin comprometer a las generaciones futuras, se pone especial preocupación por la distribución racional de recursos, por lo que se comienzan a plantear soluciones encaminadas hacia la generación de nuevas tecnologías que disminuyan los efectos de la contaminación y también hacia la implementación de estrategias que reduzcan las tasas de natalidad en los países menos desarrollados, por lo que también se integran a estas naciones en las agendas, foros y programas mundiales sobre medio ambiente (Rivas, 2005).

Cabe mencionar que la discusión sobre la condición ambiental comienza con importantes desigualdades en sus planteamientos, ya que existen distintos intereses y diferencias entre los llamados “países desarrollados” y los “no desarrollados”. Por un lado, los primeros centran sus preocupaciones en el equilibrio entre sus procesos de producción y consumo, mientras que los segundos consideraban como problemática central la disminución de la pobreza y el abastecimiento de recursos en los países más pobres, que representan a dos tercios del mundo (Pierri, 2005).

Después de varios debates en torno a problemáticas ambientales mundiales, se comenzaron a considerar otros aspectos en los planteamientos referentes a su solución, incluyendo elementos tales como cultura, costumbres y el nivel de desarrollo de cada país, se organizaron diferentes reuniones tanto oficiales como no oficiales y se consolidaron propuestas globales para atender la situación ambiental mundial. Actualmente, existen esfuerzos internacionales encaminados a dar posibles soluciones a las problemáticas ambientales que enfrenta el mundo; para ello, existe una agenda ambiental en la cual se llevan a cabo conferencias y cumbres en donde las discusiones se centran entre otras cosas, en la planeación del desarrollo económico y su relación con la educación ambiental bajo un enfoque crítico e interdisciplinario (Eschenhagen, 2007).

Bajo este contexto, el aumento de la población, crecimiento de ciudades y el consumo creciente de especies pecuarias como el bovino, el cual necesita alimento todo el año tanto en zonas con condiciones de riego aptas como en zonas áridas con déficit de riego. Sin embargo, la finalidad será siempre alcanzar el máximo rendimiento de los pastizales; los cuales, para su resiembra poseen una época de siembra y período del establecimiento críticos, decisivo para el éxito, persistencia y producción del pastizal.

Las problemáticas ambientales y de rendimiento que enfrentan actualmente los países del mundo, son un tema que precisa de atención prioritaria por parte de las instituciones tanto gubernamentales como del ámbito educativo de investigación, principalmente en este último, ya que resulta importante generar propuestas que permitan a las sociedades el acceso al conocimiento científico, lo que les posibilitaría conocer los procesos que quedan determinadas por el medio ambiente en el que se desarrollan, así como el aporte de soluciones responsables basadas en su propio conocimiento y en el adquirido por la educación ambiental, productividad, potencial genético y eficiencia ganadera.

Es por esto que es necesario evaluar el comportamiento de nuevas variedades y ecotipos (colectas realizadas según el lugar de denominación



mencionado) y caracterizar su establecimiento (Corrales *et al.*, 2016). No obstante, resulta importante conjuntar esfuerzos para integrar los experimentos de invernadero y medio ambiente zonas de producción abiertas tanto en su establecimiento como el monitoreo del crecimiento en la planificación de los territorios, como en el ámbito educativo de investigación donde se forman futuros líderes y tomadores de decisiones.

Al respecto, el presente trabajo se orientó hacia la investigación experimental en invernadero para estudiar el crecimiento mediante muestreos destructivos a 43, 56, 67, 81 y 96 dds en tres gramíneas nativas y una introducida con diferente tamaño de carióspside. Debido a que las gramíneas son una herramienta para disminuir el avance de la desertificación cubriendo el suelo, mediante dos factores altamente valiosos: disponibilidad: densidad de semilla, además del corto periodo a la madurez desde su siembra; esto es, entre 70 a 90 días (Quero *et al.*, 2014).

## **1.2 Pregunta de investigación**

¿Cuál es respuesta de gramíneas nativas e introducidas sembradas con diferente tamaño de carióspside en condiciones de riego y déficit hídrico en invernadero?

## **1.3 Objetivo General**

Analizar la respuesta de gramíneas nativas e introducidas sembradas con diferente tamaño de carióspside en condiciones de riego y déficit hídrico en invernadero.

### **1.3.1 Objetivos Particulares**

- Estudiar el efecto del tamaño de carióspside al crecimiento al establecimiento, tres gramíneas nativas y una introducida.
- Conocer la tolerancia a restricción de humedad de seis gramíneas nativas e introducidas

## **1.4 Justificación**

La preocupación formal por la situación ambiental tiene sus inicios en la I Conferencia Cumbre de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) sobre Medio Ambiente, realizada en Estocolmo en 1972, de la cual surgió el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente; sin embargo, el tema toma auge en la década de los 80s, con la Comisión Brundtland y su documento Nuestro Futuro, donde por primera vez se considera el concepto de Desarrollo Sustentable (Hurka, 1996). Lo anterior, tiene relación con los lugares que, por efectos de actividades hechas por el hombre, así como de la condición fisiográfica se consideran como zonas áridas con déficit hídrico y que debe aplicarse ahí un establecimiento de semillas para la siembra, experimentado en tales condiciones para la obtención del mayor rendimiento.

Las discusiones se centran en la calidad del ambiente, así como en las cada vez más diversas y complejas necesidades humanas; las cuales, generan situaciones en las que el ambiente se ve comprometido. Bajo este contexto, se comienza a plantear una agenda ambiental en los países desarrollados, que se centra en la acelerada industrialización y urbanización, así como en el agotamiento de los recursos naturales. En relación a esto, los organismos nacionales e internacionales comienzan a establecer acuerdos comunes con la finalidad de atender las problemáticas socio-ambientales globales, dichos cuerdos han tenido un impacto importante en las políticas ambientales de todos los países (Rivas, 2005).

En este contexto, la temática productiva también se integra en el debate ambiental como consecuencia del crecimiento de la población y la demanda de mayores y mejores productos por parte de las sociedades que las habitan, lo que implica poder tener mayor acceso a los recursos que puedan satisfacer dichas necesidades. Esta situación agrava el escenario ambiental que se encuentra en proceso de deterioro constante, provocado por las actividades de consumo del ser humano (Escudero, 2000).

En relación con lo anterior, las gramíneas representan uno de los grupos de plantas vasculares más diversos sobre la faz de la tierra. Están adaptadas a diferentes hábitats, tales como cálido-secos, húmedos, tropicales, alpinos, etcétera. A menudo, cohabitan con otras especies, formando extensas áreas de pastizales. Las gramíneas son utilizadas por el hombre en su alimentación, como grano, forraje, en la elaboración de productos médicos, artesanales, y también a nivel industrial y algunos representantes de esta familia (Poaceae) son elementos importantes de la conservación y regeneración de suelos y desempeñan un papel ecológico fundamental, respecto a la vida de la fauna silvestre (Mejía-Saulés y Dávila 1992); lo anterior, desde una perspectiva de sustentabilidad, que permita responder a retos de las sociedades actuales.

Al reconocer esta perspectiva, se hace posible, en primera instancia, la concientización, vinculado a las instituciones educativas para hacer frente con conocimiento pertinente, a problemáticas ambientales mundiales, regionales, nacionales y locales y que impulsen nuevas y mejores estrategias que promuevan la sustentabilidad tanto del medio ambiente físico-natural-productivo con una visión más integral y objetiva.

Para efectos de esta investigación, se formuló la siguiente hipótesis de trabajo.

### **1.5 Hipótesis**

¿El crecimiento vegetal tiene relación directa con el tamaño de carióspside y el déficit hídrico?.

## CAPÍTULO II. TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

---

El reconocimiento de la crisis ambiental que vive la sociedad mundial desde hace varias décadas, se desarrolla principalmente a partir de la revolución científica y tecnológica; las cuales, impactan directamente diversos aspectos de la dinámica social en los países del mundo, se ven afectados no sólo los estilos de vida, sino también valores, cultura, relaciones sociales, creación de nuevas áreas de conocimiento, productividad, entre otros.

En la historia del ser humano las gramíneas han sido un factor fundamental en la formación y evolución de las grandes civilizaciones, pues se han usado como alimento primario. Varias de las grandes culturas sustentaron su alimentación en alguna gramínea. Así, Nueva Guinea utilizó la caña de azúcar, las civilizaciones de África, Europa, Asia y Medio Oriente basaron su subsistencia y desarrollo en cultivos de sorgo, cebada, avena, arroz, etcétera. Europa basó su desarrollo en el cultivo del trigo y, en Mesoamérica, el maíz jugó un papel primordial en las culturas precolombinas (Pohl, 1986).

Las especies de Poaceae poseen una gran cantidad de taxa. Con respecto a México (Beetle, 1983) estima que existen 197 géneros y 1 127 especies. Sin embargo, en la medida que el conocimiento de la flora agrostológica del país se solidifique, es de esperar que estas cifras serán diferentes. Además de su alta diversidad biológica y versatilidad en hábitats que ocupa, esta familia también es importante en el aspecto económico (Roshevits 1980).

En ese sentido, Valdés y Cabral (1993), en un análisis sobre la distribución y diversidad de las gramíneas mexicanas reconocen en total de 1.151 especies nativas, introducidas y cultivadas en el país. De las 936 especies nativas seleccionadas para su análisis reconocen que 272 especies son endémicas de distribución restringida, que representan el 29%.

Por su parte, algunos de los géneros que presentan un alto endemismo, por ejemplo: *Muhlenbergia* con 52 especies. *Paspalum* con 20 especies: *Aristida* con 17 especies: *Bouteloua* con 60 especies, *Panicum* con 12 especies

y *Stipa* con 10 especies endémicas. Los mismos autores identifican al estado de Jalisco, México, Veracruz y Oaxaca como las entidades con mayor número de especies endémicas de gramíneas. Así también, existen algunas regiones con condiciones edáficas particulares, como la alta alcalinidad, el exceso de sales solubles, yeso u otras sustancias, presentan una diversidad alta de especies (Rzedowski, 1976).

En el mismo contexto, las gramíneas representan uno de los grupos vegetales más diversos en el mundo, pues ocupan el tercer lugar en cuanto al número de géneros y el quinto a nivel específico. En el mundo, Poaceae incluye 702 géneros y 9675 especies. Respecto a México, Valdés y Dávila (1995) registran 206 géneros (157 nativos y 49 introducidos) y Beetle (1983) estima que existen alrededor de 1127 especies.

Se estima que 50% del total de especies presentes en México tienen potencial forrajero, aunque muy pocas de ellas son utilizadas para este fin, pues son sustituidas por unas cuantas especies forrajeras introducidas (por ejemplo, sorgo, avena, zacate estrella, pasto bermuda, etcétera).

## **2.1 Importancia de las gramíneas nativas e introducidas**

Las gramíneas habitan la tierra en mayor abundancia que cualquier otro grupo comparable de plantas, adaptadas tanto a clima caliente húmedo o tropical, hasta climas extremos fríos polares. Las gramíneas constituyen una de las familias más grandes de fanerógamas; ocupando el tercer lugar, tomando en cuenta el número de géneros después de las compuestas y las orquídeas.

La clasificación vegetal es el resultado natural de la necesidad del hombre y del deseo de diferenciar entre las clases de plantas con las cuales está en contacto. Uno de los primeros trabajos publicados que se relaciona con gramíneas fue de Johan Schuchzer, publicado en 1708 bajo el título de *Agrostographiae Helvetiae Prodomus*, siendo la primera edición de *Species Plantarum* de Linneo (1753) y marcó el inicio del sistema de nomenclatura

binomial de fanerógamas, clasifico y enlistó un total de 40 géneros de gramíneas, muchas de las cuales conservan en la actualidad el nombre dado por Linneo. Por otra parte, fue el primero en entender la verdadera naturaleza de la espiguilla y reconocerla como una rama reducida de la inflorescencia. Definió las dos grandes divisiones de las gramíneas, la subfamilia Panicoide y la subfamilia Festucoide, a las que llamó Paniceae y Poaceae, describió las características de la espiguilla y advirtió la distribución tropical-subtropical de las primeras y la adaptación en clima frío de la segunda.

Una de las gramíneas de mayor importancia económica para Norteamérica y en particular para México por su alto valor forrajero y amplia distribución y adaptabilidad a diferente tipo de suelo y condiciones climáticas y persisten a la baja precipitación,(Corrales 2016) es el género *Bouteloua* que comprende aproximadamente 60 especies la mayoría para México. Se reconocen 24 especies de *Bouteloua* distribuidas desde Canadá hasta Argentina con la mayor concentración en México se reporta 34 especies para México y 3 más fuera del país; (Beetle, 1983) reconocen 34 especies y 14 variedades para México; también, se reporta 18 especies para el continente americano. En particular para México, se han realizado estudios florísticos regionales reportando varias especies del género mencionado en diversas localidades. Así mismo, reporta 18 especies y dos variedades para la región de Nueva Galicia (Jal., Mich., Dgo., Zac. y Ags.); 17 especies para el estado de Puebla; Rzedowski y Rzedowski (1990) reportan para el Valle de México 12 especies; estudios florísticos compilados por la SARH reconocen 35 especies (Beetle, 1983). Todos estos estudios anteriormente mencionados sobre las diferentes especies del género *Bouteloua* se han hecho en base a caracteres morfológicos.

## **2.2 Usos de las gramíneas y su importancia ante el cambio climático**

El uso de las gramíneas es variado, por ejemplo, pueden utilizarse como alimento. Hoy como en la antigüedad, los cereales han sido elementos

primordiales en la alimentación del mundo. También las gramíneas poseen amplia importancia como forraje, pues la gran industria ganadera depende en lo fundamental de gramíneas, debido a que los animales domésticos se alimentan de alguna forma de forraje proveniente de ellas. Las gramíneas junto con las leguminosas, son los principales grupos vegetales que sirven de forraje tanto para ganado en pastoreo extensivo, como para otros animales domésticos y su gran éxito forrajero se debe a que poseen sustancias esenciales para el desarrollo de los animales: azúcares, proteínas, vitaminas y minerales (Ellis *et al.*, 1948) Las diferentes gramíneas forrajeras presentan diversos valores nutritivos.

Las gramíneas poseen diversos grados de apetencia<sup>1</sup> para el ganado (Ellis *et al.*, 1948). En México, existe buen número de gramíneas forrajeras introducidas, que han encontrado en el país condiciones favorables para su establecimiento y desarrollo. Varias han llegado a colonizar grandes extensiones de terreno (Beetle, 1983, Dávila 1996).

Las gramíneas, ecológicamente, representan el único recurso natural para gran variedad de animales silvestres. Para éstos, los pastizales son lugares de refugio (temporal o permanente), en donde los pastos aportan material para construcción de nidos o cuevas, como en el caso de perros de las praderas y diferentes roedores, etcétera. También, los pastizales proveen alimento a mamíferos y aves, ya que, por lo general, en los pastizales se presenta gran diversidad de organismos invertebrados, tales como los insectos.

Asimismo, contribuyen como forraje ya sea en forma de semilla o partes vegetativas de las plantas, de las cuales se alimentan granívoros y herbívoros. Algunos de éstos dependen únicamente de las gramíneas, como antílopes, venados, etcétera, entre los mamíferos; mientras que algunas aves como

---

<sup>1</sup> Apetencia. proporcional al placer que experimentan los animales al comer un alimento específico. Esta cualidad depende de las propiedades organolépticas del alimento como, por ejemplo, su sabor, olor, vista. Los alimentos dulces y ricos en grasas tienen un atractivo innegable y, tras su consumo, producen sensaciones agradables conocidas como ¿respuesta hedónica. Dichas sensaciones son transmitidas por el cerebro. Así, no es de extrañar que no se coma sólo para alimentarse, sino también por el placer que produce.

perdices, gorriones, etcétera utilizan las semillas de las gramíneas como alimento y las partes vegetativas para la construcción de nidos (Costley *et al.* 1948; Huntley 1988; Risser 1988).

En América Latina y el Caribe, los cambios en patrones de lluvias (intensidad, frecuencia), temperaturas máximas y mínimas, incidirán en el deterioro de los suelos (FAO, 2016, Ticona, 2018), es donde las gramíneas, junto con otras plantas, juegan un papel esencial en la formación y conservación de los suelos (Kellog, 1948). Las raíces fibrosas de las gramíneas se introducen en la roca y la degradan, en un intento por abarcar una mayor superficie de absorción, lo que ocasiona que paulatinamente se vaya formando y estructurando el suelo (Kellog, 1948).

Las gramíneas también contribuyen a la fertilidad del suelo, aportando materia orgánica y minerales que se producen a partir de la degradación de las estructuras vegetativas de los pastos. Además, la gran proliferación de los pastos, contribuye a la conservación del suelo, evitando que éste se pierda por acción del viento y agua (Thorp 1948; Risser 1988).

Un ejemplo en el que se puede observar la conservación del suelo, se encuentra en las dunas de arena, en donde se siembran pastos que ayudan a evitar su pérdida por erosión.

### **2.3 Cambio climático y respuesta de la planta al estrés hídrico**

El cambio climático está proyectado a agravar las limitaciones de humedad para los cultivos por el incremento en la demanda evaporativa, aceleración de la degradación del suelo y la alteración en la distribución de la precipitación en tiempo y espacio (IPCC, 2014). Los cultivos con requerimientos reducidos de agua y nitrógeno mejorarían directamente la producción de alimentos y, por tanto, seguridad alimentaria en naciones pobres (Lynch, 2007).

Los efectos destacados del cambio climático incluyen el aumento de temperatura, variaciones en los patrones de precipitación. En este contexto, obtener genotipos que expresen estos atributos relacionados a la adaptación



del déficit hídrico debido a los cambios de lluvia que con el cambio climático se verá afectada en cuanto a distribución y cantidad (Hernández, 2017).

Por otro lado, una tercera parte de la superficie del planeta se considera como árida o semiárida, mientras que la mayoría de la superficie restante está sujeta a períodos temporales de déficit hídrico. De esta manera, el agua constituye el principal factor limitante del crecimiento de las plantas en la tierra, actuando como una fuerza selectiva de primer grado para la evolución y distribución de las especies vegetales.

A lo largo de la evolución, las plantas han desarrollado diferentes respuestas y adaptaciones que les permiten sobrevivir en condiciones de constante déficit hídrico. Muchas de estas adaptaciones están relacionadas con una mayor capacidad de tomar agua o con un uso eficiente de este recurso, el cual tiene efecto desde sus raíces.

#### **2.4 Importancia del sistema radical.**

Algunos beneficios de las raíces son el incremento del contenido de materia orgánica, el mejoramiento de la estructura del suelo, la estabilidad de agregados, el aumento en la infiltración y la capacidad de retención del agua en el suelo; así mismo, reducción de la cantidad y velocidad del escurrimiento que se refleja en una menor pérdida del suelo por erosión hídrica (Durán-Zuazo *et al.*, 2004; Fiener y Auerswald, 2005). Según Gyssels y Poesen (2003), la reducción en la pérdida de suelo es resultado del efecto combinado del sistema raíces-biomasa aérea. Una característica importante para el éxito en el establecimiento y supervivencia de las plantas es el crecimiento y desarrollo de la raíz, pues de ésta depende en gran medida la absorción de agua y nutrimentos esenciales para diversos procesos fisiológicos (Córdova 2011).

El desarrollo de cultivos con raíces profundas, mejoran la captura de agua y nitrógeno en muchos agroecosistemas y aumentan la estabilidad del carbono derivado de la planta en el suelo (Lynch, 2013).

En trigo, en muchos ambientes de sequía, un sistema radical profundo esta positivamente relacionado con la exploración del suelo y mayor adquisición de agua de los estratos profundos del suelo y en escenarios de sequía terminal e intermitente que son los más comunes en la agricultura de secano (Lynch y Wojciechowski, 2015).

Uno de los componentes importantes de la tolerancia a sequía es el aumento en la captura de humedad del suelo, lo cual es posible por el aumento en la exploración del suelo por las raíces. Raíces más profundas habilitan la absorción de agua a profundidades mayores, lo que ocurre particularmente cuando el agua está disponible en el suelo a mayor profundidad. Típicamente, el suelo se seca de arriba hacia abajo, por lo tanto, las plantas con sistema radical profundo tendrán mayor tiempo para la absorción de agua donde quiera que se encuentre en el suelo.

Por tanto, un mayor crecimiento de raíz también podría ser útil para condiciones de calor; el estrés por calor está frecuentemente asociado con alto déficit de presión de vapor, el cual aumenta la pérdida de agua de hojas y las plantas tienen que transpirar más, para mantener el dosel vegetal fresco y este enfriamiento es efectivo únicamente en presencia del agua (Prasad *et al.*, 2008a).

Se ha puesto de manifiesto que el crecimiento de la raíz bajo condiciones de déficit hídrico es un aspecto que contribuye en gran medida a la tolerancia a sequía. El déficit hídrico puede afectar significativamente a las características de la raíz y el tamaño de las células en la capa pilífera y el impacto del déficit hídrico depende de su intensidad en trigo duro (Adda *et al.*, 2005).

Las raíces son eficientes cuando su arquitectura está diseñada de acuerdo a su ambiente, las raíces profundas pueden extraer agua localizada debajo del suelo en secamiento y las raíces finas poco profundas pueden explotar suelos en los que los nutrientes limitantes del crecimiento están retenidos cerca de la superficie de este. Estudios realizados en condiciones de campo sugieren que los principales atributos fisiológicos asociados con la

adaptación a sequía son el incremento en peso seco de las raíces profundas. Mayor masa de raíces profundas estuvo asociada con una reducción en los niveles de carbohidratos solubles del tallo entre genotipos de trigo; en adición, la acumulación de carbohidratos en el tallo y un sistema radical profundo pueden ser alternativas para la adaptación a sequía, siendo la última la más benéfica cuando hay agua disponible en las capas más profundas del suelo (López y Reynolds, 2010).

## **2.5 Mecanismos para enfrentar la escasa disponibilidad de agua**

Las plantas también poseen mecanismos de aclimatación que se activan en respuesta al estrés hídrico. Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, se dan cambios en procesos de desarrollo que tienen varios efectos sobre el crecimiento. Uno de principal importancia, es la limitación específica de la expansión foliar.

Aunque el área foliar es importante, pues de ella depende la fotosíntesis, una rápida expansión foliar puede afectar negativamente la adaptación a la poca disponibilidad de agua. Otro proceso que se modifica es el crecimiento radical. Las modificaciones al sistema radical, en respuesta a condiciones de sequía, son de gran importancia para la adaptación de la planta a su ambiente (García Figueroa y Vargas-Hernández, 2000, Córdova 2011). La disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz; la raíz continúa su desarrollo mientras que la parte aérea deja de crecer por causa del estrés. Así, las plantas son capaces de continuar el desarrollo de sus raíces en búsqueda de agua en zonas profundas del suelo; por tanto, la importancia del desarrollo vegetal, radical y aéreo es fundamental, es por eso que para el presente trabajo se evaluaron las especies que aparecen a continuación. (Cuadro 1).

## 2.6 Gramíneas evaluadas

Cuadro 1. Datos morfológicos de seis especies de gramíneas, cuatro nativas y dos introducidas, evaluadas en condiciones de invernadero, Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo, Texcoco, Estado de México.

Especie	Cualidades morfológicas e importancia
<b>Zacate chino</b>	Plantas perennes, en pequeños macollos densos; tallos con estolones cortos, delgados y resistentes, láminas aplanadas a involutas, glabras; (CONABIO. 2012).
<b>Lobero</b>	Pasto nativo, tallos erectos, ascendentes, inflorescencia es una panícula. (CONABIO. 2012).
<b>Banderita</b>	Zacate nativo perenne de aproximadamente 60 a 75 cm de alto y ramificado. Los tallos son de color verde, glabra, y cilíndricos. Las hojas alternas son más comunes hacia la base de cada tallo. Las láminas de las hojas de color verde claro a verde, en su mayoría sin pubescencia. Es también tolerante a la sequía y al frío. Se considera un pasto forrajero bueno para alimentación del ganado (Great Plains Flora Association, 1986; Hitchcock, 1951). Este pasto nativo originario del norte de México y sur de Estados Unidos es uno de los grupos taxonómicos más abundantes en los pastizales(Morales,2009), además de ser considerado uno de los preferidos del ganado. Presentan tallos erectos y rígidos de 30 a 100 cm de alto y hojas de 5 a 8 mm de ancho. La inflorescencia presenta de 40 a 70 espigas, las que contienen de 3 a 7 espiguillas. Las partes florales (glumas y lemma) de tono púrpura y anteras (cabezuela de los estambres) de un rojizo-anaranjado.(Santos et al 2014)

- 
- Navajita morada** Planta perenne endémica del norte de México. Para el estado de Durango, (Conabio, 2017) reporta navajita presente en pastizales del estado de Durango, cespitosa con base densa, los tallos son erectos densamente tupidos, la mayoría de las hojas son basales, vainas glabras a pilosas, hojas, planas, la inflorescencia es una panícula. Este pasto es excelente conservador de suelos, resistente a la sequía y compatible con otros pastos (CONABIO, 2012)
- Buffel** Gramínea perenne, originaria de Sud África, de buen valor forrajero que se adapta bien a una amplia gama de suelos y condiciones climáticas (Beltrán,2017), ampliamente utilizada como forrajera en las regiones áridas y semiáridas e inclusive desérticas del mundo (Mansoor *et al.*, 2002, Garduño 2012), tallos rectos, ramificados, glabros, laminas aplanadas, inflorescencia panícula.
- Zacate de Agua** Planta perene, tallos ramificados en la base, tallos que suelen ser acodados, glabros y lisos. Puede tomar al final una coloración rojiza. Hojas planas glabras. La inflorescencia es una panícula cilíndrica verde o rojiza. (CONABIO. 2012)

## CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación es aplicada, práctica, empírica o dinámica, ya que como menciona Sierra (1994) “Busca mejorar la sociedad y resolver sus problemas, aplicación de los logros de la investigación básica”. En este caso, se persigue la experimentación en el establecimiento de gramíneas nativas en zonas áridas de lo que también es hoy en día una temática indispensable para cualquier institución de investigación en Ganadería que esté formando profesionales. Este tipo de investigación se dirige a su aplicación inmediata y no al desarrollo de teorías (Behar, 2008). Por tanto, es el tipo de investigación que apoya el objetivo del presente trabajo al permitir abordar de forma aplicada la problemática del ambiente y establecimiento de gramíneas nativas en zonas áridas de México (Fig. 1).

### 3.1 Localización

El estudio se realizó en condiciones de invernadero en el Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo, Texcoco, Estado de México. México (19° 21' N, 98° 55' O y 2240 msnm). Clima templado subhúmedo (C (w0/w'1) (w) b(e) g), con lluvias en verano, precipitación media anual de 635 mm de mayo a septiembre y temperatura media anual de 15 °C (García, 2004).

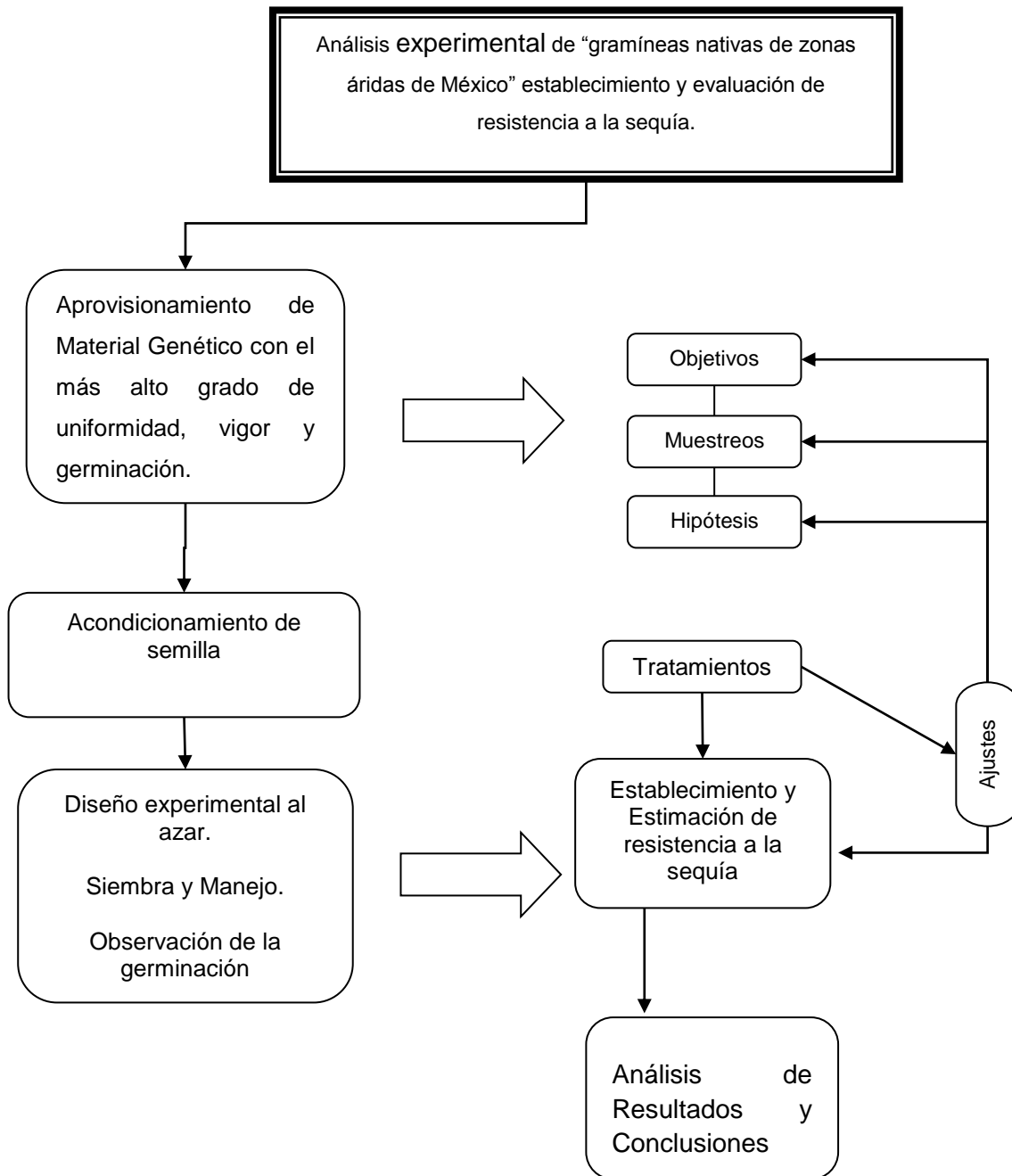


Figura 1. Proceso metodológico llevado a cabo en trabajo realizado en gramíneas nativas e introducidas en condiciones invernadero, Montecillo, Texcoco, Estado de México.

### **3.2. Material Genético**

Se utilizaron para el primer estudio (siembra al establecimiento con diferente tamaño de cariósides) cuatro genotipos de gramíneas, tres nativas Banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr; Lobero *Muhlenbergia phleoides* (Kunth) Columbus; *Bouteloua radicata* Griffiths y, como introducida, el naturalizado pasto Buffel *Pennisetum ciliare* L. Para una segunda fase del experimento (resistencia a sequía) se utilizaron seis genotipos, los cuatro que se usaron en el trabajo anterior y se agregó: Zacate de charco *Setaria viridis* (L.) Beauv. y pasto Chino *B. erecta* (Vasey y Hack) Columbus, estos materiales fueron obtenidos mediante colectas realizadas por especialistas del área de forrajes del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería, Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México (COLPOS).

### **3.3. Acondicionamiento de semilla**

El conjunto de operaciones posteriores a la cosecha al que se sometió un lote de semillas proporcionado por el programa de postgrado en Recursos Genéticos y Productividad- Ganadería del Colegio de Postgraduados *Campus* Montecillo Estado de México con el fin de maximizar la cantidad de semilla pura con el más alto grado de uniformidad, vigor y germinación para el estudio de siembra-establecimiento. Este acondicionamiento se realizó de forma manual, se limpió la semilla, hasta que las cariósides de cada especie quedaron sin las estructuras que les protegen; para la eliminación de brácteas accesorias: ramillas modificadas, glumas, lemas, palea, según el caso, se utilizó tapete corrugado de caucho con ayuda de un cepillo de madera cubierto del mismo material del tapete y se pesó a 100 cariósides con balanza de precisión marca Ohaus (420 g + 0.001 g), por especie; además, se definió tamaño y forma utilizando vernier modelo Knova y tamiz de acero inoxidable del número 25 con tamaño de ojo de 0.6 mm (Norma ASTM), lo anterior, para separar cariósides grande y chico.



La siembra se realizó el 31 de mayo de 2017, en almácigos. El sustrato que se utilizó estuvo compuesto de suelo proveniente del Valle del Mezquital, tepecil y corteza de árbol (2:1:1); posteriormente, se trasplantó. La unidad experimental consistió en un tubete (70 cm<sup>3</sup>), con una planta individual. Se evaluó biomasa de hoja, raíz y tallo, en cinco muestreos destructivos a 43, 56, 67, 81 y 96 dds, se utilizaron tres plantas para cada repetición por tamaño de cariósida y especie. La información se analizó mediante un diseño completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento y comparación de medias.

Para la segunda etapa del estudio, las seis especies de pasto se trasplantaron a maceta-tubo de PVC de 1 m de alto por 4" de diámetro, conteniendo bolsa plástica de iguales dimensiones dentro y llena de sustrato, una planta individual por repetición, utilizando el mismo sustrato del trasplante en tubetes, se le determinó, mediante peso total de tubo-maceta con sustrato, su capacidad de campo (CC) de 22 %, porcentaje de marchitamiento permanente (PMP) de 19 % (Laboratorio de Física de Suelos, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México). El contenido de humedad en el suelo se monitoreo mediante el método gravimétrico, semanalmente. El análisis de varianza se calculó, al utilizar el programa SAS (SAS, 2009). La comparación de medias se hizo al utilizar la diferencia mínima significativa (DMS,  $P \leq 0.05$ ).

## CAPÍTULO IV. CRECIMIENTO DE LA SIEMBRA AL ESTABLECIMIENTO DE GRAMÍNEAS NATIVAS CON DOS TAMAÑOS DE CARIÓPSIDE

---

### 4.1 Antecedentes

La germinación, emergencia y establecimiento inicial de las plantas son fases importantes que controlan la abundancia y la distribución de plantas maduras/adultas en ecosistemas de pastizal. Así, por ejemplo, la abundancia de las gramíneas perennes es principalmente dependiente de la dispersión de semillas y de la presencia y generación de zonas adecuadas para su germinación (Cheplick, 1998). En pastos para zonas áridas, la semilla se comercializa como propágulo, diáspora o espiguilla; la cual, consiste de cariósido contenido en brácteas accesorias: gluma, lema, palea o ramillas modificadas, dependiendo de la especie. Lo anterior, dificulta el manejo de la siembra, dado que las brácteas accesorias que contienen a la cariósido influyen en la pureza física y calidad fisiológica (Enríquez y Quero, 2006, Quero *et al.*, 2017). La clasificación de cariósidos ha sido estudiada por Larsen y Andreasen (2004) y Springer *et al.* (2001) en *Tripsacum dactyloides*, así como por Ramírez-Calderón *et al.* (2003) en triticale (*Triticum x Secale* Wittmack), quienes indican que a mayor peso de cariósido, se presenta mayor tasa de germinación, relación que influye en mayor área foliar y radical, lo cual es de importancia en siembras de temporal (Quian *et al.*, 2006; Tian *et al.*, 2003, Quero *et al.*, 2017). Al respecto Smith *et al.* (2003), consideran que el tamaño de cariósido es importante para obtener mayor peso de plántula y vigor en *Lolium perenne* L. (Smith *et al.*, 2003) así como en cariósidos de pasto Banderita (Quero *et al.*, 2017). Por su parte Hunt (2003), menciona que el análisis de crecimiento usa mediciones directas y datos sencillos como materia seca y el área foliar de la planta, con la finalidad de describir su crecimiento, lo que puede apoyar la decisión al seleccionar genotipos para el establecimiento de praderas.

El objetivo en este capítulo fue comparar el desarrollo, de la siembra al establecimiento, de gramíneas nativas: *Bouteloua curtipendula*; *B. radicata*; *Muhlenbergia phleoides* Sin. *Lycurus phleoides* y *Pennisetum ciliare* (introducida). El estudio se realizó en condiciones de invernadero en el Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo, Texcoco, Estado de México.

#### 4.2 Variables medidas

**Área foliar de planta (AF, cm).** Mediante el muestreo destructivo de las plantas, la parte de hoja se midió con Integrador de Área Foliar (LI-COR 3100).

**Peso seco de hoja, tallo, raíz (g PI<sup>-1</sup>).** Las plantas se cortaron, se separó la hoja, tallo, raíz; después, que se tomaron los datos de área foliar y se colocó a cada uno de los componentes en bolsas de papel, se llevaron a secado en estufa con circulación de aire forzado a 80 °C, durante 48 h.

**Biomasa total (BMT, g PI<sup>-1</sup>).** Se obtuvo al sumar el peso seco de la parte aérea y el peso total de raíces (BMT=PSPA+PSTR).

**Tasas de crecimiento.** Mediante las siguientes formulas (Escalante-Estrada y Kohashi Shibata, 2015): Tasa de crecimiento absoluto (TCA):  $[(PS2 - PS1) / (T2 - T1)] \text{ g d}^{-1}$ ; Tasa de crecimiento relativo (TCR):  $[(\ln PS2 - \ln PS1) / (T2 - T1)] \text{ g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ; Tasa de asimilación neta (TAN):  $[(PS2 - PS1) / (AF2 - AF1)] / [(\ln AF2 - \ln AF1) / (T2 - T1)] \text{ g cm}^2 \text{ d}^{-1}$ ; Área foliar específica (AFE): AF/PSH.

**Material Genético.** Los materiales vegetales que se utilizaron fueron proporcionados por el Colegio de Postgraduados por colectas realizadas por especialistas del área.

#### 4.3 Acondicionamiento de carióspside

De forma manual, con un tapete corrugado de caucho con ayuda de un cepillo de madera cubierto con plástico, se limpiaron carióspsides de cada especie eliminando brácteas accesorias: ramillas modificadas, glumas, lemas, palea, según el caso. Se pesaron 100 carióspsides con balanza de precisión por especie y se midió largo, ancho, grueso, utilizando vernier modelo Knova.

#### 4.4 Selección de tamaño de semilla mediante tamiz

Mediante tamiz de acero inoxidable del número 25 con tamaño de ojo de 0.71 mm, se separó entre tamaños de cariósida, se consideró cariósida grande cuando no pasó el tamiz y chico todo aquel que logro pasar.

Los tratamientos fueron resultado de la combinación de cuatro especies: Banderita, Lobero, Navajita morada y Buffel, con dos tamaños de cariósida (chico y grande), lo que resultó en ocho tratamientos con tres repeticiones. La siembra se realizó el 31 de mayo de 2017 en almácigos compuestos por la mezcla de sustrato: suelo del valle del mezquital, tepecil y corteza molida de árbol (2:1:1). Los cariósidas se inocularon con un producto comercial de *Trichoderma* spp. con el fin de controlar enfermedades causadas por hongos y promover la germinación; cuatro días después de la siembra (dds), se observó la germinación para Banderita y Lobero; cinco dds, para Navajita morada y Buffel. Se realizó el trasplante a tubetes de 70 cm<sup>3</sup>, a veintiún dds, utilizando como sustrato peat moss con tezontle (2:1).

Se realizaron cinco muestreos destructivos; al día 43 dds, se inició con el primero y los muestreos siguientes a 56,67,81,96 dds, utilizando tres plantas por especie por tamaño de cariósida, hasta el periodo considerado de establecimiento: 90 dds. En cada muestreo se separaron los componentes hoja, tallo, raíz, con la parte aérea, se midió área foliar en laboratorio, utilizando Integrador de Área Foliar (LI-COR 3100). Se realizó cuantificación del rendimiento de materia seca, en sus componentes: hoja, tallo, raíz; los cuales, se colocaron en bolsa de papel de estraza, se identificaron y secaron en estufa de flujo de aire a 80 °C durante dos días, se pesaron en balanza electrónica de precisión (Ohaus 420 g + 0.001 g), para obtener la MS por componente. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza en arreglo completamente al azar mediante el modelo:  $Y_{ij} = \mu + T_i + \xi_{ij}$  y pruebas de medias (Tukey y/o DMS,  $\alpha = 0.05$ ) con el programa SAS.

## CAPÍTULO V. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A SEQUÍA DE GRAMÍNEAS NATIVAS E INTRODUCIDAS

---

### 5.1 Antecedentes

La sequía es un factor constante a la que deben ajustarse los sistemas de producción agropecuaria y los basados en pastos (*Poaceae*) no son excepción; junto con el pastoreo, ésta es de mayor importancia en moldear la evolución y desarrollo de gramíneas forrajeras nativas de zonas áridas. Cuando se presentan bajas precipitaciones o la distribución de éstas es irregular, se generan condiciones de déficit hídrico (DH); las cuales, afectan negativamente las relaciones hídricas internas, fisiología y morfología de las plantas forrajeras.

Lo anterior, limita la producción de forraje e incluso la supervivencia de las especies de importancia pecuaria (Mattos *et al.* 2005; Atencio *et al.*, 2014). Las gramíneas forrajeras al igual que muchas especies, varían notablemente en su tolerancia a estrés por DH; en algunos casos, éstas experimentan cambios que les permiten adaptarse o escapar a efectos negativos ocasionados por el DH. Algunos de los aspectos en las plantas afectados por DH incluyen turgencia celular, eficiencia de procesos metabólicos y bioquímicos (absorción de nutrientes; Santos *et al.*, 2013). El mayor crecimiento de raíz bajo condiciones de DH contribuye en gran medida a la tolerancia a sequía (Sharp *et al.*, 2004), importancia que ha sido demostrada, similarmente, para el desarrollo de plántulas (Grossnickle, 2005). El DH puede afectar significativamente las características de la raíz y el tamaño de células en la capa pilífera y el impacto del DH depende de su intensidad en trigo (Adda *et al.*, 2005).

Las raíces son más eficientes cuando su arquitectura está diseñada de acuerdo a su ambiente; las raíces profundas pueden extraer agua localizada debajo del suelo en secamiento y las raíces finas poco profundas pueden

explotar los suelos en los que los nutrientes limitantes del crecimiento están retenidos cerca de la superficie del suelo (Gewin, 2010). Por tanto, es necesario evaluar el comportamiento de la diversidad genética en especies nativas e introducidas; las cuales, posean mecanismos de resistencia a condiciones de DH. Resulta importante conjuntar esfuerzos para integrar experimentos de invernadero y ambientales, en zonas de producción para mejor monitoreo del crecimiento y planificación del desarrollo territorial para el uso sustentable de los recursos naturales. El objetivo del presente trabajo fue determinar el desarrollo de raíz y parte aérea en seis especies de gramíneas: cuatro nativas y dos introducidas, en respuesta a condiciones de riego y déficit hídrico.

## 5.2. Variables medidas

**Peso seco de la parte aérea (PSPA, g PI<sup>-1</sup>).** Posterior al riego de recuperación, 22 días después de que las macetas en sequía alcanzaron punto de marchitez permanente (PMP), se evaluó el rendimiento de materia seca (MS) aérea y radical. La MS se fraccionó en componentes: hoja, tallo, inflorescencia y material muerto, colocándose en bolsas de papel, para llevarlas a secado en estufa con circulación de aire forzado a una temperatura de 80 °C, durante 48 h.

**Peso seco de raíz (PSR, g PI<sup>-1</sup>).** Se sacaron las bolsas plásticas de los tubos-maceta y una vez obtenido el tubo plástico con planta y raíz, la parte radical se evaluó en tres estratos: 0-30 cm (superior), 31-60 cm (intermedio) y 61-100 cm (profundo); las raíces se separaron del suelo utilizando criba metálica de 1.5 x 2 mm de apertura. Tanto la MS aérea como radical se colocó en bolsas de papel debidamente etiquetadas, en estufa de aire forzado a 80 °C, durante 48; posteriormente, se pesaron en balanza electrónica de precisión marca Ohaus (420 g + 0.001 g), para obtener el peso seco total se obtuvo al sumar el peso seco en los tres estratos del suelo.

**Biomasa total (BMT, g PI<sup>-1</sup>).** Se obtuvo al sumar el peso seco de la parte aérea y el peso total de raíces (BMT=PSPA+PSTR).

**Cociente raíz/parte aérea (CRPA).** Se calculó al dividir el peso seco total de raíces entre el peso seco de la parte aérea (CRPA=PSTR/PSPA).

### **Material genético**

Se utilizaron seis especies de gramíneas, cuatro de ellas nativas Banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr]; Zacate Chino [*Bouteloua erecta* (Vasey & Hack.) Columbus]; Lobero [*Muhlenbergia phleoides* (Kunth) Columbus]; *Bouteloua radicata* Griffiths; y dos introducidas Zacate de Agua [*Setaria viridis*] y el naturalizado pasto Buffel [*Pennisetum ciliare* (L.)], obtenidas mediante colectas realizadas por especialistas del área de forrajes del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería, Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México.

### **5.3 Diseño experimental, tratamientos y medición de humedad**

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con dos tratamientos de humedad edáfica: riego y sequía con seis genotipos de pastos, con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió de plantas individuales en maceta-tubo de PVC de 1 m de alto por 4" de diámetro, conteniendo bolsa plástica de iguales dimensiones dentro y llena de sustrato, una planta individual por repetición.

El sustrato utilizado fue mezcla de peat moss y tepecil en una proporción de 2:1, al que se le determinó su capacidad de campo (CC) de 22 %, porcentaje de marchitamiento permanente (PMP) de 19 % (Laboratorio de Física de Suelos, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México).

Las plantas utilizadas tuvieron la misma edad cronológica (maduras), fueron sembradas en almácigo, 21 días post-siembra (dds), se trasplantaron individualmente a tubetes plásticos de 70 cm<sup>3</sup> y, 130 después de trasplante

(ddt), ya maduras, se trasplantaron nuevamente, ahora en bolsas llenas de sustrato en los tubos de PVC. Se determinaron las constantes de humedad a 151 días después del trasplante (ddt) y se aplicaron 5 g de fertilizante (50-25-25), a 5 cm de profundidad.

El contenido de humedad en el suelo se monitoreo mediante el método gravimétrico semanalmente.

#### **5.4 Contenido y manejo de humedad en el suelo**

Previo al trasplante, las bolsas de plástico se llenaron con tierra en cada tubo de PVC, se agregó agua a cada unidad experimental hasta llegar a punto de saturación, se dejaron drenar por 24 horas; posteriormente, se pesaron para determinar el peso inicial de cada tubo a capacidad de campo(PI), cuando terminó de escurrir el exceso de agua en los tubos.

El contenido de humedad edáfica se monitoreó mediante el método gravimétrico semanalmente con bascula marca Tororey con capacidad de 40 kg  $\pm$ 5g. El contenido hídrico del suelo se mantuvo cerca de CC, sin que las plantas experimentaran estrés hídrico, desde la siembra, hasta el día 191 después de trasplante (ddt). Para el tratamiento de sequía se suspendió el riego por 42 días a partir del día 191 ddt.

#### **Riego de recuperación**

El tratamiento en sequía (sin riego) por 42 días, se le aplicó riego, después de 22 días de mantenerse por debajo de PMP. Cumplido este periodo, se aplicó riego de recuperación y se procedió a los muestreos destructivos. El análisis de varianza se realizó utilizando el programa SAS (SAS, 2009), La comparación de medias se hizo al utilizar la diferencia mínima significativa (DMS,  $P \leq 0.05$ ).



## CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

La utilización de cariósides de mayor tamaño resulta en mayor crecimiento de plántula, lo que puede apoyar al éxito del establecimiento en condiciones desafiantes de establecimiento de praderas de temporal en zonas áridas. *Bouteloua radicata* mostró buena capacidad competitiva comparable a Buffel, durante el periodo evaluado: siembra-establecimiento.

### **6.1 Crecimiento desde la siembra al establecimiento de gramíneas, con dos tamaños de cariósides.**

#### **6.1.1 Morfología de cariósides**

La morfología de 100 cariósides elegidos al azar (Fig. 2) mostró que Banderita presenta mayor longitud de cariósides en promedio, (3.19), Navajita morada (2.18) y Buffel (2.17) presentan similitud en la dimensión de longitud. Lobero presenta menor dimensión respecto a las especies mencionadas; respecto a medidas obtenidas para las dimensiones de ancho, grueso, Lobero también obtuvo el menor valor, Banderita y Navajita morada en las dimensiones de ancho y grueso presentan similitud, Buffel mostró mayor dimensión. Algunos autores hacen referencia a cerca del tema y consideran que tamaño de cariósides es componente significativo del rendimiento (Tanabata *et al.*, 2012; Williams y Sorrells, 2014; Saucedo, 2018) y contribuye en el vigor de germinación (Whan *et al.*, 2014; Saucedo, 2018). La obtención tradicional de longitud y ancho del grano requiere técnicas laboriosas individualizadas (Whan *et al.*, 2014; Saucedo, 2018), con mayor consumo de tiempo, aunque se utilicen calibradores digitales (Tanabata *et al.* 2012; Saucedo, 2018).

El tamaño de cariósides puede determinar el vigor de planta, aumento o reducción de la germinación (Naylor, 1980). Para Banderita se ha reportado mayor germinación en cariósides grande a diferente profundidad de siembra (Hernández, 2015). En cereales de grano pequeño López-Castañeda *et al.* (1996), obtuvieron mayor emergencia a mayor tamaño de cariósides (TC) y

embrión, lo que resultó en plantas de mayor vigor y les permitió sobrevivir a la sequía intraestival y producir mayor cantidad de grano.

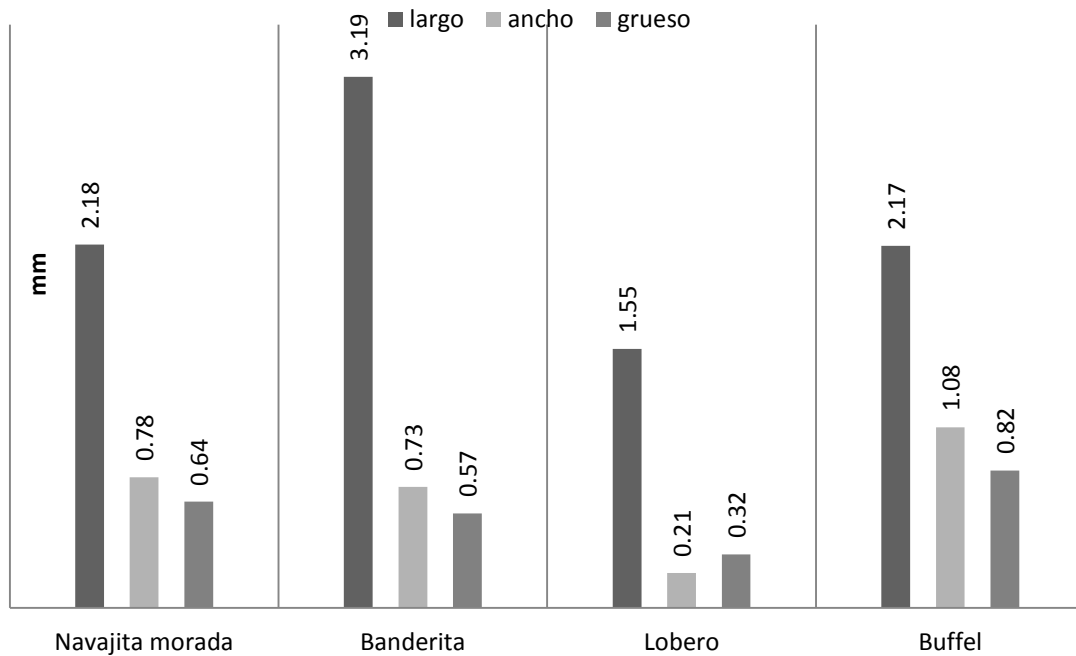


Figura 2. Dimensiones de cariósipide de cuatro especies de gramíneas, tres nativas y una introducida, Colegio de Postgraduados campus Montecillo.

## 6.2. Biomasa total

La biomasa total promedio (Figura 3) producida por plántulas con cariósipide grande fue mayor, esta se reflejó desde el segundo muestreo en comparación con las plantas sembradas con cariósipide chico (Figura 4). Los cuatro genotipos, en el muestreo a los 43 días después de siembra, no muestran diferencias; las cuales, se observan después del tercer muestreo, sin embargo, es hasta el muestreo del día 96 dds cuando se presenta mayor diferencia respecto a biomasa total. Para la cariósipide grande (Figura 3), se observa diferencia desde el tercer muestreo (67dds), Buffel muestra mayor

cantidad de biomasa total en carióspside grande y chico (Cuadro 2).Banderita y Navajita

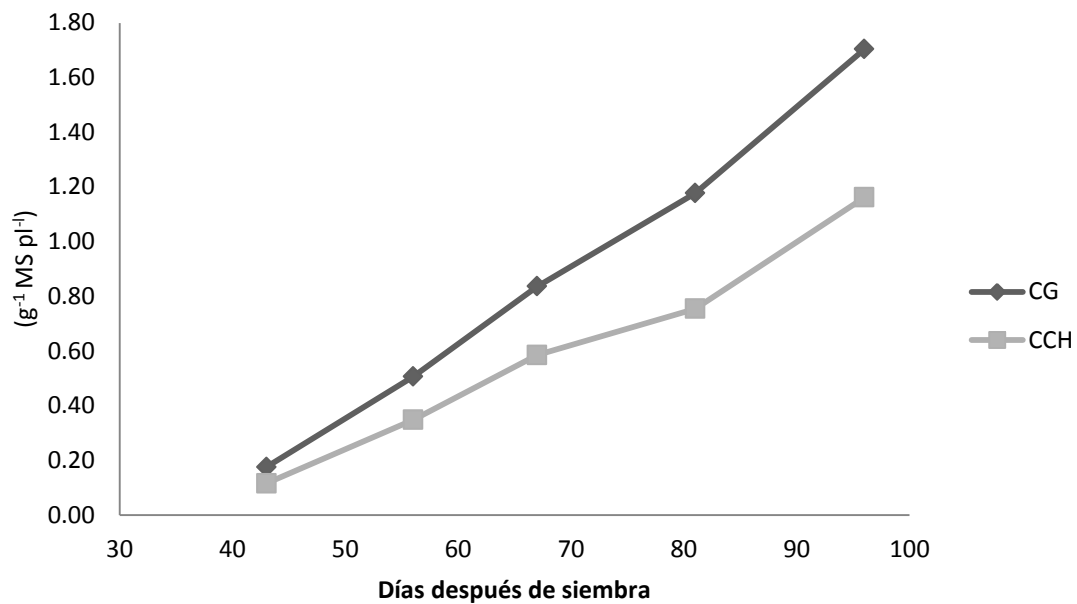


Figura 3. Biomasa total promedio (g<sup>-1</sup> MS pl<sup>-1</sup>) en carióspside grande y chico de cuatro especies de pastos mediante cinco muestreos destructivos en Banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.; Navajita morada *Bouteloua radicata*; Lobero *Lycurus phleoides* y pasto Buffel *Pennisetum ciliare* (L.). CG= Carióspside grande, CCh= Carióspside chico

El comportamiento de la asignación de fotoasimilados a materia seca para cada componente es similar en proporción, para cada tamaño de carióspside; en muestreos posteriores, se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre especies y tamaño de carióspside. Buffel en carióspside grande mostró la misma tendencia de mayor acumulación de materia seca. No se presentaron diferencias en los muestreos primero y cuarto (43,81) días después de siembra,

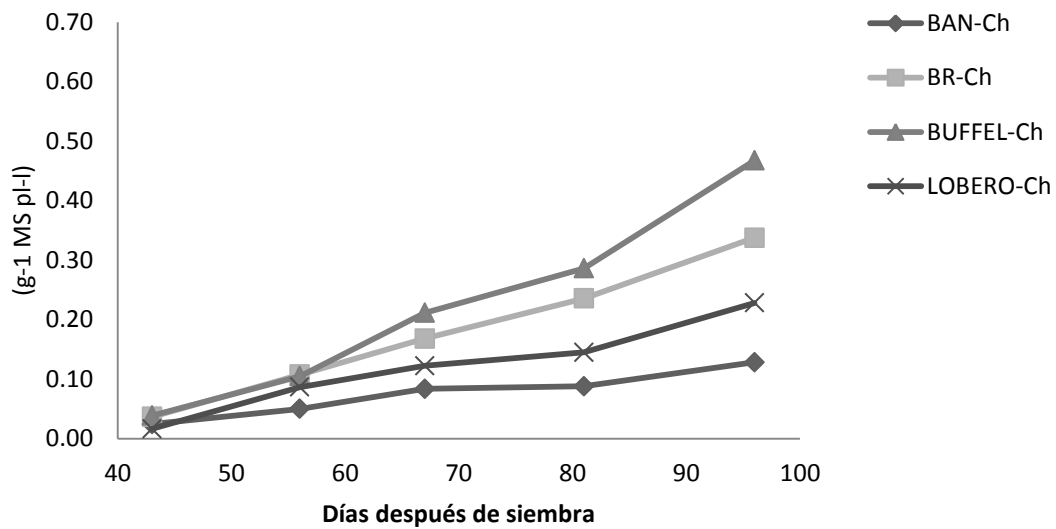


Figura 4. Biomasa ( $\text{g}^{-1} \text{MS pl}^{-1}$ ) promedio de cariopside chico de cuatro especies de pastos en cinco muestreos: Banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.; Navajita morada *Bouteloua radicata*; Lobero *Lycurus phleoides* y pasto Buffel *Pennisetum ciliare* (L.).

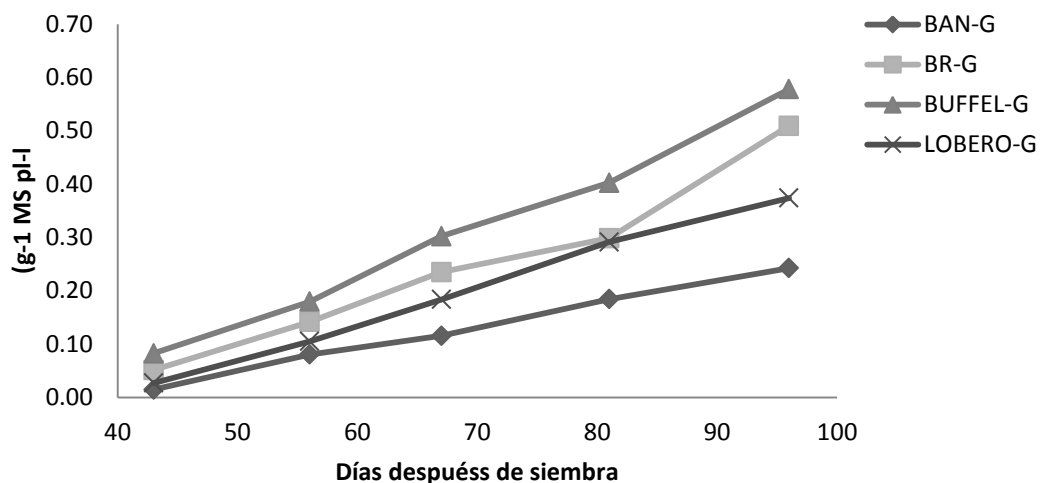


Figura 5. Biomasa ( $\text{g}^{-1}\text{MS pl}^{-1}$ ) promedio de carióspside grande de cuatro especies de pastos en cinco muestreos: Banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.; Navajita morada *Bouteloua radicata*; Lobero *Lycurus phleoides* y pasto Buffel *Pennisetum ciliare* (L.).

La materia seca total de pastos nativos e introducidos (cuadro 2), a los 43 dds no existen diferencias significativas entre especies y entre tamaño de carióspside, en muestreos posteriores, existe diferencias significativas entre especies y en tamaño de carióspside, en lo que se refiere a especie, el Buffel en carióspside grande sigue la misma tendencia, no significativo, en los cinco muestreos (cuadro 2). Hernández (2013) indica que en Rhodes no existe diferencia en el desarrollo utilizando carióspside grande o chico, dado que el carióspside chica es tan o más vigoroso en la producción de materia seca respecto al grande, no así en otras especies como navajita y banderita, banderita y este efecto desaparece a 80 días de la siembra en Buffel.

Cuadro 2. Biomasa total ( $\text{g}^{-1}\text{MS pl}^{-1}$ ) de tres variedades nativas y una introducida en cinco muestreos destructivos en condiciones de invernadero en Montecillo, Texcoco, Estado de México.

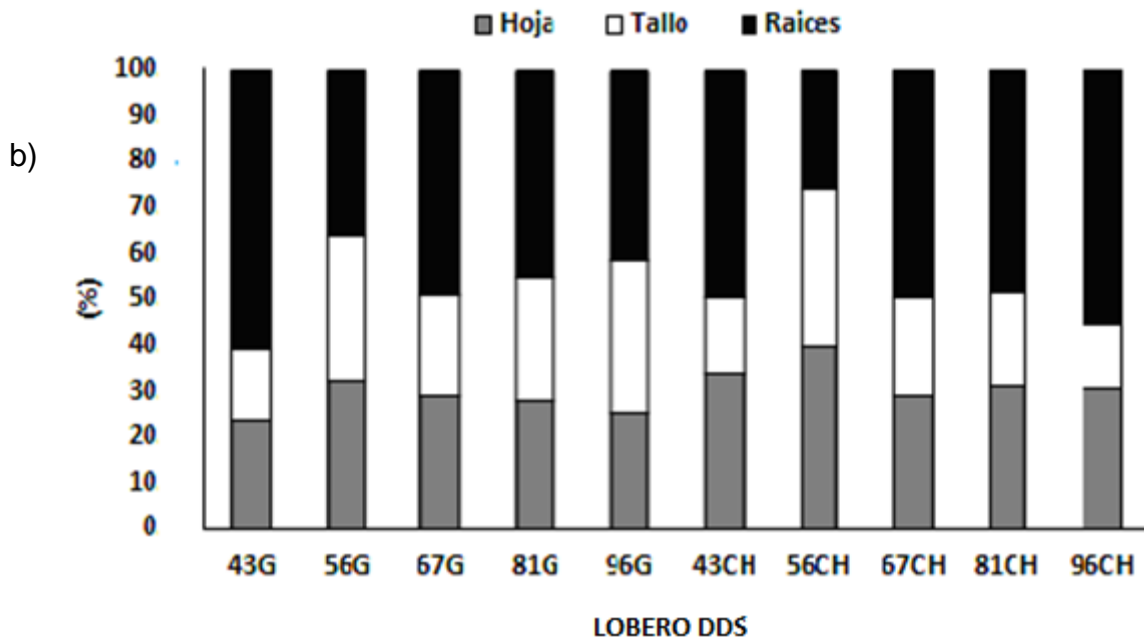
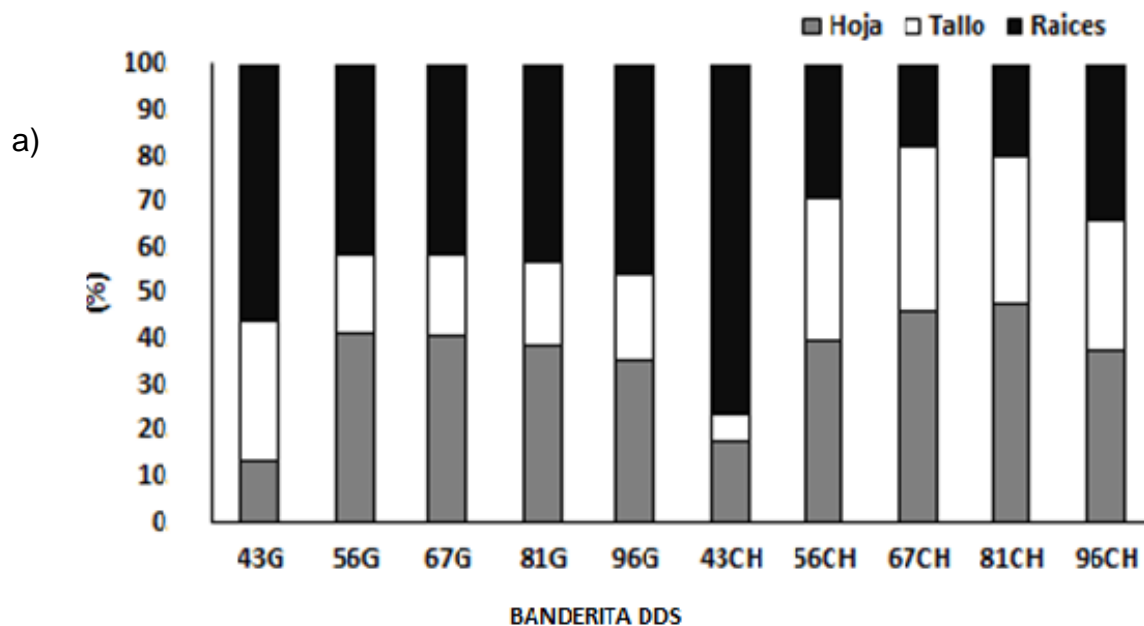
Gen	Tamaño	dds					Total				
		43	56	67	81	96					
<b>BANDERITA</b>	G	0.008	0.116	a	0.235	c	0.29	0.50	d	1.16	c
	Ch	0.022	0.099	b	0.168	d	0.23	0.33	e	0.86	d
	G	0.039	0.116	b	0.235	a	0.30	0.45	a	1.15	a
<b>N.MORADA</b>	Ch	0.036	0.099	b	0.168	d	0.23	0.33	c	0.87	b
	G	0.054	0.164	a	0.302	a	0.36	0.57	a	1.46	a
<b>BUFFEL</b>	G	0.041	0.015	a	0.211	b	0.28	0.45	a	1.14	a
	Ch	0.036	0.094	b	0.184	b	0.29	0.37	b	0.98	a
<b>LOBERO</b>	G	0.016	0.060	b	0.116	c	0.14	0.22	c	0.57	c
	Ch	0.019	0.082	0.094	0.092	0.112	0.16				
<b>DMSH</b>		0.019	0.082	0.094	0.092	0.112	0.16				
<b>Significancia</b>		ns	**	**	ns	**	**				

N.Morada=Navajita Morada, dds= días después de la siembra, G= Cariópside grande, Ch=Cariópside chico, DMSH = Diferencia mínima significativa honesta, NS = No significativo.

### 6.3. Composición morfológica

En composición morfológica (g), para la distribución de asignación de fotosintatos, se observaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ); en proporción raíz parte aérea, a 43 dds para cada uno de los genotipos en cariópside grande y chico, se registró mayor translocación de asimilados a la parte subterránea en cada uno de los genotipos, para los muestreos siguientes no se presentaron diferencias significativas, en proporción tallo ( $P < 0.05$ ); para hoja, se observaron diferencias en el primer muestreo, 43 dds ( $P > 0.05$ ). Se observaron diferencias

significativas en composición morfológica en proporción de hoja, tallo y raíz en carióspside grande del genotipo banderita a 43 dds a), en comparación con los cuatro muestreos en carióspside grande (Figura 5; Figura 6); por otra parte, para porcentaje de asignación a tallo, no se observó diferencia ( $P < 0.05$ ); para raíces, se observaron diferencias en los primeros muestreos y a 96 dds



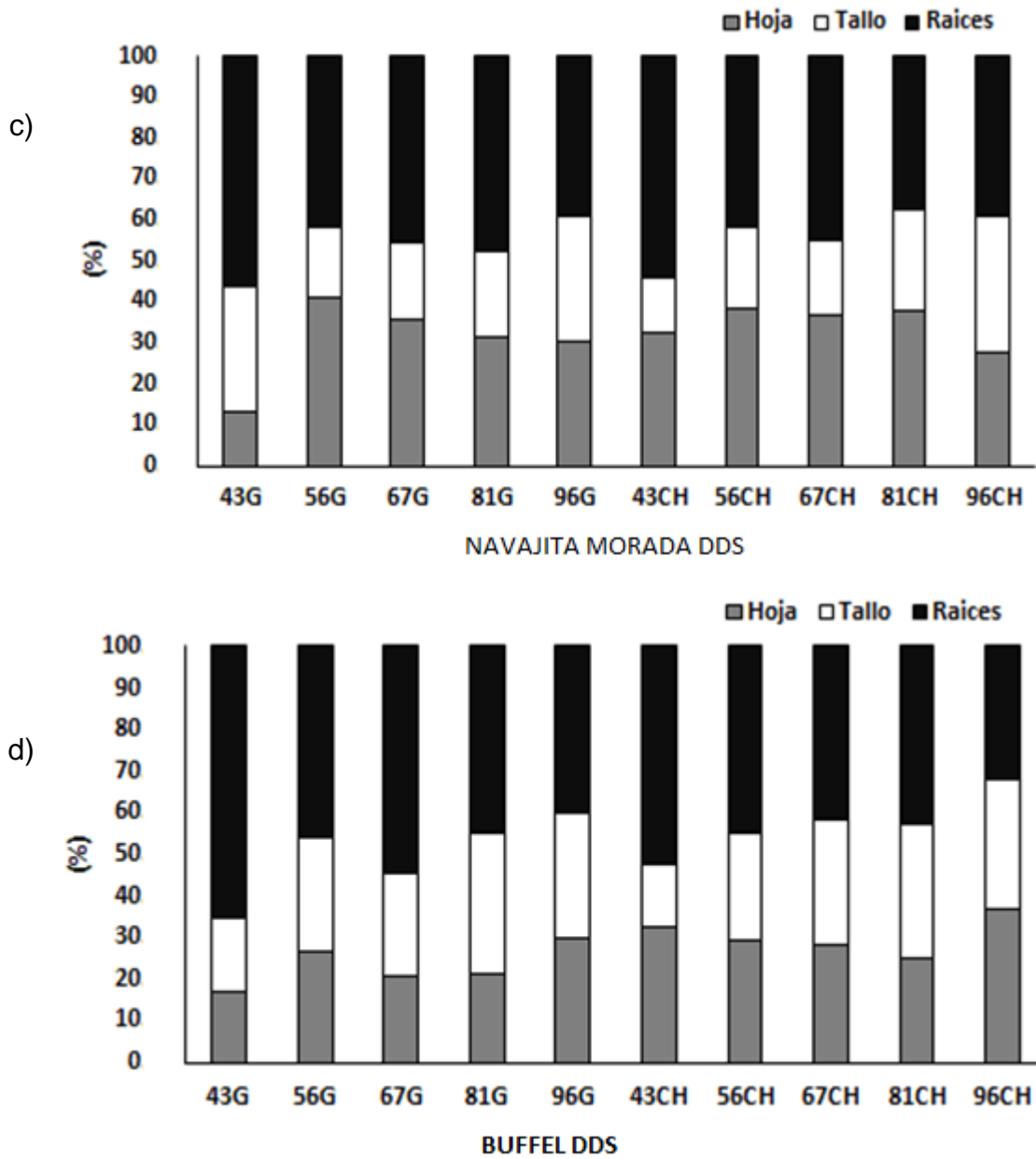


Figura 6. (a,b,c,d) Composición morfológica de cuatro genotipos de gramíneas a)Banderita;b)Lobero; c)Navajita morada; c)Buffel, mediante muestreos destructivos realizados a 43,56,67,81,96 dds en dos tamaños de cariósipide (grande y chico) en condiciones de invernadero, Colegio de Postgraduados campus Montecillo.



## 6.4 Tasas de crecimiento

### 6.4.1 Tasa media de asimilación neta (TAN)

La tasa media de asimilación neta es una medida de la eficiencia del follaje, la principal fuente de fotosintatos en la producción de materia seca e indica la velocidad de fotosíntesis neta en un lapso entre un muestreo y el siguiente (Escalante, 2015). En este estudio (Cuadro 3) la Tasa de Asimilación Neta más alta se registró durante los primeros 50 dds del cultivo en cada de especie estudiada. Banderita y Navajita morada en carióspside grande, mostraron el valor más alto. En carióspside chico Navajita morada y Lobero presentaron los valores más altos y Buffel el valor más bajo, en ambos tamaños de carióspside. La TAN disminuyó al avanzar el crecimiento.

Cuadro 3. Tasa de Asimilación Neta (TAN=  $\text{g cm}^2 \text{ d}^{-1}$ ) en cuatro especies de pastos nativos e introducidas, con diferente tamaño de carióspside, en cuatro intervalos de tiempo

Genotipo	Intervalos (dds)							
	43-56		57-67		68-81		82-96	
	Tamaño		Tamaño		Tamaño		Tamaño	
	CG	CCh	CG	CCh	CG	CCh	CG	CCh
<b>NAV</b>	0.67	0.25	0.06	0.10	0.001 ab	0.004 b	0.002	0.001
<b>BAN</b>	0.27	0.04	0.42	0.04	0.004 b	0.001 b	0.001	0.001
<b>LOBERO</b>	0.09	0.10	0.13	0.02	0.001 b	0.002 ab	0.001	0.001
<b>BUFFEL</b>	0.69	0.38	0.10	0.12	0.002 b	0.003 b	0.003	0.002
promedio	0.38	0.19	0.18	0.07	0.001	0.002	0.001	0.001
Sig	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns
DMHS	0.79		0.41		0.009		0.003	

dds= Días después de la siembra, G= Tamaño de carióspside grande, Ch= Tamaño de carióspside chico, \* $P \leq 0.05$ ; \*\* $P \leq 0.01$ . DMSH = Diferencia mínima significativa honesta, NS = No significativo.

. La disminución de la TAN puede atribuirse a la expansión del tejido vegetativo demandante y al auto sombreado generado por el mayor tamaño de dosel vegetal, al incrementar la densidad de población y al aumento de la senescencia de hojas (Scott y Batchelor,1979; Escalante-Estrada y Kohashi Shibata,1982 y Gómez *et al.*, 2007), indican que la producción total de biomasa de especies introducidas puede ser de nueve magnitudes mayores a aquella de especies nativas, en este caso se observó que Navajita morada tiene valores similares a los de la introducida Buffel en los intervalos de tiempo.

#### **6.4.2 Área foliar específica (AFE)**

El AFE varía con la intensidad lumínica o época del año; las especies más demandantes de luz, presentan una elevada área foliar específica (Beadle, 1988, Enríquez *et al.*, 2004). Una elevada AFE incrementa la apetencia y fragilidad de las hojas, al tiempo que se incrementa el riesgo de pérdidas prematuras de tejido (Lusk,2002, Enriquez.*et al.*, 2004). Se obtuvo valores altos en este índice de crecimiento, en Banderita, Lobero y Buffel después de los 68 dds (Cuadro 4), banderita mostró a el mayor valor a 96 dds.

Cuadro 4. Área foliar específica (AFE= cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) en variedades nativas e introducidas de gramíneas, con diferente tamaño de carióspside a partir de cuatro intervalos.

Variedad	43-56		57-67		68-81		82-96	
	CG	CCh	CG	CCh	CG	CCh	CG	CCh
<b>NAV</b>	0.8 ab	1.66 ab	14.7 b	1.9 b	132.3 ab	51.5 a	100.6	85.8
<b>BAN</b>	1.5 a	7.86 b	0.4 ab	14.6 ab	63.0 ab	288.0 ab	98.1	377.0
<b>LOBERO</b>	2.6 b	4.15 ab	9.5 ab	20.5 ab	73.8 ab	108.0 ab	171.9	107.2
<b>BUFFEL</b>	5.2 ab	1.02 b	6.2 ab	1.2 ab	66.7 ab	110.7 ab	92.1	65.3
promedio	2.5	3.67	7.7	9.5	83.9	139.5	115.7	158.9
<b>DMSH</b>	8.5		27.3		97.3		75.1	
<b>SIG</b>	*		*		*		Ns	Ns

NAV= Navajita morada.BAN=Banderita.C G= Tamaño de carióspside grande ,CCh= Tamaño de carióspside chico, \*P≤ 0.05; \*\*P≤0.01. DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.Ns=No significativo.

#### 6.4.3Tasa media de crecimiento absoluto (TCA)

La tasa de crecimiento absoluta (TCA) , parámetro pueden ser útil para la caracterización de crecimiento de órganos a través del tiempo (Grossman y DeJong, 1995, Bastías, 2014 ). Se observaron diferencias en el intervalo de tiempo que consta de 68 a 81 dds para TCA (P < 0.01; Cuadro 5), en los demás intervalos , no se presentaron diferencias significativas, en este estudio en intervalo anterior Navajita morada con carióspside grande y chico presentó valores mayores TCA a los demás genotipos estudiados; Buffel presentó valores superiores en el mismo intervalo que navajita morada en ambos tamaños de carióspside.

Cuadro 5. Tasa media de crecimiento absoluto (TCA= g d<sup>-1</sup>) en cuatro variedades nativas e introducidas, con diferente tamaño de cariósido, en cuatro intervalos de tiempo

Variedad	Intervalos (dds)									
	43-56		57-67		68-81		82-96			
	Tamaño									
	CG	CCh	CG	CCh	CG	CCh	CG	CCh		
<b>NAV</b>	0.008	0.004	0.01	0.007	0.004	ab	0.005	b	0.02	0.007
<b>BAN</b>	0.003	0.001	0.006	0.004	0.004	b	0.003	b	0.004	0.002
<b>LOBE</b>	0.001	0.003	0.012	0.006	0.001	b	0.001	ab	0.01	0.005
<b>BUFFEL</b>	0.008	0.008	0.13	0.005	0.005	b	0.005	b	0.02	0.012
promedio	0.38	0.19	0.18	0.07	0.001		0.002		0.001	0.001
Sig	Ns	ns	ns	ns	**		**		ns	ns
DMHS	0.79		0.41		0.009				0.003	

NAV= Navajita morada. BAN=Banderita dds= Días después de la siembra, CG= Tamaño de cariósido grande, CCh= Tamaño de cariósido chico, \*P≤ 0.05; \*\*P≤0.01. DMSH = Diferencia mínima significativa honesta, NS = No significativo.

#### 6.4.4 Tasa media de crecimiento relativo (TCR)

En este estudio se observaron diferencias en el intervalo de 68-81 días después de siembra en cariósido chico y grande (Cuadro 6), durante los primeros intervalos (muestreos), los genotipos que se evaluaron en este ensayo tuvieron valores mayores a medida que se realizaron los muestreos subsecuentes por intervalo los valores fueron disminuyendo, (Segura et al., 2006, Santos 2010) en papa se presentó durante la semana 4 después de emergencia valores altos, en general las variedades presentaron un comportamiento muy similar en la TCR .

Cuadro 6. Tasa media de crecimiento relativo (TCR=  $g\ g^{-1}\ d^{-1}$ ) en variedades nativas e introducidas con diferente tamaño de cariósido, en cuatro intervalos, en condiciones de invernadero en Montecillo, Texcoco, Estado. de México, México.

Gen	Intervalos (dds)							
	43-56		57-67		68-81		82-96	
	Tamaño							
	CG	CCh	CG	CCh	CG	CCh	CG	CCh
<b>NAV</b>	0.67 a	0.25 a	0.06 a	0.10 a	0.001 ab	0.004 b	0.002 a	0.001 a
<b>BAN</b>	0.27 a	0.04 a	0.42 a	0.04 a	0.004 b	0.001 b	0.001 a	0.001 a
<b>LOBERO</b>	0.09 a	0.10 a	0.13 a	0.02 a	0.000 b	0.002 ab	0.001 a	0.001 a
<b>BUFFEL</b>	0.69 a	0.38 a	0.10 a	0.12 a	-0.002 b	0.003 b	0.003 a	0.002 a
promedio	0.38	0.19	0.18	0.07	0.001	0.002	0.001	0.001
Sig	Ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns
DMHS	0.79		0.41		0.009		0.003	

NAV= Navajita morada. BAN=Banderita dds= Días después de la siembra, Gen=Genotipos evaluados, CG= Tamaño de cariósido grande, CCh= Tamaño de cariósido chico, \* $P \leq 0.05$ ; \*\* $P \leq 0.01$ . DMSH = Diferencia mínima significativa honesta, NS = No significativo.

### 6.5. Resistencia a Sequía de Gramíneas Nativas e introducidas

En condiciones de temporal, junto con la temperatura de crecimiento, la sequía es el factor principal, constante y cíclico que influye la producción de alimentos y forraje; por tanto, es fundamental la selección de genotipos con mayor eficiencia en el uso del agua (EUA; López, 1993), que produzcan mayor cantidad de materia seca por unidad de agua transpirada y presenten mayor resiliencia a los ciclos de abundancia y escasez e intensidad de estas condicionantes de disponibilidad de humedad en los agostaderos. Valores de 8.5 y 10  $kg\ ha^{-1}$  por mm de precipitación han sido reportados para pasto Rhodes y Buffel, respectivamente (Owens *et al.*, 2006), valores que deben ser

considerados para estudios de especies nativas para variabilidad genética en la eficiencia de uso de agua, con recursos genéticos ampliamente disponibles en México.

Por otra parte, en un futuro cercano, el cambio climático global modificará la cantidad y distribución de la lluvia globalmente, causando fuertes sequías en áreas proclives a recibir menor precipitación (Mukherjee *et al.*, 2018). La arquitectura radical varía entre especies, composición del suelo y principalmente, en respuesta a la disponibilidad de humedad y nutrientes; por tanto, esta resulta del balance en el desarrollo programado y las condiciones de humedad y nutrientes (Malamy, 2005).

El desarrollo radical permanece como un aspecto escasamente documentado a pesar de su importancia en la producción. En hortalizas se indican las ventajas y desventajas de diversas alternativas para monitorear el desarrollo radical, exponiendo metodologías escasamente utilizadas y aplicables para pastos forrajeros (Judd *et al.*, 2015). El contenido hídrico del suelo se mantuvo cercano a CC, sin que las plantas experimentaran estrés hídrico, desde su trasplante, hasta el día 191 después de trasplante (ddt). Para el tratamiento de sequía se suspendió el riego por 42 días a partir del día 191 ddt (Fig. 7)

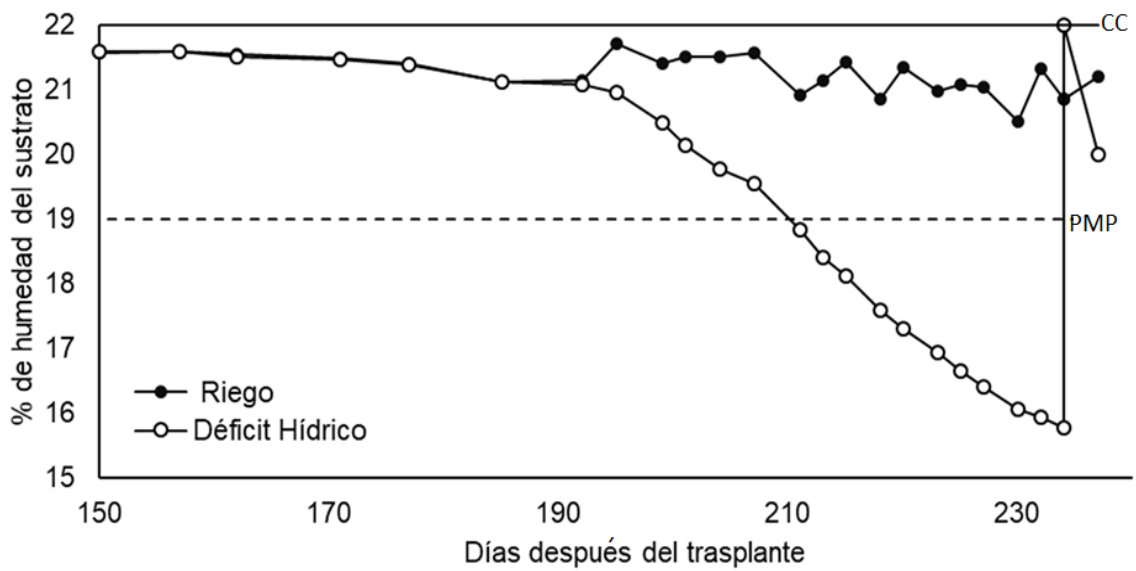


Figura 7. Contenido hídrico en el suelo de tratamientos de sequía y riego en especies nativas e introducidas de pastos. CC= Capacidad de campo. PMP= Porcentaje de marchitez permanente.

Las especies evaluadas mostraron distintas respuestas a los tratamientos de niveles de humedad en el suelo, dado que se observaron diferencias ( $P \leq 0.01$ ) entre especies. La distribución en términos de porcentaje de la producción de MS de raíz en los tratamientos de riego y sequía mostraron diferencias ( $P < 0.05$ ; Fig. 8; Cuadro 8). *Setaria viridis* en condiciones de riego, exploró los primeros dos estratos (0-30 y 31-60 cm); mientras que, en sequía, fue menor la exploración de las raíces en estos estratos.

Por su parte, pasto Buffel exploró principalmente el primer estrato en ambos tratamientos, al mostrar menor porcentaje de MS de raíz en estratos de mayor profundidad. Pasto Banderita en riego, tuvo un comportamiento proporcional en distribución de MS de raíces para los tres estratos considerados; sin embargo, en DH, produjo mayor cantidad de MS radical respecto al riego y el primer estrato (0-30 cm) resultó muy eficiente en la promoción del desarrollo de MS de raíz, asignando más fotoasimilados al desarrollo de ésta en el estrato superior.

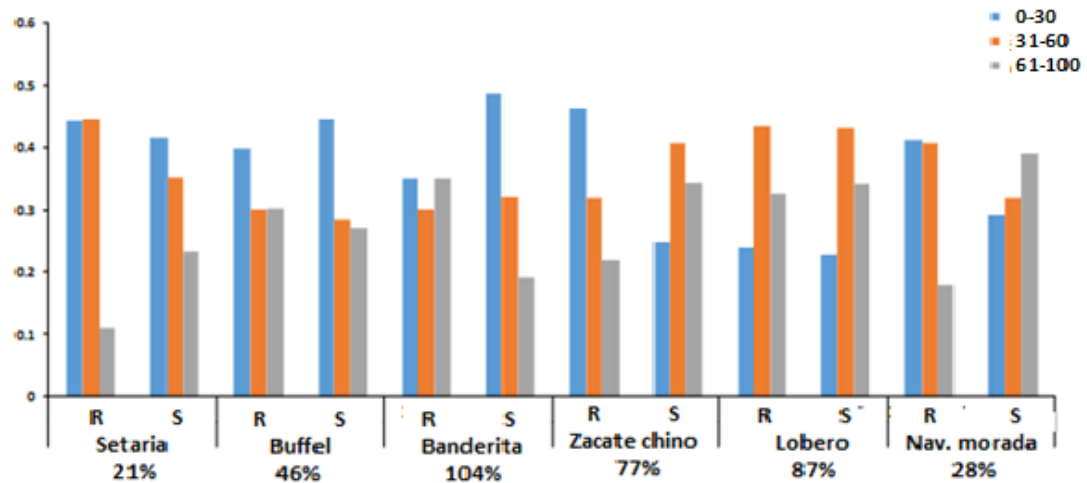


Figura 8. Comportamiento de crecimiento de raíces cm, de seis genotipos de gramíneas forrajeras cuantificado en tres estratos en condiciones de vivero en riego y sequía. Los valores en porcentaje se refieren a la cantidad de raíz producida en sequía respecto a aquella bajo riego (100%) dentro de especie.

Estudios realizados en variedades de cebada y trigo harinero han mostrado que un sistema radical vigoroso con abundantes ramificaciones de raíces laterales, de distribución uniforme en el suelo y cercano a la superficie, como es el caso de cebada, tienen mayor eficiencia en absorción y conducción del agua al interior de la planta (López y Richards, 1994). Esta estrategia es seguida por pasto Banderita nativo, debido a que tiene mayor adaptación a sequía.

La arquitectura de la raíz ha sido señalada como de gran importancia para minimizar los impactos negativos del DH e incluso se han clonado grupos de genes (QTL) que influyen la arquitectura radical (Dorlodot, *et al.*, 2007).

En condiciones de sequía, Banderita, comparado con los genotipos estudiados, mostró mayor porcentaje de asignación de fotosintatos hacia la raíz. Pasto Chino en el primer estrato (0-30cm) mostró mayor distribución de MS y Lobero no presentó diferencia con respecto al riego. Navajita morada en los



primeros dos estratos tiene mayor distribución en términos de porcentaje, en sequía hay mayor asignación en el último estrato (Cuadro 8). Ludíow y Muchow (1988), afirman que un sistema radical vigoroso y extenso combinado con mecanismos de escape al DH de la planta es una de las mejores estrategias de resistencia a sequía. *Setaria* en riego produjo mayor MS de la parte aérea y MS total de raíz; sin embargo, en sequía, no mostró buen desempeño en MS producida por raíces, fue la especie que registró el menor peso seco de raíz (30%) respecto al mismo peso seco de raíz en condiciones de riego, un comportamiento aproximado lo demostró Buffel (40% de MS radical mostrada en riego), el genotipo que resultó con comportamiento similar en peso seco de parte aérea en riego como en sequía, fue zacate chino, aunque no presentó la mayor acumulación.

En cociente raíz/parte aérea en sequía se presentaron los mayores valores, Buffel, *Setaria* y Banderita obtuvieron un alto cociente raíz /parte aérea y un peso menor en peso seco de la parte aérea. Banderita mostró un desarrollo radical proporcional en cada estrato evaluado en condiciones de riego y activó la exploración del estrato superior bajo condiciones de sequía, lo cuál ha sido señalado como un atributo seleccionado para materiales destacados para crecimiento activo invernal y sequía en variedades destacadas de ryegrass (Fig. 8; Crush *et al.*, 2005).

Además de su aceptación por el ganado y el mantenimiento de la calidad invernal del forraje en pastos nativos, esta productividad de Banderita la hace una especie con buenos atributos para realizar selección en la asignación de fotosintatos para el desarrollo de la raíz, mejorando su capacidad exploratoria y producción de MS en estratos superiores radicales. *Setaria* y Buffel produjeron mayor cantidad de MS aérea tanto en condiciones de riego como sequía; sin embargo, el peso seco de la parte aérea se vio afectado por la condición de déficit hídrico en las gramíneas estudiadas, esta afectación se reflejó en cada uno de los componentes morfológicos por especie, la restricción de humedad afecta fuertemente en el rendimiento de materia seca en los pastos evaluados

(Cuadro 7; Cuadro 8). Banderita fue el mayor productor de MS aérea entre los pastos nativos y, debido a su aptitud y superficie geográfica en la que permea (no requiere bajíos inundables como *Setaria*) supera en importancia a *Setaria*; similarmente, debido a su calidad en otoño e invierno, supera a Buffel en importancia para el ganado durante estas épocas.

Tanto en riego como en sequía, las especies que produjeron mayor cantidad de materia seca (MS) aérea concentraron la mayor proporción de raíz en el estrato superior. El pasto de charco (*Setaria viridis*) produjo mayor cantidad de MS en condiciones de riego y sequía; sin embargo, la superioridad sobre el segundo productor de MS (Buffel), se redujo en condiciones de sequía, produciendo únicamente 1.13 veces el rendimiento de MS aérea, respecto a Buffel, una reducción desde 1.5 magnitudes de producción en condiciones de riego. Banderita incrementó marcadamente la producción de MS radical en el estrato superior (0-30cm) respecto al riego y en condiciones de riego mantuvo una proporción de MS radical en los tres estratos considerados; similarmente, Banderita produjo mayor cantidad de MS radical bajo condiciones de sequía comparado a su producción en condiciones de riego.

En condiciones de sequía, *Setaria* (el mayor productor) rindió 30.5 % del rendimiento de MS aérea que mostró en condiciones de riego; por su parte, Buffel produjo 40.4% del rendimiento de MS aérea respecto a su producción en riego y Banderita produjo 39% de la MS aérea que mostró en condiciones de riego. La asignación de fotosintatos al desarrollo de raíz respecto a la parte aérea fue mayor en *Setaria* bajo condiciones de riego, dado que mostró 70% de MS radical de aquel mostrado por la parte aérea; sin embargo, esta asignación se redujo a 50% bajo condiciones de sequía. Buffel no mostró diferencias en la asignación de recursos al desarrollo radical en condiciones de riego o sequía, en ambos casos produjo 80% de MS radical respecto a la aérea.

Por efecto de la sequía, pasto Banderita incrementó el desarrollo radical, produciendo 140% más MS radical que aérea bajo condiciones de sequía con respecto a condiciones de riego con 50%. Junto con Banderita el pasto chino

mostró un incremento del cociente de MS radical aérea y Lobero duplicó su cociente, pasando de 30% a 70%. Lo anterior, puede ser una explicación de la persistencia de especies nativas ante sequías intensas. La morfología radical ha sido seleccionada en Ryegrass para que ocurra mayor desarrollo en los estratos superiores (Crush *et al.*, 2005), los cuales han sido destacados en producción invernal y asimilación de nutrientes por su mejor arquitectura (distribución radical para la exploración lateral) en el estrato superior.

Respecto a los componentes del rendimiento (Cuadro7), la sequía afecta marcadamente la producción de MS en hojas, tallos e inflorescencias tanto en pastos nativos como introducidos ( $P < 0.001$ ). La producción de materia seca en condiciones de riego fue mayor en comparación a sequía para hojas, tallos e inflorescencias, en pastos nativos en 3.1, 2.6 y 1.9 magnitudes, respectivamente y en pastos exóticos es 4.9, 2.5 y 2.5 magnitudes, respectivamente.

Cuadro 7. Biomasa aérea de pastos nativos e introducidos sujetos a dos condiciones de humedad en invernadero en Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

Concepto	PSH (g PI <sup>-1</sup> )	PST (g) PI <sup>-1</sup> )	PSI (g) PI <sup>-1</sup> )	PSPT (g PI <sup>-1</sup> )
Pastos nativos				
Riego	1.73 a <sup>¶</sup>	2.63 a	1.47 a	5.83 a
Sequía	0.55 b	1.03 b	0.76 b	2.34 b
Pastos introducidos				
Riego	5.95 a	6.93 a	3.73 a	16.60 a
Sequía	1.22 b	2.78 b	1.46 b	5.46 b

<sup>¶</sup> Medias con misma literal por columna, son promedios estadísticamente similares ( $P > 0.05$ ). DMS: diferencia mínima significativa, g PI<sup>-1</sup>= gramos por planta. PSH = Peso seco de hojas. PST = Peso seco de tallos. PSI = Peso seco de Inflorescencias. PSPT = Peso seco de parte aérea.

Cuadro 8. Peso seco (g) total de raíces (PSTR), peso seco (g) de la parte aérea (PSPA) en estratos de 0-30, 31-60 y 61-100 cm, en condiciones de riego y sequía.

Condición	Especie	Profundidad raíz (cm)			PSTR	PSPA	CRPA
		0-30	31-60	61-100			
Riego	<b>Setaria</b>	44 a <sup>‡</sup>	44 a	12 b	16.7 a	22 a	0.7
	<b>Buffel</b>	40 ab	30 b	30 a	12.7 a	14.6 b	0.8
	<b>Z. chino</b>	47 c	33 bc	20 b	4.3 b	5.3 cd	0.8
	<b>Banderita</b>	35 c	30 bc	35 b	4.7 b	9 bc	0.5
	<b>N. morada</b>	50 c	22 c	38 b	1.8 b	6.9 cd	0.2
	<b>Lobero</b>	30 c	35 c	35 b	1.7 b	4.4 cd	0.3
	<b>Buffel</b>	52 bc	25 bc	22 b	4.8 b	5.9 cd	0.8
Sequía	<b>Banderita</b>	49 bc	33 bc	18 b	4.9 b	3.5 cd	1.4
	<b>Setaria</b>	41 c	35 c	24 b	3.4 b	6.7 cd	0.5
	<b>Z. chino</b>	24 c	42 bc	34 b	3.3 b	3.1 cd	1.1
	<b>Lobero</b>	24 c	41 c	35 b	1.7 b	2.6 d	0.7
	<b>N. morada</b>	33 c	33 c	34 b	0.6 b	3.6 cd	0.2
Media riego		2.9	2.5	1.6	7	10.4	0.35
Media sequía		1.3	1.1	0.9	2.8	4.2	0.27

<sup>‡</sup> Medias con misma literal por columna, son promedios estadísticamente similares ( $P > 0.05$ ). Z. chino = Zacate chino *Bouteloua erecta* (Vasey y Hack.). N morada = Navajita morada *Bouteloua radicata* (Fourn.) Griffiths

La dinámica de desarrollo radical y productividad bajo condiciones de DH, son atributos valiosos para discriminar genotipos dentro de especie destacados para supervivencia y productividad bajo condiciones de DH, componente natural que deben enfrentar los sistemas de pastoreo dependientes de las lluvias. Las especies nativas muestran mayor versatilidad morfológica de raíz y, similarmente, de asignación de fotosintatos para ajustarse a condiciones de DH, apoyando el desarrollo radical; lo anterior, respecto a las dos especies introducidas evaluadas.

Existen recursos genéticos amplios de especies nativas para zonas áridas en México (Quero, 2013; Quero *et al.*, 2018), conviene explorar la versatilidad en el desarrollo radical de pastos nativos combinada con mayor rendimiento de MS aérea en condiciones de DH. Es importante señalar que los pastos nativos alcanzan su mayor productividad al tercer año de establecimiento, colonizan amplias superficies (en comparación con *Setaria*), contrario a pastos introducidos que al segundo año han alcanzado coronas radicales de buen tamaño.

## CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES

---

Desde el primer muestreo, Buffel mostró mayor acumulación de peso total de planta y así mantuvo la tendencia. sin embargo, para el muestreo a 81dds *Bouteloua radicata* recuperó una habilidad competitiva con Buffel. Seleccionar el tamaño de carióspside resulta benéfico. A mayor peso de carióspside mayor desarrollo y peso de plántulas con mayor desarrollo de raíz y parte aérea, efecto que no desapareció durante el periodo evaluado.

La tasa de asimilación neta (TAN) disminuye conforme se incrementa el crecimiento del cultivo. Se debe seguir investigando para lograr variedades competitivas ante condiciones de establecimiento desafiantes para el establecimiento de praderas de temporal en el semidesierto mexicano; lo anterior, entre especies nativas de alta estima.

Tanto en riego como en sequía, las especies que produjeron mayor cantidad de materia seca (MS) aérea concentraron la mayor proporción de raíz en el estrato superior. El pasto de charco (*Setaria viridis*) produjo mayor cantidad de MS en condiciones de riego y sequía; sin embargo, la superioridad sobre el segundo productor de MS (Buffel), se redujo en condiciones de sequía, produciendo únicamente 1.13 veces el rendimiento de MS aérea, respecto a Buffel, una reducción desde 1.5 magnitudes de producción en condiciones de riego.

Banderita incrementó marcadamente la producción de MS radical en el estrato superior (0-30cm) respecto al riego y en condiciones de riego mantuvo una proporción de MS radical en los tres estratos considerados; similarmente, Banderita produjo mayor cantidad de MS radical bajo condiciones de sequía comparado a su producción en condiciones de riego.

En condiciones de sequía *Setaria* (el mayor productor) rindió 30.5 % del rendimiento de MS aérea que mostró en condiciones de riego; por su parte, Buffel produjo 40.4% del rendimiento de MS aérea respecto a su producción en riego y Banderita produjo 39% de la MS aérea que mostró en condiciones de riego. La asignación de fotosintatos al desarrollo de raíz respecto a la parte

aérea fue mayor en Setaria bajo condiciones de riego, dado que mostró 70% de MS radical de aquel mostrado por la parte aérea; sin embargo, esta asignación se redujo a 50% bajo condiciones de sequía. Buffel no mostró diferencias en la asignación de recursos al desarrollo radical en condiciones de riego o sequía, en ambos casos produjo 80% de MS radical respecto a la aérea.

Por efecto de la sequía, pasto Banderita incrementó el desarrollo radical, produciendo 140% más MS radical que aérea bajo condiciones de sequía con respecto a condiciones de riego con 50%. Junto con Banderita el pasto chino mostró un incremento del cociente de MS radical aérea y Lobero duplicó su cociente, pasando de 30% a 70%. Lo anterior, puede ser una explicación de la persistencia de especies nativas ante sequías intensas.

Los pastos nativos tienen estrategias versátiles, respecto a al desarrollo, morfología y asignación de fotosintatos para apoyar el desarrollo radical y enfrentar condiciones de sequía. Setaria y Buffel fueron especies con mayor producción de MS. Entre las nativas Banderita mostró mayor asignación de recursos e incremento de MS de raíz en sequía. Se debe explorar la variabilidad genética de las especies nativas para seleccionar aquella que responda a condiciones de sequía, componente normal de los sistemas de producción extensiva en zonas semiáridas de México.

## CAPÍTULO VIII. LITERATURA CITADA

---

- Adda, A., M. Sahnoune, M. Kaid-Harch and O. Merah. (2005). Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal roots. *Comptes Rendus Biologies* 328: 918-927.
- Atencio, M. (2014). Comportamiento fisiológico de gramíneas forrajeras bajo tres niveles de humedad en condiciones de casa malla. *Revista Temas Agrarios* volumen 19.
- Bastias, M, R. (2014) Tasa de crecimiento absoluto y relativo como indicadores de fases de desarrollo del fruto de cerezo *Prunus avium*. *Revista Chilena Agrícola*. 30(2):89-98.
- Beetle, H. A. (1983). *Las Gramíneas de México*, Tomo 1, SARH, México. 260
- Beetle, H. A. (1987). Noteworthy grasses from Mexico XIII. *Phytologia* 209-297.
- Behar, R. D. S. (2008). *Metodología de la Investigación*. Cabo Verde: Shalom, disponible en internet.
- Beltrán L.S. (2017). "Titan " y "Regio", variedades de pasto Buffel (*Pennisetum ciliare*)(L.) Link para zonas áridas y semiáridas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*; 8(3):291-295.
- Carmona M. (2003). Resistencia a sequía de *Brachiaria* SPP. I. Aspectos fisiológicos. *Revista Fitotecnia Mexicana* [en línea].
- Conabio. (2012). Fichas de especie *Setaria viridis*. Sistema de información sobre especies invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Basado en: Valdés Reyna, J. 2008. Gramíneas invasoras del noreste de México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Bases de datos SNIB-CONABIO proyecto EK002. México, D.F.
- Conabio. (2017). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2 Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente



- del Estado de Durango, 3semarnat-Delegación Durango. 256
- Corrales, L., C. R. Morales, A. Melgoza, J. S. Sierra, J. A. Ortega, G. Méndez. (2016). Caracterización de variedades de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.], recomendadas para rehabilitación de pastizales. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 7:201-211.
- Córdova R. D. Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *pinus pinneana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencias* 45:495-506.2011.
- Crush, J. R., J. E. Waller, and D. A. Care. 2005. Root distribution and nitrate interception in eleven temperate forage grasses. *Gras & Forage Sci.* 60: 385-392.
- Cheplick, G.P., (1998). Seed dispersal and seedling establishment in grass populations. En: *Population biology of grasses*. G.P. Cheplick (Ed.). Cambridge University Press, Cambridge: 84–105.
- Dávila, P., P. Tenorio, E. Manrique, J. A. Miranda y A. Rodríguez. (1990). Listado florístico de las gramíneas de Puebla. *Listados florísticos de México VII*. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 51.
- Dávila A., P. 1996. La importancia de las gramíneas como forraje en México. *Revista Ciencias, UNAM* núm. 44, octubre-diciembre, pp. 32-34. [En línea]
- Dorlodot, S., B. Forster, L. Pages, A. Price, R. Tubersa, and X Draye. 2007. Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops. *TREND in Plant Sciences*. 12(10): 474-481.
- Enriquez-Quiroz, J. y Moya, E.y Garay, A. y Pérez A, y Pérez Pérez, J. y Quero-Carrillo, A. (2004). Análisis de crecimiento, área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto. *Técnica Pecuaria en México*.

- Escalante, E.J.A., Kohashi, S.J. 1982.Efecto del sombreado artificial sobre algunos parámetros del crecimiento en frijol (Phas Morales, N.C.R. (2009). Diversidad del pasto banderita (*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.), en poblaciones de zonas áridas y semiáridas de México. *Técnica Pecuaria Mexicana*,47(3) 231-244.*eolus vulgaris* L.). *Agrociencia* 48: 29-38.
- Escalante, E. J-A., y Kohashi, S. (2015). El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México: 84.
- Eschenhagen, M. L. (2007). Las cumbres ambientales internacionales y la educación ambiental. *Revista OASIS*, 12: 39-76.
- Escudero, N. C. (2000). Indicadores y retos para el desarrollo sustentable en México. *Bien común y gobierno*, 6 (72): 491-495.
- Ellis, N. R., L. A. Moore & M. A, Hein. (1948). Forage for livestock: plus and minus: an overaH view. En: *Grass The Yearbook of Agriculture U S., Government Printing Office United States, Dept. of Agriculture.*
- García E. (2004). Modificaciones al sistema climático de Köppen. 5a. ed. Instituto de Geografía. Serie de libros No. 6. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. México.
- Gewin V. 2010. An underground revolution. *Nature* 466:552-553.
- González-Ledesma M., Koch S.D. y Gómez-Sánchez M. (1998). Two New Species of *Festuca* (Gramineae:Pooideae) from Mexico. 8:147-151.
- Gould, F. y R. Moran. (1981). The grasses of Baja California, Mexico. *Memoir* 12. Society of Natural History. San Diego, California: 134.
- Gould, F. W. & R. B. Shaw. (1983). *Grass Systematics*, 2th edition, Texas A. & M. Union Press.397.
- Grossnickle, S. C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forest* 30: 273-294.
- Harrington, H. D. (1977). How to Identify Grasses and Grasslike plants. *The*

Shallow Press, Chicago Inc. Estados Unidos: 142.

Hernández, G.F.J. (2013). Tesis. Doctorado. Estrategia para Establecer Pastos en Temporal en Zonas Semiáridas en México. Colegio de Postgraduados. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Campus Montecillo: 96.

Hernández, S.L. (2017). Tesis. Maestría. Variabilidad en caracteres de resistencias a sequía y tolerancia a calor en cebada y trigo. Colegio de Postgraduados. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Campus Montecillo: 73.

Hurka, T. (1996). Desarrollo sostenible: ¿qué se debe a las generaciones futuras? *Unasylva*, (47): 187, Italia.

IPCC. (2014). *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova.

Judd, L. A., B. E. Jackson, and W. C. Fonteno. 2015. Advancements in root growth measurement technologies and observation capabilities for container-grown plants. *Plants* 4: 369-372. Doi:10.3390/plants4030369

Kellog, C. E. (1948). Grass and the soil. *Grass The Yearbook of Agriculture U. S., Government Printing Office United States, Dept. of Agriculture*: 49.

Lynch, J.P. 2007. Roots of the second green revolution. *Australian Journal of Botany* 55:493.

Lynch, J.P. (2013). Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize root systems. *Annals of Botany* 112:347–357.

Lynch, JP, y Wojciechowski, T. (2015). Oportunidades y desafíos en el

- subsuelo: caminos hacia cultivos más profundos. *Journal of Experimental Botany*, 66 (8): 2199-2210.
- López.C.C., Richards, R.A., Farquhar, D., Williamson. R. E. (1996). Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor in early vigor among temperature cereals. *Crop Sci.* 36: 1257-1266.
- López-Castañeda, C. (1993). Eficiencia en el uso del agua y discriminación de carbono en cereales. *Agrociencia* 4(4): 7-32.
- López-Castañeda, C., R.A. Richards, G.D. Farquhar and R.E. Williamson. (1996). Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Science* 36:1257-1266.
- López-Castañeda (2011). Variación en rendimiento de grano, biomasa y número de granos en cebada bajo tres condiciones de humedad del suelo. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14:907-918.
- Lopes, S. M. and M.P. Reynolds. (2010). Partitioning of assimilates to deeper roots is associated with cooler canopies and increased yield under drought in wheat. *Functional Plant Biology* 37(2):147-156.
- Ludlow, M. M. and R. C. Muchow. 1988. Critical evaluation of the possibilities for modifying crops for high production per unit of precipitation. In: Bidinger, F.R. and Johansen, C. (eds.). *Drought research priorities for the dryland tropics*. ICRISAT, Patancheru, India, p. 179-211
- Malamy, J. E. 2005. Intrinsic and environmental response pathways that regulate root system architecture. *Plant Cell Environ* 28:67–77 doi:10.1111/j.1365-3040.2005.01306.x.
- Martin, R.H.M. (2016). Impacto económico asociado con la cosecha de semilla de zamota y mezquite en la región central de Sonora, México. *Revista Mexicana de Agronegocios Año XX Volumen :38*.
- Mejía-Saulés, M. T. Y P. Dávila. (1992). Gramíneas Útiles de México. Serie Cuadernos No.16 del Inst. de Biología, UN.A.M. :298.
- Morales, N.C.R. (2009). Diversidad del pasto banderita (*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.), en poblaciones de zonas áridas y

- semiáridas de México. *Técnica Pecuaria Mexicana*,47(3) 231-244.
- Mukherjee, S., A. Mishra, K. E. Trenberth. 2018. Climate change and drought: a perspective on drought indices. *Current Climate Change Reports*. Published on line. April 2018. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0098-x>.
- Naylor, RE. (1980). Effects of seed size and emergence time on subsequent growth of perennial ryegrass. *New Phytologist*. 84: 313-318.
- Owens, J, L. Bell, D. Rodriguez, A Whitbread, J. Lawrence, and M. Mann. 2006. Comparing the water use efficiency of tropical pasture grasses and legumes used in Queensland's mixed farming systems. [https://www.researchgate.net/publication/237794411\\_Comparing\\_the\\_water\\_use\\_efficiency\\_of\\_tropical\\_pasture\\_grasses\\_and\\_legumes\\_used\\_in\\_Queensland's\\_mixed\\_farming\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/237794411_Comparing_the_water_use_efficiency_of_tropical_pasture_grasses_and_legumes_used_in_Queensland's_mixed_farming_systems). Consultado: Noviembre de 2018.
- Prasad, P.V.V., S.R. Pisipati, Z. Ristic, U. Bokovnik, and A.K. Fritz. (2008a). Impact of nighttime temperature on physiology and growth of spring wheat. *Crop Science* 48: 2372–2380.
- Pierri, N. (2005). Historia del concepto de desarrollo sustentable, en Guillermo Foladori y Naína Pierri (Coords.) (2005), *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable*. :27-81, Cámara de Diputados, Universidad Autónoma de Zacatecas y Miguel Ángel Porrúa, México.
- PMARP, (2012). Plan Maestro de la Alianza Regional para la Conservación de los Pastizales del Desierto Chihuahuense. 2012. Comisión para la Cooperación Ambiental. Montreal: 64.
- Pohl, R.W. (1986). Man and the Grasses: A History. En: *Grass Systematic and Evolution, An International Symposium Held at the Smithsonian Institute Washington*. Estados Unidos: 355-358.
- Quero, C. A. R., L. Miranda, F. J. Hernández, F. A. Rubio. (2014). Mejora del establecimiento de praderas de temporal. :31. Colegio de

- Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.
- Quero, C. A. R., A. Hernández G., L. Miranda J., J. Pérez P. y M. Sánchez H. (2010). Recursos genéticos para el pastoreo extensivo. In: Memoria del I Congreso Internacional de Manejo de Pastizales y II Simposio Internacional de Forrajes Tropicales. Chiapas. México: 94-98.
- Quero, C. A. R., L. Miranda, J. F. Villanueva. (2017a). Recursos genéticos de gramíneas para el pastoreo extensivo. Condición actual y urgencia de su conservación ante el cambio climático. Avances en Investigación Agropecuaria. 21: 63-85.
- Quero, C. A. R. 2013. A manera de prólogo. In: A. R. Quero (ed.) Gramíneas Introducidas. Importancia e Impacto en Ecosistemas Ganaderos. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km.36.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 167 p.
- Quero, C. A. R., L. Miranda J. y J. F. Villanueva A. 2018. Recursos genéticos de gramíneas para el pastoreo extensivo. Condición actual y urgencia de su conservación ante el cambio climático. Avances en Invest. Agropec. 21(3): 63-85.
- Rivas, T. D. (2005). Planeación, espacios verdes y sustentabilidad en el Distrito Federal. Tesis Doctoral, México, D.F., Universidad Autónoma Metropolitana.
- Risser, P. G. (1988). Biodiversity in and among grasslands. En: Biodiversity, E. O. Wilson editor, National Academic Press, Estados Unidos:166-180.
- Roshevits, R. Y. (1980). Grasses an Introduction to the Study of Fodder and Cereal Grasses, Pub. Smithsonian Institute and Nature Science, Foundation Washington, Estados Unidos. :1-14.
- Rzedowski (1976). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad Primera edición digital 2005. Primera edición en internet.
- Rzendowski, J. (2006). Vegetacion de Mexico. 1ra Edicion digital. Comision Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. Mexico. :504.

- Rzedowski, J., y G. Calderón de Rzedowski. (1990). Flora fanerogámica del Valle de México. Volumen III. Monocotyledoneae. Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro, Michoacán:494.
- Santos, P. (2013). Response mechanisms of *Brachiaria brizantha* cultivars to water deficit stress. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42(11) :767-773.
- Santos, S. T., 2016 El Zacate Banderilla (*Bouteloua curtipendula*)(Michx.)Torr.) en Chihuahua. Centro de Investigación Regional Norte Centro, Sitio Experimental La Campana,. Folleto tecnico n'um 48.
- Santos C.M.2010. Análisis de Crecimiento y Relación Fuente-Demanda de Cuatro Variedades de Papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Municipio de Zipaquirá(Cundinamarca, Colombia) *Revista.Facultad.Nacional.Agraria de .Medellín* 63(1): 5253-5266. 2010
- SAS, (2009). The SAS System release 9.1 for Windows. Cary, North Carolina, United States: SAS Institute, Inc.
- Sauceda A; Villaseñor Mir, C.; Lugo H.; Partida Ruvalcaba G.; González L; Reyes V.; Tamaño A. (2017). Granos de trigo analizados mediante procesamiento de imagen digital. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
- Sharp, R. E., Poroyko V., Hejlek, L. G. Spollen, W. G. Springer, G. K. Bohnert, H. J. and Nguyen H. T. 2004. Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. *J of Experimental Botany* 55(407): 2343-2351.
- Sierra, B. R. (1994). Técnicas de investigación social. Teoría y ejercicios. Madrid: Editorial Paraninfo, disponible en internet en: [https://significanteotro.files.wordpress.com/2017/08/docslide-com-br\\_tecnicas-de-investigacion-social-r-sierra-bravo.pdf](https://significanteotro.files.wordpress.com/2017/08/docslide-com-br_tecnicas-de-investigacion-social-r-sierra-bravo.pdf).
- Siqueiros ME. (2001). *Bouteloua curtipendula* (Michx). Torr. Systematics. PhD. Thesis, Claremont University, Claremont, California: 846

- Ticona, T.R. 2018. Prácticas de manejo y conservación del suelo y aguas resilientes a los eventos climáticos extremos en la microcuenca Mamaniri municipio de Ayo Ayo. **Apthapi**, La Paz, v. 4, n. 1, abr. 2018.
- Valdés, R., J. e I. Cabral C. (1993). Chorology of Mexican grasses. In: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). Biological diversity of Mexico, origins and distribution. Oxford University Press. Nueva York: 439-446.
- Valdés R., J. y P. Dávila. (1995). Clasificación de los géneros de gramíneas (Poaceae) mexicanas. *Acta Bot. Mex.* 33: 1-36.