



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

PRODUCCIÓN, CALIDAD DE SEMILLA Y ESTABLECIMIENTO DE PLÁNTULAS EN *Bouteloua* *curtipendula* (MICHX.) TORR.

EDITH RAMÍREZ SEGURA

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2023



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **PRODUCCIÓN, CALIDAD DE SEMILLA Y ESTABLECIMIENTO DE PLÁNTULAS EN *Bouteloua curtipendula* (MICHX.) TORR.**, realizada por la estudiante: **Edith Ramírez Segura**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)


Dr. Adrián Raymundo Quero-Carrillo

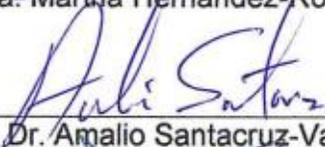
ASESOR (A)


Dra. Leonor Miranda-Jiménez

ASESOR (A)


Dra. Martha Hernández-Rodríguez

ASESOR (A)


Dr. Amalio Santacruz-Varela

ASESOR (A)


Dr. José Francisco Villanueva Avalos

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, enero de 2023

PRODUCCIÓN, CALIDAD DE SEMILLA Y ESTABLECIMIENTO DE PLÁNTULAS EN *Bouteloua curtipendula* (MICHX.) TORR.

Edith Ramírez Segura, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2023

RESUMEN

En México existe atraso tecnológico en materia de recursos genéticos forrajeros, debido entre otras cosas a la falta de programas de producción de semillas y la inexistencia de normas para la comercialización de semilla de pastos, aunado a la poca importancia dada por parte de los productores. El uso de semilla de calidad física, fisiológica, sanitaria y genética permitirá asegurar un buen establecimiento de los recursos genéticos forrajeros en México (Gold *et al.*, 2004; Senra, 2007; Morales *et al.*, 2017). El objetivo de esta investigación fue determinar la calidad del propágulo a sembrar, conocer la morfología de la cariósida, determinar si existe diferencias a la emergencia entre variedades de *Bouteloua curtipendula* sembradas a distintas profundidades de siembra, identificar el momento óptimo de cosecha de semilla tomando como referencia marcadores de madurez fisiológica y asociarlos a parámetros de calidad física y fisiológica en semilla botánica (cariósida; Cs), además de proponer un protocolo que permita realizar una correcta evaluación de la viabilidad y vigor en gramíneas nativas de zonas áridas y semiáridas de México. Se estudiaron seis variedades de *Bouteloua curtipendula* NdeM-5, NdeM-62, NdeM-125, NdeM-La Resolana, NdeM-303 y NdeM-417, generadas por el Colegio de Postgraduados, se determinó la morfología del Cs y atributos asociados a la calidad del Cs (viabilidad y germinación), se evaluó la velocidad de emergencia a distintas profundidades de siembra. Los datos se sometieron a un análisis de varianza, con base en un diseño experimental factorial completamente al azar. La comparación de medias de los tratamientos se efectuó mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de 0.05. Además, se realizó un análisis de correlación entre los parámetros de calidad física y fisiológica y el porcentaje de emergencia a distintas profundidades de siembra. Los resultados mostraron que las Cs de banderita tiene forma alargada, las Cs grandes (CsG), presentaron mayor viabilidad, germinación y plantas sobresalientes respecto a las Cs chicas (CsCh), la profundidad de siembra óptima fue 1-2 cm, tanto el coleótilo como el coleótilo son responsables de la emergencia de plántulas. El momento óptimo de cosecha es a partir del día 28 a 33 post anthesis, cuando la coloración del culmo y espiguillas presenta coloración beige, beneficiar semilla mediante limpieza mecánica evita daños en el embrión de las Cs. Se logro ajustar un protocolo estándar para realizar la prueba de viabilidad en cuatro especies nativas *Bouteloua curtipendula* (Michx. Torr., Gigante *Leptochloa dubia* Kunth, Punta Blanca *Digitaria californica* (Benth.) Henrard, Tempranero *Setaria macrostachya* Kunth) y una naturalizada, pasto Buffel *Cenchrus ciliaris* L determinando como tiempo óptimo de imbibición de 3-4 horas, la concentración de 0.1 % TZ garantiza la correcta tinción y evaluación de las estructuras embrionarias.

Palabras clave: calidad física y fisiológica, coleótilo, emergencia, mesocótilo, beneficio de semilla, rendimiento, viabilidad.

PRODUCTION, SEED QUALITY AND SEEDLING ESTABLISHMENT IN *Bouteloua curtipendula* (MICHX.) TORR.

Edith Ramírez Segura, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2023

ABSTRACT

In Mexico there is a technological delay in genetic resources for rajeños, due among other things to the lack of seed production programs and the non-existence of standards for the commercialization of pasture seeds, coupled with the little importance given by the producers. The use of seed of physical, physiological, sanitary and genetic quality will ensure a good establishment of forage genetic resources in Mexico (Gold et al., 2004; Senra, 2007; Morales et al., 2017). The objective of this research was to determine the quality of the propagule to be planted, to know the morphology of the caryopsis, to determine if there are differences in the emergence between varieties of *Bouteloua curtipendula* planted at different planting depths, to identify the optimal moment of seed harvest taking as reference markers of physiological maturity and associate them with parameters of physical and physiological quality in botanical seed (caryopsis; Cs), in addition to proposing a protocol that allows a correct evaluation of viability and vigor in native grasses of arid and semi-arid areas of Mexico. Six varieties of *Bouteloua curtipendula* NdeM-5, NdeM-62, NdeM-125, NdeM-La Resolana, NdeM-303 and NdeM-417, generated by the Postgraduate College, were studied, the morphology of the Cs and attributes associated with the Cs quality (viability and germination), the emergence speed was evaluated at different planting depths. The data were subjected to an analysis of variance, based on a completely randomized factorial experimental design. The comparison of means of the treatments was carried out using the Tukey test, with a significance level of 0.05. In addition, a correlation analysis was carried out between the physical and physiological quality parameters and the emergence percentage at different planting depths. The results showed that the Cs of *Bouteloua curtipendula* have an elongated shape, the large Cs (CsG), presented greater viability, germination and outstanding plants with respect to the small Cs (CsCh), the optimal planting depth was 1-2 cm, both the coleoptile such as the coleoptile are responsible for the emergence of seedlings. The optimal harvest time is from day 28 to 33 post anthesis, when the coloration of the culm and spikelets present beige coloration. Benefiting the seed by mechanical cleaning prevents damage to the Cs embryo. It was possible to adjust a standard protocol to carry out the viability test in four native species *Bouteloua curtipendula* (Michx. Torr., Giant *Leptochloa dubia* Kunth, White Tip *Digitaria californica* (Benth.) Henrard, Early *Setaria macrostachya* Kunth) and one naturalized Buffel grass *Cenchrus ciliaris* L determining as optimal imbibition time of 3-4 hours, the concentration of 0.1% TZ guarantees the correct staining and evaluation of the embryonic structure.

Keywords: coleoptile, emergence, mesocotile, seed benefit, physical and physiological quality, viability, yield.

AGRADECIMIENTOS

A México, a cada persona que, con sus impuestos, ha contribuido a lo largo de mi formación académica con el otorgamiento de una beca; con la cual, he podido continuar mi preparación profesional, especialmente al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo otorgado en la realización de mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados campus Montecillo, especialmente al programa de Recursos Genéticos y Productividad–Ganadería, por darme la oportunidad de seguir creciendo intelectualmente.

Al Dr. Adrián Raymundo Quero Carrillo, por las ideas propuestas para la realización de este trabajo, por haber financiado cada uno de los experimentos realizados, por su apoyo incondicional en todo momento, por estar siempre pendiente a las necesidades de cada uno de sus estudiantes, por el tiempo brindado para revisar y enriquecer la investigación, por la oportunidad de aprendizaje en el amplio campo de los forrajes, gracias por las sugerencias para mejorar este manuscrito y sobre todo gracias por su amistad y apoyo aún en los malos momentos. Usted y la Dra. Leonor han sido piezas claves en mi formación académica y profesional, les estimo mucho.

Al Dr. Javier Suárez Espinosa, por su tiempo y apoyo, gracias por mostrar en todo momento su sencillez y calidez humana.

A la Dra. Martha Hernández, al Dr. Amalio Santacruz Varela y al Dr. Ricardo Lobato por la amistad brindada, por creer en mí, alentarme a no desistir y dar en todo momento lo mejor para alcanzar mis sueños. Son gran ejemplo de profesionalismo, humildad, calidad humana, crítica y científica, sus clases han sido fuente de inspiración pues ustedes son excelentes transmitiendo los conocimientos, gracias por todo, los llevo en mi corazón y les aprecio profundamente.

Al Dr. Carlos Trejo López, por las charlas, por compartir el gusto por la ciencia, la literatura, la historia, el cosmos, la física, gracias por confiar en mí y creer en mis sueños, admiro muchísimo su sencillez, amabilidad, apoyo incondicional, entusiasmo, paciencia y habilidad para transmitir el conocimiento, es usted un ser humano extraordinario.

Al M.C. Adrián Hernández Livera, por las facilidades otorgadas para utilizar el Laboratorio de Análisis de Semillas y realizar las actividades de investigación.

Gracias a cada uno de los trabajadores de campo y laboratorio que me brindaron su amistad y apoyo en los momentos críticos de la investigación, este trabajo de investigación se pudo concretar en gran parte gracias a ustedes: Fabi, Martín, Chato, Erick, Verónica, Rodolfo, Cabra, Miguel, Caro, Yahir, a los “diablitos”, Lucí, Citlali, espero no olvidar a nadie y si lo hago pido disculpas pues detrás de esta investigación hubo mucho trabajo, pero también risas y mucho cariño. ¡Gracias!

Gracias a las personas que a lo largo de los años se han sumado a mi vida y brindado su amistad, gracias por las risas, por su compañía, por confiar en mí, por escucharme y alentarme en los momentos más difíciles, por cada una de sus palabras llenas de cariño que me han impulsado para continuar en la realización de mis sueños, de verdad gracias Irais, Zaira, Damaris, Yasmín, Monse, Alfredo, Javi, Jorge Maldonado, Calihua, Uriel, Marce, Chivis, Itzel, Genny y tantas otras personas que probablemente omito, sin intención de hacerlos menos, todos y cada uno de ustedes son importantes en mi vida y han dejado una huella en mi corazón.

DEDICATORIA

A mis hijos

Santiago y Máximo

Los hombres que dan sentido a mi vida,
Aún en los días más
Difíciles, su sonrisa y amor
Incondicional me dan la fuerza
Para sobreponerme
Y continuar,
Ustedes son el motor de mi vida
Su risa, su voz, **su existencia**
son la alegría de mi corazón.

A mi papá

Martín Ramírez Islas

El hombre que me enseñó el valor
Del trabajo, el amor,
La honestidad, la lealtad y la gratitud.
La persona que jamás ha dudado
De mi capacidad y mis sueños,

A mi mamá

María Cruz Segura Palacios

La mujer que más admiro por
Su entereza, su entusiasmo, su honradez,
Por su fuerza inquebrantable,
Gracias a tu apoyo incondicional
He logrado alcanzar mis metas,
Este logro también es tuyo
Sin ti
Nada de esto hubiese sido posible.

¡Los amo!

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA.....	vii
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xiv
SIGLAS Y ABREVIATURAS	xvii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Hipótesis	2
Hipótesis Específicas	2
Objetivo General	3
Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO I. MORFOLOGÍA DE CARIÓPSIDE, GERMINACIÓN, EMERGENCIA Y DESARROLLO DE PLÁNTULA EN <i>BOUTELOUA CURTIPENDULA</i> (MICHX.) TORR..	5
1.1 RESUMEN	5
1.2 ABSTRACT	6
1.3 INTRODUCCIÓN	7
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
1.4.1 Clasificación de Cs por tamaño	8
1.4.2 Peso de mil semillas (P1000S)	8
1.4.3 Viabilidad	9
1.4.4 Germinación	9
1.4.5 Vigor y velocidad de emergencia.....	9
1.4.6. Análisis de datos.....	10
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
1.6 CONCLUSIONES	24
CAPÍTULO II. VIABILIDAD Y VIGOR EN SEMILLA DE CUATRO GRAMÍNEAS (POACEAE), NATIVAS DE ZONAS ÁRIDAS DE MÉXICO Y UNA NATURALIZADA...	25
2.1 RESUMEN	25
2.2 ABSTRACT	26

2.3 INTRODUCCIÓN	27
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS	28
2.4.1 Material genético.....	28
2.4.2 Viabilidad	29
2.4.3 Envejecimiento acelerado (EA).....	30
2.4.4 Prueba de conductividad eléctrica (CE).....	30
2.4.5 Variables evaluadas.....	30
2.4.6 Análisis de la información	31
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
2.5.1 Tempranero <i>Setaria macrostachya</i> Kunth	35
2.5.2 Punta Blanca <i>Digitaria californica</i> (Benth.) Henrard.....	36
2.5.3 Banderita <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.....	37
2.5.4 Gigante <i>Leptochloa dubia</i> Kunth.....	38
2.5.5 Buffel <i>Pennisetum ciliare</i> (L.) Link (Sin. <i>Cenchrus ciliaris</i> L.).....	39
2.6 CONCLUSIONES	45
CAPÍTULO III. DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE <i>BOUTELOUA CURTIPENDULA</i> , DE CERO A 45 DÍAS, CON CARIÓPSIDES CLASIFICADAS Y DIFERENTE PROFUNDIDAD DE SIEMBRA	47
3.1 RESUMEN	47
3.2 ABSTRACT	48
3.3 INTRODUCCIÓN	49
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS	50
3.4.1 Sitio experimental	50
3.4.2 Material genético.....	50
3.4.3 Diseño y unidad experimental.....	51
3.4.4 Variables evaluadas.....	51
3.4.5 Diseño experimental	52
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
3.6 CONCLUSIONES	63
CAPÍTULO IV. MADUREZ FISIOLÓGICA EN SEMILLA DE PASTO BANDERITA, MOMENTO ÓPTIMO DE COSECHA Y DAÑOS DURANTE EL BENEFICIO.....	66

4.1 RESUMEN	66
4.2 ABSTRACT	67
4.3 INTRODUCCIÓN	68
4.4 MATERIALES Y MÉTODOS	69
4.4.1 Sitio experimental	69
4.4.2 Manejo agronómico	69
4.4.3 Caracterización morfológica	70
4.4.4 Días de antesis hasta llenado de grano	71
4.4.5 Determinación de daño físico durante el beneficio	71
4.4.6 Componentes del rendimiento de semilla	71
4.4.7 Porcentaje de Viabilidad	72
4.4.8 Prueba de germinación	72
4.4.9 Diseño experimental	73
4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
4.6 CONCLUSIONES	84
DISCUSIÓN GENERAL	85
CONCLUSIÓN GENERAL	90
LITERATURA CITADA	91
ANEXOS	102

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1 Morfometría (largo, ancho y grosor, mm) de seis variedades de <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr., con tamaño diferente de carióspside.....	12
Cuadro 2.2 Peso de mil semillas (P1000S) en gramos de seis variedades de <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr., con tamaño diferente.....	15
Cuadro 2.3 Porcentaje de viabilidad de seis variedades de <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr., con tamaño diferente.	16
Cuadro 2.4 Porcentaje de germinación, ajustado a plántulas normales, de seis variedades de <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr., con tamaño diferente.	17
Cuadro 2.5 Velocidad de emergencia de carióspsides de seis variedades de <i>Bouteloua curtipendula</i> clasificadas por tamaño y sembradas a 1 cm de profundidad, (a) Carióspside chico y (b) Carióspside grande, bajo condiciones de invernadero.....	18
Cuadro 2.6 Desarrollo y elongación de mesocótilo y coleóptilo (mm) en seis variedades de <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr., con tamaño diferente de carióspside durante los primeros 25 días después de emergencia (dde).	20
Cuadro 2.7 Elongación de hoja y raíz (mm) en seis variedades de <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr., con tamaño diferente de carióspside, hasta 25 días post-emergencia (dde).....	21
Cuadro 2.8 Peso seco de hoja y raíz (mg) en seis variedades de <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr., con diferente tamaño de carióspside, durante los primeros 25 días después de emergencia (dde).....	23
Cuadro 3.1 Viabilidad y vigor a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en carióspsides de <i>Setaria macrostachya</i> Kunth.....	36
Cuadro 3.2 Embriones viables vigorosos, con vigor medio y no viables (porcentaje), a diferente concentración de tetrazolio, corte y tiempo de imbibición	

(horas), en cariópsides de Punta Blanca <i>Digitaria californica</i> (Benth.) Henrard.	37
Cuadro 3.3 Embriones viables y vigorosos, viables con vigor medio y no viables (%), en respuesta a diferentes concentraciones de tetrazolio, corte y tiempo de imbibición (horas) en cariópsides de <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.	38
Cuadro 3.4. Embriones viables vigorosos, viables con vigor medio y no viables (%), a diferente concentración de tetrazolio, corte y tiempo de imbibición en cariópsides de <i>Leptochloa dubia</i> Kunth.....	39
Cuadro 3.5 Embriones viables vigorosos, viables de vigor medio y no viables (%), a diferente concentración de tetrazolio, corte y tiempo de imbibición en cariópsides de Buffel <i>Pennisetum ciliare</i> (L.) Link (Sin. <i>Cenchrus ciliaris</i> L.).....	40
Cuadro 3.6 Germinación, viabilidad, longitud de plúmula y de radícula en cariósido de cuatro gramíneas nativas y una exótica de zonas áridas, sometidas a dos pruebas de vigor.	44
Cuadro 4.1 Porcentaje de viabilidad de seis variedades de <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr., con tamaño diferente.	53
Cuadro 4.2 Porcentaje de germinación de seis variedades de <i>Bouteloua</i> <i>curtipendula</i> (Michx.) Torr., con tamaño diferente.	54
Cuadro 4.3 Elongación de mesocótilo y coleóptilo (mm) en plántulas de seis variedades de <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr., a diferente profundidad de siembra.....	56
Cuadro 4.4 Longitud de hoja y raíz (cm) en plántulas de seis variedades de <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr., a diferente profundidad de siembra en condiciones de invernadero.....	61
Cuadro 4.5 Área foliar y radicular (cm ²) en plántulas de seis variedades de <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) a diferente profundidad de siembra en condiciones de invernadero.....	62

Cuadro 4.6 Biomasa total (mg MS), biomasa de hoja y raíz de cinco plántulas de seis variedades de <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr., a diferentes profundidades de siembra, en condiciones de invernadero.	65
Cuadro 5.1 Caracterización morfológica de acuerdo a distintos tipos de marcadores morfológicos en <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.	74
Cuadro 5.2 Peso de espiguillas, cariósides (tamaño chico y grande), porcentajes de viabilidad y germinación de las semillas colectadas a partir del día 20 después de antesis hasta el día 34.	76
Cuadro 5.3 Porcentaje de cariósides obtenidas de acuerdo a dos distintos métodos de limpieza en <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.	77
Cuadro 5.4 Porcentaje de daños observados en cariósides, obtenidas por dos distintos métodos de limpieza, en <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.	78
Cuadro 5.5 Componentes del rendimiento obtenido en parcelas de <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr., con diferentes números de corte.	79
Cuadro 5.6 Rendimiento de semillas en <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr., por sección de pedúnculo floral.	81
Cuadro 5.7 Peso promedio de mil semillas (P1000S), porcentaje de viabilidad y germinación en semillas en <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr., provenientes de parcelas con diferentes números de corte.	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Proporción morfológica de cariósides clasificadas por tamaño: chica (Ch) y en <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.....	13
Figura 2.2 Proporción morfológica de seis variedades de <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.	14
Figura 3.1 Tipo de propágulos utilizados como semilla en pastos. a). Banderita, a1). Ramas primarias de varias espiguillas, a2). Ramilla, a3). Espiguilla individual y a4). Cariósida. b) Gigante, b1). Ramas primarias de varias espiguillas, b2). Ramilla, b3). Espiguilla individual y b4). Cariósida. c). Buffel c1). Ramas contraídas primarias tipo espiga, c2). Flósculo aristado conteniendo una o más cariósides, c3). Flósculo desaristado, c4). Cariósida. d). Tempranero, d1). Ramas primarias de varias espiguillas, d2). Espiguilla individual y d3). Cariósida y e). Pasto Punta Blanca, e1). Ramas primarias de varias espiguillas, e2). Espiguilla individual y e3). Cariósida.	28
Figura 3.2 Cariósides viables de pasto banderita <i>Bouteloua curtipendula</i> (izquierda) y Tempranero <i>Setaria macrostachya</i> (derecha) teñidos por completo. Se muestran las áreas que conforman a la cariósida, así como las partes embrionarias esenciales para la evaluación de viabilidad.	33
Figura 3.3 Corte longitudinal en <i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr. a, b, c, d) Cariósides pertenecientes a la Clase 1; e, f, g, h, i) Cariósides pertenecientes a la Clase 2.	33
Figura 3.4 Cariósides no viables de <i>Bouteloua curtipendula</i> post-tinción con tetrazolio. a) mesocótilo y radícula sin teñir; b) coleorriza y radícula sin teñir; c) mesocótilo sin teñir; d) meristemo apical, mesocótilo, radícula poco teñidos, color rosa; e) Escutelo banda unión con mesocótilo, radícula y coleorriza sin teñir y f) plúmula, coleóptilo y escutelo sin teñir (Clase 3).....	34

Figura 3.5 Cariópsides enteras de <i>Digitaria californica</i> (Benth.) Henrard y corte longitudinal, a y b) Cariópsides Clase 1; c y d) Cariópsides Clase 2; e y f) Cariópsides pertenecientes a la Clase 3.....	34
Figura 3.6 Cariópsides enteras y con corte longitudinal de <i>Leptochloa dubia</i> Kunth, a y b) Cariópsides Clase 1; c) Cariópsides Clase 2; d y e) Cariópsides Clase 3.....	34
Figura 3.7 Cariópsides enteras de <i>Setaria macrostachya</i> Kunth y corte longitudinal. a y b) Cariópsides Clase 1; c y d) Cariópsides Clase 3; e) Cariópside sin embrión por lesión durante la escarificación y/o atributo de especie (pérdida del eje embrionario).....	35
Figura 3.8 Embrión con corte longitudinal de <i>Pennisetum ciliare</i> (L.) Link (Sin. <i>Cenchrus ciliaris</i> L.), a y b) Cariópsides Clase 1; c y d) Cariópsides Clase 2; e y f) Cariópsides Clase 3, con embrión necrosado.....	35
Figura 3.9 Porcentaje total de germinación de cuatro especies forrajeras nativas y una exótica, sometidas a prueba de conductividad eléctrica.....	42
Figura 3.10 Porcentaje total de germinación de cuatro especies forrajeras nativas y una naturalizada en el semi-árido de México, sometidas a envejecimiento acelerado.....	43
Figura 4.1 a) Prueba de viabilidad; b) Prueba de germinación estándar; c) Esterilización de sustrato por método de arrastre; d) Siembra en tubetes; e) plántulas a 1 cm de profundidad de siembra al cuarto día después de siembra; f) plántulas de 30 días después de emergencia; g) muestreos destructivos.....	52
Figura 4.2 Velocidad de emergencia de seis variedades de <i>Bouteloua curtipendula</i> en cariópsides clasificadas por tamaño chico (izquierda) y grande (derecha) sembradas a tres distintas profundidades de siembra (1, 2 y 3 cm, respectivamente).....	55
Figura 4.3 Mesocótilo, estructura embrionaria entre el nodo coleóptilo y la parte basal de la raíz seminal; el cual, en las plántulas juega un papel importante en empujar la punta del brote a través de la superficie del suelo durante la germinación (Lee <i>et al.</i> , 2012), depende de la luz,	

temperatura, humedad y salinidad del suelo y, por tanto, como resultado de la profundidad de siembra. a) Semilla de pasto banderita con coleóptilo, coleorriza y radícula con 12 h de imbibición; b) plántula de pasto banderita siete días después de germinación.	57
Figura 5.1 a) Siembra en parcelas de pasto banderita variedad NdeM-303, b) parcelas con 15 días de establecimiento, c) parcelas con un mes de establecimiento, d) planta con cinco meses de establecimiento, e) corte de homogenización, f) cosecha de semilla.....	70
Figura 5.2 a) Cosecha de pasto banderita, b) pedúnculos florales separados por coloración, c y d) espiguillas con distinto color.....	71
Figura 5.3 a) pasto banderita en anthesis, b) evaluación de llenado de grano, c) pureza física a espiguilla y carióspside, d) prueba estándar de germinación, e) prueba de viabilidad con sales de tetrazolio.	73
Figura 5.4 Proporción de carióspsides obtenidas mediante dos distintos métodos de limpieza.	78
Figura 5.5 Proporción de daño (embrión y endospermo) a la carióspside de semillas obtenidas mediante dos distintos métodos de limpieza.	79

SIGLAS Y ABREVIATURAS

Cs	Cariópside
TCs	Tamaño de cariópside
CsCh	Cariópside chico
CsG	Cariópside grande
dde	días después de emergencia
dda	días después de antesis
Ps	Profundidad de siembra
P1000S	Peso de mil semillas
PEM	Porcentaje de emergencia
GT	Porcentaje total de germinación
PG	Porcentaje de germinación
PPA	Porcentaje de plántulas anormales
PV	Porcentaje de viabilidad
LP	Longitud de plúmula
LR	Longitud de radícula
CV	Coeficiente de variación
TZ	Tetrazolio
CE	Prueba de conductividad eléctrica
EA	Prueba de envejecimiento acelerado
VV	Viabiles vigorosos
VVM	Viabiles vigor medio
NV	No viable
HR	Humedad relativa
MS	Materia seca
CH	Corte de homogenización
R/UTF	Número de ramillas por unidad de tallo floral
LI	Longitud de inflorescencia
B	Sección basal del culmo floral
C	Sección central del culmo floral
A	Sección apical del culmo floral
DC	Diámetro de corona
DT	Densidad de tallos
NC/m ²	Número de coronas por m ²
AC cm ²	Área promedio por corona
TT	Tallos totales
TV	Tallos vegetativos
TF	Tallos florales
DMS	Diferencia mínima significativa
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática
ISTA	International Seeds Testing Association

INTRODUCCIÓN GENERAL

En México existe escasa producción de semilla de pastos forrajeros, por lo que sus disponibilidad y uso depende de la cantidad de semilla exportada y el precio del mercado, lo cual ha limitado la rehabilitación de pastizales degradados en zonas áridas y semiáridas. En este sentido, es importante evaluar el potencial de producción de semilla de aquellas especies de interés, como es el caso del pasto banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., e incrementar su rendimiento a través de manejo agronómico. En México los pastizales ocupan más de 118, 320 km² (6.1%) del territorio nacional, (INEGI, 2014) y su deterioro se debe, entre otras cosas, al sobrepastoreo y malas prácticas de manejo (Challenger, 1998; Quero *et al.*, 2017). Se ha intentado recuperar los agostaderos con uso de semillas importadas (Martín *et al.*, 2016), muchas de ellas no adaptadas a las condiciones climáticas de los pastizales mexicanos (Corrales *et al.*, 2016), por lo que se tiene poco o nulo éxito al establecimiento, además de generar desplazamiento de especies nativas poniéndolas en peligro de extinción, otras alternativas de recuperación incluyen actividades como manejo de escorrentías, sistemas de pastoreo, gestión de fuego, control de plantas indeseables, siembra, fertilización y revegetación (Tácuna *et al.*, 2015, García, 2006), la cual resulta costosa. Actualmente, existe escasa información sobre producción, componentes del rendimiento y momento óptimo de cosecha en semillas de pastos de zonas áridas y semiáridas; en términos generales, se sabe que está relacionado con número de inflorescencias, semillas por inflorescencia, peso por espiguilla y porcentaje de llenado de espiguilla (Boonman, 1978). Existe escasa cosecha de semilla de especies nativas, la cual se realiza de forma “artesanal”; es decir, sin control a orilla de carreteras, en pastizales en floración (Quero *et al.*, 2017), es necesario producir semilla de calidad la cual está determinada por el momento óptimo de cosecha la retención de semilla y la madurez fisiológica de esta (Filgueiras, 1981; Joaquín *et al.*, 2006). Por lo tanto, se propone considerar el uso de semilla botánica (cariópside) como alternativa de revegetación donde se acompañe de pruebas de calidad física y fisiológica que garanticen a los productores el uso de propágulos de alta calidad comercial en las siembras.

Hipótesis

El éxito de la siembra y establecimiento de praderas depende de la calidad del propágulo, la morfología del Cs, la variedad, la profundidad de siembra, y el porcentaje de emergencia dado por la elongación del mesocótilo. Los protocolos propuestos por el ISTA para realizar la prueba de viabilidad en Poaceae son aplicables a las especies de gramíneas de zonas áridas y semiáridas de México, realizando modificaciones al tiempo de imbibición. Es posible determinar el momento óptimo de cosecha considerando dos marcadores morfológicos, coloración de espiguillas y culmo floral, como indicadores de madurez fisiológica de semilla.

Hipótesis Específicas

- No existe diferencia entre variedades y tamaño de Cs de pasto Banderita en viabilidad, germinación, emergencia, desarrollo de mesocótilo y coleóptilo durante los primeros días post-emergencia.
- Las metodologías para realizar la prueba de viabilidad con sales de tetrazolio propuestas para Poaceae en los catálogos del ISTA son aplicables a Cs de pastos nativos de zonas áridas y semiáridas de México.
- El patrón de tinción en Cs por sales de tetrazolio varía de acuerdo al tiempo de imbibición, tipo de corte realizado y concentración de TZ.
- CsG presentan mayor velocidad de emergencia al establecimiento durante los primeros 45 días después de siembra.
- La profundidad óptima de siembra para Cs es a un centímetro de profundidad.
- A mayor profundidad de siembra disminuye el porcentaje de emergencia.
- CsG acumulan mayor cantidad de materia seca en raíz y hoja en comparación con los CsCh.
- El mesocótilo es la estructura más importante durante la emergencia de plántulas de pasto banderita.
- La coloración de espiguilla es el mejor marcador morfológico como indicador de madurez fisiológica.
- Beneficiar semilla por método mecánico ocasiona menos daño al Cs extraído.

Objetivo General

Definir la profundidad óptima de siembra en pasto banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., determinar la época óptima de cosecha de semilla de pasto banderita mediante la utilización de dos marcadores morfológicos como indicadores de madurez fisiológica de la semilla, así como determinar los daños sufridos durante el beneficio (escarificación) de semilla para la obtención de carióspside (Cs) y establecer los parámetros de calidad física y fisiológica en semilla botánica para proponer una metodología que permita realizar la prueba de viabilidad en semillas de especies forrajeras de pastos nativos del desierto mexicano y compararlos con una especie naturalizada.

Objetivos Específicos

- Determinar si existe diferencia entre variedades y tamaño de Cs de pasto Banderita en el porcentaje de viabilidad, germinación, emergencia, desarrollo de mesocótilo y coleótilo durante los primeros días post-emergencia.
- Proponer un protocolo de viabilidad con sales de tetrazolio para Cs de pastos nativos de zonas áridas y semiáridas de México tomando como base la propuesta en los catálogos del ISTA para Poaceae.
- Definir patrones de tinción en Cs por sales de tetrazolio de acuerdo al tiempo de imbibición, tipo de corte realizado y concentración de TZ.
- Demostrar que las CsG presentan mayor velocidad de emergencia al establecimiento durante los primeros 45 días después de siembra.
- Identificar la profundidad óptima de siembra en Cs de pasto banderita.
- Determinar si la profundidad de siembra está relacionada con el porcentaje de emergencia.
- Comparar la acumulación de materia seca en raíz y hoja entre dos tamaños de Cs, chico y grande.
- Precisar la estructura implicada en la emergencia de plántulas de pasto banderita.

- Determinar el momento óptimo de cosecha considerando dos marcadores morfológicos como indicadores de madurez fisiológica de la semilla.
- Establecer el mejor método de limpieza para extraer el Cs de las espiguillas.

CAPÍTULO I. MORFOLOGÍA DE CARIÓPSIDE, GERMINACIÓN, EMERGENCIA Y DESARROLLO DE PLÁNTULA EN *BOUTELOUA CURTIPENDULA* (MICHX.) TORR.

1.1 RESUMEN

Conocer la calidad física y fisiológica de la semilla, así como la morfología de esta permitirá determinar las condiciones óptimas de manejo a la siembra para lograr un establecimiento exitoso de plántulas en condiciones desafiantes de temporal en zonas áridas y semiáridas de México. El objetivo fue determinar si el tamaño de Cs influye en el desarrollo de plántula durante los primeros días post-emergencia, y determinar si existen diferencias al establecimiento entre seis variedades de pasto Banderita *Bouteloua curtispenda* Michx. Torr. Se evaluaron dos tamaños de cariósido (Cs). El diseño fue completamente al azar con arreglo factorial, seis variedades y dos tamaños de Cs (CsCh y CsG). Se establecieron 25 Cs por tamaño y variedad a un centímetro de profundidad. Se determinó largo, ancho y grosor de Cs, peso de mil semillas, viabilidad, germinación. Se registró emergencia (%) y se midió elongación de mesocótilo y coleótilo, MS de hoja, MS de raíz mediante muestreos destructivos, cada 5 días hasta el 25 post-emergencia y razón hoja: raíz. La viabilidad y germinación se transformaron al arcoseno y la comparación de medias se realizó por DMS. La Cs es alargada como “dedo”, lo que dificulta la limpieza mecánica de espiguilla a Cs, consistentemente menor a 3 mm. La mayor elongación de mesocótilo se observó en NdeM- 125 y NdeM- 417 ($P < 0.05$) y la menor en NdeM- 5 para coleótilo. Los CsCh mostraron mayor elongación de mesocótilo. Tamaño y densidad de Cs, es un atributo varietal y queda determinado al momento de maduración del grano. Al considerar ambos tamaños de Cs se observó correlación positiva entre PEM y elongación de mesocótilo y coleótilo (12.9 y 16.5). NdeM- 62 y NdeM- 303 presentaron mejor porcentaje de viabilidad, germinación, emergencia y desarrollo de estructuras para establecimiento: elongación de mesocótilo y coleótilo. Germinación y viabilidad están altamente correlacionadas con el porcentaje de emergencia. Considerando ambos tamaños de Cs hubo una relación positiva entre la emergencia y la tasa de elongación del mesocótilo/coleótilo. NdeM- 62 y NdeM- 303 mostraron la mejor viabilidad, germinación, emergencia vegetal.

Palabras clave: coleóptilo, establecimiento de plántula, mesocótilo, viabilidad de semilla, vigor de semilla.

1.2 ABSTRACT

Knowing the physical and physiological quality of the seed, as well as its morphology, will allow determining the optimal management conditions at planting to achieve a successful establishment of seedlings in challenging weather conditions in arid and semi-arid areas of Mexico. The objective was to determine if the size of Cs influences seedling development during the first days post-emergence, and to determine if there are differences at establishment between six varieties of Banderita *Bouteloua curtipendula* Michx grass. Torr. Two caryopsid sizes (Cs) were studied. The design was completely randomized with a factorial arrangement, six varieties and two sizes of Cs (CsCh and CsG). It is found that 25 Cs were established sowed to a depth of one centimeter. The length, width and thickness of Cs, weight of a thousand seeds, viability, germination will be determined. Emergence (%) was made and mesocotile and coleoptile elongation, leaf DM, root DM were measured by destructive experiments, every 5 days until 25 days post-emergence and leaf:root ratio. Viability and germination were transformed to arcsine and media comparison was performed by DMS. The Cs is elongated like a "finger", which makes it difficult to mechanically clean the spikelet at Cs, consistently less than 3 mm. The highest mesocotile elongation was demonstrated in NdeM- 125 and NdeM- 417 ($P < 0.05$) and the lowest in NdeM- 5 for coleoptile. The CsCh showed greater elongation of the mesocotile. Size and density of Cs, is a varietal attribute and is determined at the moment of maturation of the grain. When considering both sizes of Cs, a positive connection was demonstrated between PEM and mesocotile and coleoptile elongation (12.9 and 16.5). NdeM- 62 and NdeM- 303 presented better percentage of viability, germination, emergence and development of structures for establishment: elongation of mesocotile and coleoptile. Germination and viability are highly correlated with the percentage of emergence. considering both Cs ranges, there was a positive relationship between emergence and the elongation rate of the mesocotyl/coleoptile. NdeM- 62 and NdeM- 303 showed the best viability, germination, and plant emergence.

Keywords: coleoptile, seedling establishment, mesocotile, seed viability, seed vigour.

1.3 INTRODUCCIÓN

En zonas de escasa precipitación, como el Desierto Chihuahuense, uno de los principales problemas para el establecimiento de gramíneas a partir de semilla, es la pérdida acelerada de la humedad del suelo y la competencia que ejerce la maleza; por tanto, los primeros días post-siembra son fundamentales para consolidar praderas de temporal (García *et al.*, 2018). Determinar las diferencias en crecimiento en plántulas de pastos a partir de diferente tamaño de cariósido (Cs) y embrión, es una alternativa escasamente utilizada para mejorar el potencial de establecimiento de gramíneas forrajeras en dichas condiciones (Hernández *et al.*, 2021); lo anterior, a través de la mejora del vigor y emergencia de plántulas implícita en Cs de mayor tamaño (Hernández *et al.*, 2015) y evitar la introducción de gramíneas exóticas, principalmente, de origen africano como se ha hecho en los últimos años (Corbin y D'Antonio, 2004; Ferrero *et al.*, 2011; Quero, 2016), ya que estas especies tienen características morfológicas que les permiten asignar fotosintatos al desarrollo acelerado de raíz y hojas (McKing y Willson, 2006), lo que favorece su éxito como invasoras y desplazando especies nativas (Marshall *et al.*, 2012). Ante la importancia de seleccionar la especie y/o variedad adecuada a utilizar en la rehabilitación y establecimiento, en condiciones fisiográficas desafiantes de pastizales semiáridos, es importante diseñar esquemas de investigación en condiciones (invernadero y campo) que permitan determinar el desarrollo, al establecimiento, de especies a resembrar, a fin de predecir su probabilidad de éxito en campo. Las hipótesis a contrastar son: H_0 = Todos los tamaños y variedades evaluados de Cs de pasto Banderita son iguales en viabilidad, germinación, emergencia y desarrollo de estructuras importantes para el establecimiento de plántula, tales como elongación de mesocótilo y coleóptilo; lo anterior, en contraste con la H_a = Al menos una variedad y tamaño de cariósido presentan diferencias en dichos atributos. El objetivo fue conocer si existen diferencias entre variedades de pasto Banderita y si el tamaño de Cs influye el desarrollo de plántula durante los primeros días post-emergencia, al establecimiento.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló de mayo a septiembre de 2020. El material experimental consistió de seis variedades registradas por el Colegio de Postgraduados, de pasto

Banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. La semilla se cosechó en ramas primarias y espiguillas, en octubre de 2018, se mantuvieron almacenadas en condiciones constantes de laboratorio (obscuridad, 12°C y 40% HR) en bolsas de manta, hasta su utilización. La Cs se obtuvo al momento de establecer las siembras en caja Petri y suelo. Para obtener y caracterizar morfología de Cs se retiraron brácteas accesorias a estas: ramas primarias, glumas, lema, palea; lo anterior, con ayuda de tapete y almohadilla de caucho corrugado y fricción manual.

Para clasificar Cs por tamaño (grande y chica), se utilizó tamiz y se tomaron al azar, tres repeticiones de 100 Cs, para medir largo, ancho y grosor (mm de diámetro) con vernier digital Knova 6" (Modelo: KN 8336). El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos (Variedad x Tamaño de Cs). El factor A consistió en la variedad evaluada: NdeM- 5, NdeM- 62, NdeM- 125, NdeM- La Resolana, NdeM- 303 y NdeM- 417; el factor B, el tamaño de Cs: Cs chico (CsCh) y Cs grande (CsG). Un total de 12 tratamientos. Las variables evaluadas fueron:

1.4.1 Clasificación de Cs por tamaño

Una vez conocida la distribución de proporciones de Cs; mediante tamiz con malla de 0.5 y 0.7 mm, se separaron mayores cantidades de Cs y se clasificaron en CsCh y CsG, respectivamente. Las carióspsides que se no atravesaron el tamiz se consideraron CsCh y CsG, respectivamente.

1.4.2 Peso de mil semillas (P1000S)

Mediante conteo de repeticiones. A partir de semilla pura se contaron al azar ocho repeticiones de cien unidades, tanto para espiguillas como para Cs de cada variedad estudiada. El peso se obtuvo en gramos, con estos datos, se calculó varianza, desviación estándar y coeficiente de variación (CV; ISTA, 2009). Cuando el CV fue menor a 6.0%, se consideraron datos correctos (ISTA, 2009). El P1000S se obtuvo multiplicando por 10 a la media aritmética de repeticiones y se expresó en gramos.

1.4.3 Viabilidad

Se determinó de acuerdo a la tinción mostrada en estructuras embrionarias de la Cs como reacción a sal de tretazolio, rojo intenso a rosa fuerte: viables; rosa pálido a blanco: no viables. Se hicieron tres repeticiones de 50 Cs, las Cs se embebieron en agua destilada durante 4 h. Con apoyo de microscopio estereoscópico (Marca Zeiss, Modelo 464002 – 9901), se disectaron las Cs, exponiendo las estructuras del eje embrionario a concentración de cloruro de 2, 3, 5-trifenil tetrazolio (TZ) de 0.01% (ISTA, 2012). La lectura de viabilidad se realizó 12 h después del contacto del embrión con la solución de TZ.

1.4.4 Germinación

Tanto Cs como recipientes plásticos se desinfectaron con hipoclorito comercial (0.6 %) por 5 min, se enjuagaron con agua destilada y secaron a la sombra con flujo ligero de aire durante 24 h, dispuestas sobre papel tipo “sanita” en mesas de trabajo y condiciones ambientales de laboratorio. Se evaluaron Cs utilizando la prueba de germinación estándar. El porcentaje de germinación se ajustó de acuerdo al porcentaje de viabilidad, es decir, a semilla viva. Se colocaron tres repeticiones de 50 semillas por variedad y tamaño, al interior de una caja Petri, sobre toallas tipo “sanitas”, humedecidas con 20 mL de agua destilada y se incubaron a $25^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 10 días. El conteo de germinación se realizó diariamente durante este periodo. Se consideró germinación total (GT) al porcentaje de plántulas con raíz y plúmula bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones. Los resultados se expresaron como porcentaje de plántulas normales y velocidad de germinación.

1.4.5 Vigor y velocidad de emergencia

Para determinar el vigor de Cs en cada variedad, se sembró en invernadero, se utilizó como sustrato tepetate, corteza molida de árboles de la zona, tezontle molido (menor a 5 mm de partícula) y gallinaza molina en proporción 1:4:1:0.75; el cual, una vez mezclado, se tamizó en criba de 0.5 mm y posteriormente se esterilizó en autoclave de fabricación propia con capacidad de 1 m³, durante 2 h a 121 °C. La siembra se realizó con 25 Cs por tamaño y variedad a 1cm de profundidad en sustrato húmedo, el 29 de

julio de 2020, en tubetes de 71.5 cm³, con drenaje. Tres tubetes formaron una unidad experimental y se establecieron tres repeticiones por tratamiento, un total de nueve unidades experimentales. Se contabilizó el porcentaje a emergencia y se midió, mediante muestreo destructivo, la elongación de mesocótilo y coleóptilo; similarmente, de hoja, raíz y su peso seco; lo anterior, cada cinco días, hasta el día 25 post-emergencia. Se utilizó vernier digital (Knova 6", Modelo: KN 8336); además, se determinó la relación hoja (parte aérea): raíz.

1.4.6. Análisis de datos

Los datos de viabilidad y germinación expresados en porcentaje, se transformaron mediante la función arcoseno. Los datos se sometieron al análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de diferencia mínima significativa honesta de Tukey ($p < 0.05$). Se realizaron pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y de homogeneidad de varianza (Bartlett; $p \leq 0.05$; SAS, 2013). Se realizó un análisis de regresión lineal para predecir el valor de las variables respuesta en función del tamaño de Cs y la variedad. Se determinaron los coeficientes de correlación entre el porcentaje de emergencia (PEM), elongación de mesocótilo y coleóptilo y los dos tamaños de cariósipos evaluados, chicos y grandes.

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La morfología de Cs mostró que este fruto, en todos los genotipos evaluados, es menor a 3 mm de largo, característica importante a considerar al momento del beneficio de semilla y siembra, indicando la importancia de una buena preparación del terreno; es decir, evitar persistencia de terrones grandes, a fin de proporcionar condiciones óptimas para adecuada imbibición, emergencia y desarrollo de plántula durante el establecimiento; lo anterior, debido a que en regiones áridas y semiáridas las plántulas deben enfrentar largos periodos de sequía y competencia con maleza. Una buena preparación del terreno de siembra será fundamental para consolidar un establecimiento exitoso con especies nativas. Es importante considerar el material vegetal a sembrar, conocer su calidad física, fisiológica y genética para elevar la probabilidad de éxito al establecimiento. El análisis de varianza (Anexo .1.1- 1.3) mostró diferencias altamente

significativas ($p \leq 0.0001$) en cuanto a tamaño de Cs, variedad e interacción de ambos factores. Se estimó el coeficiente de variación promedio (CV) para cada variable, 7.4, 10.1 y 14.7 % para largo, ancho y grosor, respectivamente; el largo presentó el menor CV; mientras que, la medias del grosor difirieron entre las distintas variedades (Cuadro 1.1), todas la variedades tienen un largo mayor a 2.5 mm, mientras que el ancho es mayor a 0.6 mm y el grosor es superior a 0.4 mm por lo que se aprecia que las Cs son consistentemente alargadas, en forma de “dedo”, lo que dificulta su limpieza mecánica a Cs, la clasificación por tamaño: CsCh y CsG, está dada por dicha característica, las CsG fueron 0.2 mm más largas, 0.09 mm más anchas y 0.06 mm más gruesas, con diferencias mínimas significativas de 0.013, 0.011 y 0.004, respectivamente.

Cuadro 1.1 Morfometría (largo, ancho y grosor, mm) de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con tamaño diferente de carióspside.

Variedad	Largo de Cs		
	Chico	Grande	Media
NdeM- 5	2.47 ^g	2.76 ^d	2.61 ^e
NdeM- 62	2.93 ^b	3.01 ^a	2.97 ^a
NdeM- 125	2.42 ^g	2.76 ^d	2.59 ^e
NdeM- La Resolana	2.68 ^e	2.96 ^{ab}	2.82 ^b
NdeM- 303	2.55 ^f	2.84 ^c	2.69 ^d
NdeM- 417	2.71 ^{de}	2.75 ^d	2.73 ^c
Media	2.63 ^b	2.85 ^a	
DMS	0.01333	0.01333	

Variedad	Ancho de Cs		
	Chico	Grande	Media
NdeM- 5	0.58 ^h	0.66 ^f	0.62 ^e
NdeM- 62	0.73 ^{cd}	0.77 ^a	0.75 ^a
NdeM- 125	0.54 ⁱ	0.75 ^{ab}	0.65 ^d
NdeM- La Resolana	0.67 ^f	0.73 ^{cd}	0.70 ^c
NdeM- 303	0.61 ^g	0.70 ^e	0.66 ^d
NdeM- 417	0.72 ^d	0.74 ^{bc}	0.73 ^b
Media	0.64 ^b	0.73 ^a	
DMS	0.00452	0.00452	

Variedad	Grosor de Cs		
	Chico	Grande	Media
NdeM- 5	0.39 ^f	0.41 ^{de}	0.40 ^e
NdeM- 62	0.47 ^c	0.50 ^b	0.48 ^b
NdeM- 125	0.33 ^g	0.53 ^a	0.43 ^d
NdeM- La Resolana	0.43 ^d	0.47 ^c	0.45 ^c
NdeM- 303	0.41 ^{ef}	0.47 ^c	0.44 ^c
NdeM- 417	0.49 ^b	0.50 ^b	0.50 ^a
Media	0.42 ^b	0.48 ^a	
DMS	0.00431	0.00431	

Tratamientos con la misma letra o agrupación, dentro de columna y variable, son estadísticamente iguales (DMS, $p \leq 0.05$).

En los genotipos evaluados, se consideró el largo como el como 100% (dentro de variedad) y el ancho y grueso en porcentaje respecto al largo para obtener las proporciones de tamaño (Figuras 1.1); considerando lo anterior y en relación a las proporciones en ambos tamaños de carióspside, la variedad NdeM- 62, NdeM- La Resolana y NdeM- 417 presentaron forma de Cs más “ovalada” dado que su ancho y grosor es superior al resto de las variedades (Figuras 1.2). La dimensión “largo”, comprende cerca del 70% del tamaño, comparado con 18% del ancho y 11% del grueso en promedio (Figuras 1.1 y 1.2).

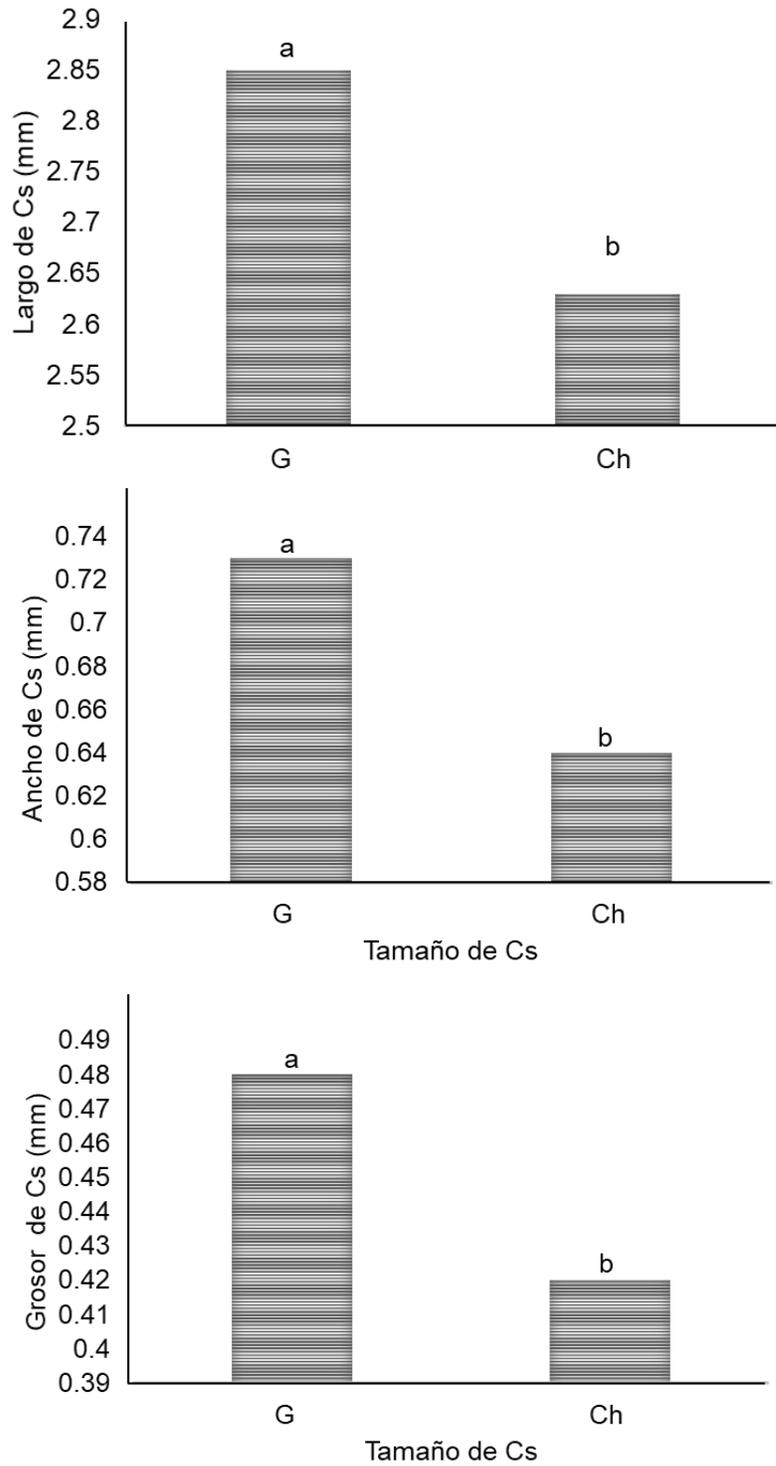


Figura 1.1 Proporción morfológica de carióspsidas clasificadas por tamaño: chica (Ch) y grande (G) en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

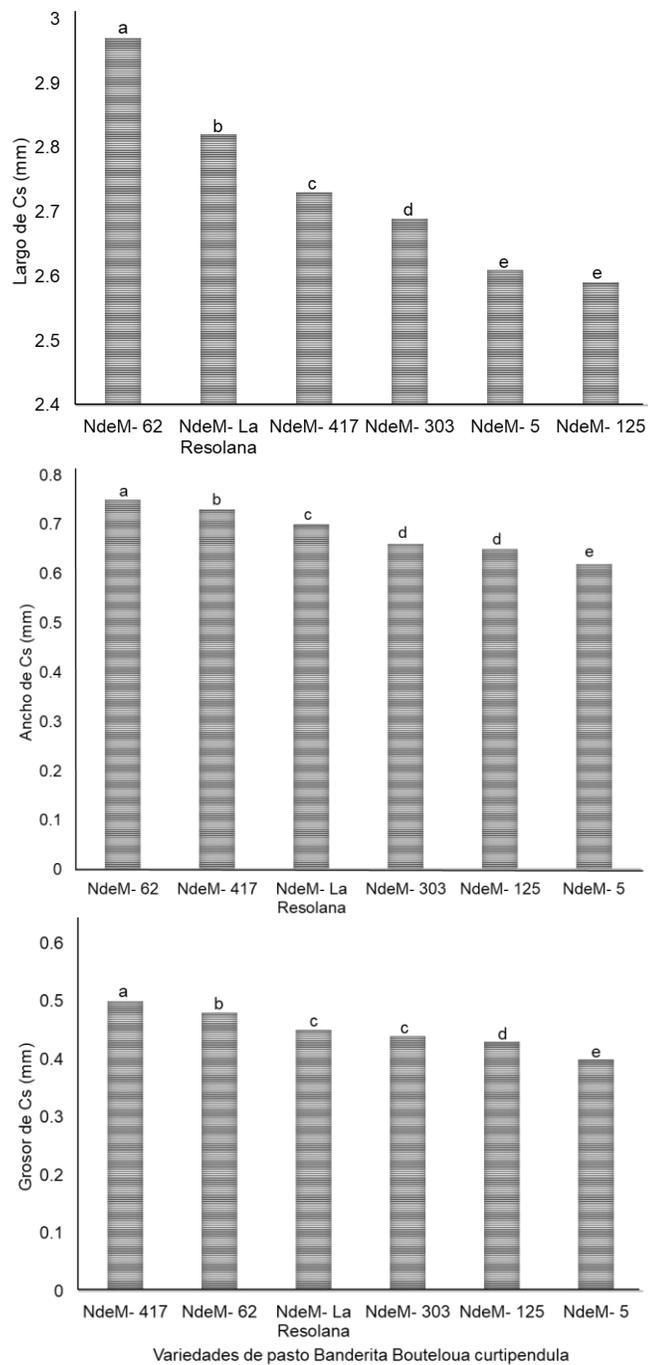


Figura 1.1 Proporción morfológica de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

Trabajos sobre la importancia del tamaño de semilla han demostrado que seleccionar Cs por tamaño en pasto Banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., es más importante, en comparación a Navajita *B. gracilis* HBK (Lag.), como alternativa de recuperación de áreas de pastizal mediante siembras; lo anterior, debido a que plántulas de Banderita

pueden llegar más rápido a madurez y enfrentar la primer sequía invernal (Ramírez *et al.*, 2020); lo anterior, es importante debido a que en el Altiplano Mexicano, las lluvias veraniegas se generalizan, normalmente, el 25 de junio; posteriormente, ocurre un periodo de sequía intraestival y algunos reportes muestran que las primeras heladas pueden presentarse desde principios de octubre, dependiendo del gradiente altitud: latitud geográfica del sitio (Valadez, 2020). La sequía es el factor más importante para el establecimiento de plántulas pues esta afecta el desarrollo de raíces (Briske y Wilson, 1980); sin embargo, una vez establecidos, los pastos nativos no tienen mayores problemas climáticos para su persistencia.

Respecto a P1000S, el ANOVA (Anexo 1.4) mostró valor altamente significativo ($p < 0.0001$) para las interacciones, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el efecto de la interacción variedad-tamaño de Cs es diferente de cero; es decir, que el P1000S depende de la combinación de los factores evaluados. La prueba de comparación de medias mostró diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$) entre variedades, para un mismo tamaño. El modelo de regresión lineal mostró un $R^2 = 95$ y se observó un CV de 3.2%. El P1000S promedio de CsG fue superior en 0.001 g, con respecto a CsCh. Las variedades NdeM- 125 y NdeM- 62 presentaron el mayor peso; la variedad NdeM- 125, presentó el mismo peso, tanto en CsCh como en CsG, la variedad con el menor peso fue la NdeM- 303 (Cuadro 1.2).

Cuadro 1.2 Peso de mil semillas (P1000S) en gramos de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con tamaño diferente.

Variedad	Tamaño de cariósipide		Promedio
	Chico	Grande	
NdeM- 5	0.006 ^g	0.007 ^{cd}	0.006 ^d
NdeM- 62	0.007 ^b	0.008 ^a	0.008 ^b
NdeM- 125	0.008 ^a	0.008 ^a	0.008 ^a
NdeM- La Resolana	0.006 ^{ef}	0.007 ^{bc}	0.006 ^d
NdeM- 303	0.006 ^{ef}	0.006 ^{de}	0.006 ^d
NdeM- 417	0.006 ^{de}	0.007 ^b	0.007 ^c
Promedio	0.006 ^a	0.007 ^b	
DMS	2.95461	2.95461	

Tratamientos con la misma literal, dentro de columna, son estadísticamente iguales (DMS, $p < 0.0001$).

El ANOVA (Anexo 1.5) para viabilidad mostró valor altamente significativo ($p < 0.0001$) para variedad; mientras que, para tamaño de Cs mostró un p -value = 0.0058; sin

embargo, la interacción mostró no ser significativa (p -value = 0.0577). El modelo de regresión lineal mostró un $R^2= 77$ y un CV de 5.4%. La variedad NdeM- 62 presentó mayor viabilidad (89.7%); mientras que NdeM- La Resolana, el menor (75%); sin embargo, los CsCh presentaron 4.3% mayor viabilidad, en relación con los CsG (Cuadro 1.3). Todas las variedades presentaron mayor viabilidad en CsCh, excepto NdeM- 62, donde las CsG fueron superiores en viabilidad.

Cuadro 1.3 Porcentaje de viabilidad de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con tamaño diferente.

Variedad	Tamaño de carióspside		Promedio
	Chico	Grande	
NdeM- 5	80.00 ^{abc}	75.33 ^c	77.67 ^{bc}
NdeM- 62	91.33 ^a	88.00 ^{ab}	89.67 ^a
NdeM- 125	74.00 ^c	77.33 ^{bc}	75.67 ^c
NdeM- La Resolana	76.67 ^{bc}	73.33 ^c	75.00 ^c
NdeM- 303	92.00 ^a	78.00 ^{bc}	85.00 ^{ab}
NdeM- 417	78.67 ^{bc}	74.67 ^c	76.67 ^c
Promedio	82.11 ^a	77.78 ^b	
DMS	2.95461	2.95461	

Tratamientos con la misma literal, dentro de columna, son estadísticamente iguales (DMS, $p < 0.0001$).

En relación a porcentaje de germinación, el ANOVA (Anexo 1.6) mostró diferencias entre variedades ($p < 0.0002$); mientras que, para tamaño de Cs e interacción no se observaron diferencias ($p = 0.3669$ y $p = 0.0450$, respectivamente). Por lo tanto, la germinación no depende de la combinación de variedad y tamaño. La diferencia mínima significativa para variedades, tamaño de Cs e interacción de ambos factores fue de 11.64, 19.20 y 4.48 respectivamente. Los promedios más altos de germinación se observaron en las variedades NdeM- 62 y NdeM- 417, 94 y 93 %, respectivamente; lo anterior, 27% más, en comparación con NdeM- La Resolana, que mostró el menor porcentaje de germinación (67%). En relación a tamaño de Cs no se observaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$), sin embargo, los CsG mostraron mayor porcentaje de germinación, 7 % más respecto a CsCh. Entre las variedades evaluadas, exceptuando NdeM-62 y NdeM-417, se observaron porcentajes de germinación superiores en CsG (Cuadro 1.4).

Cuadro 1.4 Porcentaje de germinación, ajustado a plántulas normales, de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con tamaño diferente.

Variedad	Tamaño de cariósipide		
	Chico	Grande	Promedio
NdeM-5	70 ^{abc}	91 ^{abc}	80 ^{abc}
NdeM-62	96 ^a	92 ^{ab}	94 ^a
NdeM-125	85 ^{abc}	91 ^{abc}	88 ^{ab}
NdeM-La Resolana	65 ^c	68 ^{bc}	67 ^c
NdeM-303	68 ^{bc}	87 ^{abc}	77 ^{bc}
NdeM-417	96 ^a	91 ^{abc}	93 ^{ab}
Promedio	80 ^b	87 ^a	
DMS	4.48792	4.48792	

Tratamientos con la misma literal, dentro de columna, son estadísticamente iguales (DMS $p < 0.05$).

El porcentaje de germinación de Cs disminuye en relación con el porcentaje de viabilidad aun cuando hayan sido sembradas en óptimas condiciones de suelo y profundidad (1 cm) y utilizando semilla de buena calidad fisiológica. La velocidad de emergencia es variable entre variedades (Figura 1.3); lo anterior, probablemente debido al vigor de semilla en cada genotipo; lo cual, se refleja en la velocidad de emergencia y porcentaje de germinación; por tanto, se enfatiza la importancia de realizar una buena planeación en la fecha de siembra y preparación del terreno. Tanto en CsCh como CsG, la emergencia se inició al segundo día de siembra y el número máximo de plántulas emergidas se obtuvo al día 7; para CsCh, NdeM-La Resolana mostró el mayor número de plantas emergidas en menos tiempo; mientras que, para CsG, NdeM-125 la mayor emergencia y NdeM-417, presentó los menores porcentajes de emergencia y velocidad (Cuadro 1.5).

Cuadro 1.5 Velocidad de emergencia de carióspsides de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* clasificadas por tamaño y sembradas a 1 cm de profundidad, (a) Carióspside chico y (b) Carióspside grande, bajo condiciones de invernadero.

Variedad		Días después de emergencia (dde)							
		3	4	5	6	7	8	9	10
NdeM-5	Ch	2.85 ^d	6.26 ^e	7.28 ^e	7.28 ^f	6.87 ^e	6.94 ^e	6.94 ^e	6.94 ^e
	G	0 ^e	0.45 ^g	0.69 ^g	0.81 ^h	0.87 ^g	0.87 ^g	0.87 ^g	0.87 ^g
NdeM-62	Ch	0 ^e	8.94 ^{bcd}	9.51 ^{cd}	9.81 ^e	10.06 ^d	10.28 ^d	10.28 ^d	10.28 ^d
	G	0 ^e	3.19 ^f	3.32 ^f	3.57 ^g	3.84 ^f	3.92 ^f	3.92 ^f	3.92 ^f
NdeM-125	Ch	2.42 ^d	7.33 ^{cde}	11.06 ^{bc}	11.06 ^{de}	11.06 ^{cd}	11.06 ^{cd}	11.06 ^{cd}	11.06 ^{cd}
	G	3.45 ^{cd}	9.78 ^{ab}	14.33 ^a	14.33 ^{ab}	14.33 ^{ab}	14.79 ^a	14.79 ^a	14.79 ^a
NdeM-La	Ch	9.6 ^a	11.89 ^a	14.32 ^a	15.59 ^a	15.59 ^a	15.59 ^a	15.59 ^a	15.59 ^a
Resolana	G	5.44 ^b	6.67 ^{de}	8.6d ^e	9.37 ^e	10.51 ^d	11.06 ^{cd}	11.06 ^{cd}	11.06 ^{cd}
NdeM-303	Ch	3.56 ^{cd}	8.81 ^{bcd}	11.2 ^{bc}	13.5 ^{bc}	15.06 ^a	15.06 ^a	15.06 ^a	15.06 ^a
	G	4.24 ^c	9.19 ^{bc}	10.06 ^{bcd}	11.88 ^{cd}	14.54 ^{ab}	14.54 ^a	14.54 ^a	14.54 ^a
NdeM-417	Ch	0 ^e	9.32 ^{bc}	11.46 ^b	12.8 ^{bcd}	12.8 ^{bc}	12.8 ^{bc}	12.8 ^{bc}	12.8 ^{bc}
	G	0 ^e	0.4 ^g	0.14 ^g	0.08 ^h	4.17 ^g	0.12 ^g	0.12 ^g	0.12 ^g

Tratamientos con la misma literal, dentro de columna, son estadísticamente iguales (DMS $p < 0.05$).

Tal como se observa en este estudio y de acuerdo a los reportado por otros autores, el fruto de las gramíneas pratenses es muy pequeño, mucho menor al de los cereales seleccionados con propósitos de alimentación e industrialización. Resulta importante destacar el efecto del nivel de ploidía, tal como sucede en Ryegrass italiano *Lolium multiflorum* (L.) o Búfalo *Bouteloua dactyloides* (Nutt.) Engelm. (Columbus) donde se observa malformación del endospermo, lo que ocasiona el aborto prematuro o temprano del embrión y, con ello, incapacidad para formar semilla viable (Armendáriz y Martínez, 2022), hasta el momento no reportado para pasto banderita. Los resultados encontrados concuerdan con lo reportado por Hernández *et al.* (2015) y Quero *et al.* (2017) quienes reportaron que Cs de mayor tamaño presentaron mayores porcentajes de germinación y emergencia en Banderita y Navajita, contrario a lo reportado para Rhodes *Chloris gayana* (Kunth) donde las CsCh presentaron mejores germinaciones. Sin embargo, Esqueda *et al.* (2005) demostraron que la germinación inicial y la supervivencia de plántulas de Navajita (*Bouteloua gracilis* (HBK) Lag. Ex Steud), Banderita (*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.), gigante (*Leptochloa dubia* (Kunth) Nees), Llorón (*Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees), Garrapata (*Eragrostis superba* Peyr) y Klein (*Panicum coloratum* L.) están directamente relacionadas con los periodos de humedad y sequía después de la siembra. Biasutti y Galiñanes (2001) mencionaron que la germinación y establecimiento de plántulas son importantes para una buena población de plantas por unidad de

superficie, especialmente en climas donde la disponibilidad de agua en el suelo durante el proceso de germinación está restringida y su efecto sobre el rendimiento puede igualarse al de la sequía intraestival. Lo anterior es de vital importancia al considerar que la capacidad de las semillas para germinar en condiciones de poca humedad en el suelo les confiere ventajas ecológicas pues las plántulas se establecen cuando otras especies sensibles al déficit hídrico no lo pueden hacer (Cordero, 1991).

El ANOVA (Anexo 1.7- 1.8) mostró significancia ($p < 0.0001$) para la combinación variedad x tamaño de Cs y días después de emergencia; es decir, la elongación de mesocótilo y coleóptilo depende de la combinación de los factores evaluados. El modelo de regresión lineal mostró un $R^2 = 57.5$ con 36.8 % de CV y se observó un CV de 20.4% para elongación de mesocótilo y R^2 de 48.3 y 31.1 %, de CV para coleóptilo. Las variedades con mayor elongación de mesocótilo fueron NdeM- 125 y NdeM-417, 50% más de elongación, en comparación con NdeM- 5 que presentó la menor. En cuanto a elongación de coleóptilo, NdeM-125, NdeM-La Resolana, NdeM-303 y NdeM-417 fueron similares (Cuadro 1.6). La variedad NdeM- 5 también tuvo la menor elongación de coleóptilo. En relación al tamaño del Cs no se observaron diferencias significativas en cuanto a elongación de mesocótilo, pero sí de coleóptilo, siendo los CsCh las que mostraron mayor tamaño en comparación con la CsG. Referente a días de muestreo después de emergencia, las plántulas muestreadas durante los días 5 y 10 mostraron poco desarrollo de ambas estructuras y fue hasta el día 15 y 20 cuando alcanzaron máxima elongación.

Cuadro 1.6 Desarrollo y elongación de mesocótilo y coleóptilo (mm) en seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con tamaño diferente de cariósipide durante los primeros 25 días después de emergencia (dde).

Variedad								
Variable	NdeM-5	NdeM-62	NdeM-125	NdeM- La Resolana	NdeM-303	NdeM-417	Media	DMS
M (mm)	5.49 ^d	7.32 ^c	11.99 ^a	9.52 ^b	9.62 ^b	11.33 ^a	9.21	0.789
C (mm)	2.47 ^c	3.69 ^b	4.55 ^a	4.68 ^a	4.46 ^a	4.74 ^a	4.09	0.296
Tamaño de Cs								
	Chico			Grande		Media	DMS	
M (mm)	9.27 ^a			9.15 ^a		9.21	0.314	
C (mm)	4.18 ^a			4.01 ^b		4.09	0.118	
Días después de emergencia								
	5	10	15	20	25	Media	DMS	
M (mm)	7.09 ^b	8.22 ^c	10.53 ^a	10.64 ^a	9.58 ^b	9.21	0.690	
C (mm)	3.59 ^c	4.03 ^b	4.61 ^a	4.49 ^a	3.76 ^c	4.09	0.259	

± Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey $p \leq 0.05$). M = mesocótilo; C = coleóptilo.

Al considerar ambos tamaños de Cs se tuvieron correlaciones positivas entre emergencia (PEM) y elongación de mesocótilo y coleóptilo, con 12.9 y 16.5; es decir, a medida que una aumenta, la otra también lo hace. Para CsCh se observó baja correlación para las PEM-mesocótilo (2.48 %), mientras que el PEM-coleóptilo mostró tener alta relación entre las variables (68%). Para los CsG se observó alta correlación en PEM-mesocótilo y PEM-coleóptilo, con 52.7 y 58.7%, respectivamente. Al considerar ambos tamaños de Cs tanto el desarrollo del mesocótilo como del coleóptilo tienen alta relación con PEM (29.91 y 56.65%).

Los datos aquí reportados confirman que tanto la elongación del mesocótilo como la del coleóptilo juegan un papel importante en la emergencia de plántulas, según especie y variedad. En maíz, se ha observado que altos coeficientes de velocidad de emergencia coinciden con altos valores en la longitud del mesocótilo, pero no con el desarrollo del coleóptilo (Pérez *et al.*, 2007). El desarrollo de estas estructuras se ha estudiado desde hace años debido al papel en el cual están involucrados. Turner *et al.* (1982) observaron que, a mayor profundidad de siembra, plántulas con mayor desarrollo de mesocótilo tienen mayor probabilidad de emergencia y establecimiento en campo; lo cual, es de vital importancia en siembras de humedad residual. Maiti y Carrillo (1989) encontraron que la elongación del mesocótilo se correlacionó positivamente con la capacidad de emergencia en genotipos de sorgo sembrados a mayor profundidad de siembra, lo que está

relacionado con el vigor de plántulas, lo que resalta la importancia de conocer y utilizar genotipos con capacidad de elongar su mesocótilo para mejorar la emergencia.

El análisis estadístico para elongación de hoja y raíz (Anexo 1.9- 1.10) mostró interacción entre los tres factores evaluados y ser altamente significativa ($p < 0.0001$), lo que indica que al igual que el desarrollo de mesocótilo y coleótilo, el crecimiento de hoja y raíz depende de variedad, tamaño de Cs y días post-emergencia. Al aplicar el modelo de regresión lineal se obtuvo un R^2 de 71.7 para elongación de hoja y un CV de 22.1%; mientras que, para elongación de raíz, la R^2 fue de 55.8 con CV de 25.8%. NdeM-125 mostró el mayor desarrollo de hoja (45.7 mm) y raíz (48.4 mm); mientras que, NdeM-5 presentó el menor desarrollo 33.51 y 35.01 mm para hoja y raíz, respectivamente.

Respecto a tamaño de Cs, el CsG presentó mayor desarrollo de hoja (41.03 mm) en comparación con la CsCh (35.2 mm), mismo comportamiento que se observó para elongación de raíz, 37.8 y 42.7 mm para CsCh y CsG, respectivamente. Al evaluar el desarrollo de la hoja, a través del tiempo, se observó incremento de 11.2 mm del día 5 al día 10 post-emergencia; mientras que, del día 10 al 15 se observó un incremento de 7.05 mm; entre los días 15 al 20 post-emergencia, el incremento fue de 12.1 mm; respecto al periodo de muestreo anterior. En crecimiento de raíz, los resultados fueron similares al desarrollo de hoja, con crecimiento lineal (Cuadro 1.7).

Cuadro 1.7 Elongación de hoja y raíz (mm) en seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con tamaño diferente de cariósipide, hasta 25 días post-emergencia (dde).

Variable	Variedad (día 25 dde)						Media	DMS
	NdeM-5	NdeM-62	NdeM-125	NdeM- La Resolana	NdeM-303	NdeM-417		
H (mm)	33.5 ^e	35.7 ^d	45.7 ^a	36.7 ^{cd}	38.1 ^{bc}	39.0 ^b	38.1	1.60
R (mm)	35.0 ^e	37.6 ^d	48.4 ^a	35.2 ^e	41.1 ^c	44.0 ^b	40.2	1.98
	Tamaño de Cs (día 25 dde)				Media	DMS		
	Chico		Grande					
H (mm)	35.20 ^b		41.03 ^a		38.12	0.635		
R (mm)	37.77 ^b		42.66 ^a		40.21	0.784		
	Días después de emergencia (mm)					Media	DMS	
	5	10	15	20	25			
H (mm)	20.1 ^d	31.3 ^c	38.4 ^b	50.4 ^a	50.3 ^a	38.1	1.40	
R (mm)	26.2 ^e	33.8 ^d	40.8 ^c	48.1 ^b	52.1 ^a	40.2	1.73	

Literales iguales, por hilera, son estadísticamente iguales (Tukey $p \geq 0.05$). H = hoja; R= raíz.

Los resultados concuerdan con los de López *et al.* (1996) para cereales de grano pequeño donde concluyen que el vigor está dado por las tasas de crecimiento, después de la aparición de las primeras dos hojas, al acumular mayor área foliar y peso de radícula; mientras Ramírez *et al.* (2020), concluyeron que separar Cs por tamaño en Banderita es efectivo para generar mayor peso en plantas completas, mayor índice de área foliar (IAF) y área foliar específica, el mismo efecto se observó en pasto Buffel y Rhodes (Hernández *et al.*, 2021) y *Lolium multiflorum*, a mayor peso de Cs se obtienen plántulas con mayor peso, tanto en raíces como en la parte aérea (Bartholomew, 2015).

Lo anterior, demuestra que el desarrollo de hoja es fundamental para el crecimiento del cultivo pues determina la capacidad fotosintética; sobre todo, en los primeros días post-emergencia; lo cual, es esencial para el establecimiento (Quero *et al.*, 2016; Ramírez *et al.*, 2020). En pastos africanos, se ha observado que Cs de mayor tamaño producen mayor biomasa de láminas foliares y radical en los primeros días post-siembra, este atributo permite incrementar el número de plantas establecidas en un área determinada (Quero *et al.*, 2016). En condiciones de temporal semiárido, con buen laboreo agrícola, al sembrar semillas de calidad, estas pueden realizar mayor exploración de suelo en busca de humedad, con mayor aptitud competitiva contra factores adversos como maleza de hoja ancha y pastos anuales y exóticos (Cibrián *et al.*, 2013; Quero *et al.* 2016).

Para peso seco de hoja y raíz (Anexo 1.11- 1.12), se observó interacción entre variedad, tamaño de Cs y días después de emergencia (dde) evaluados y esta mostró ser altamente significativa ($p < 0.0001$), el modelo de regresión lineal mostró R^2 de 94 y CV de 13.0% para peso seco de hoja (mg); en tanto que, para raíz se obtuvo un R^2 de 93.6 y un CV de 15.3%. NdeM-La Resolana y NdeM-303 presentaron significancia estadística los mayores pesos secos (0.039 mg); mientras que NdeM-5, presentó el menor PS (0.025 mg), resultados similares se aprecian para el desarrollo de raíz. La CsG presentó 0.002 mg más significancia estadística de PS de hoja respecto al obtenido con CsCh y 0.001 mg de PS de raíz; lo cual, incrementó con dde (Cuadro 1.8).

Cuadro 1.8 Peso seco de hoja y raíz (mg) en seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con diferente tamaño de cariósipide, durante los primeros 25 días después de emergencia (dde).

Variable	Variedad (25 días después de emergencia)						Media	DMS
	NdeM -5	NdeM -62	NdeM -125	NdeM- La Resolana	NdeM -303	NdeM -417		
H (mm)	0.03 ^d	0.03 ^c	0.03 ^c	0.04 ^a	0.04 ^a	0.04 ^b	0.03	0.003
R (mm)	0.01 ^d	0.01 ^c	0.02 ^c	0.02 ^a	0.02 ^a	0.02 ^b	0.02	0.002
	Tamaño de Cs (25 días después de emergencia)						Media	DMS
	Chico			Grande				
H (mm)	0.033 ^b			0.035 ^a			0.034	0.0013
R (mm)	0.018 ^b			0.019 ^a			0.018	0.0008
	Días después de emergencia						Media	DMS
	5	10	15	20	25			
H (mm)	0.02 ^d	0.03 ^c	0.03 ^b	0.03 ^b	0.05 ^a		0.034	0.0032
R (mm)	0.01 ^e	0.01 ^d	0.02 ^c	0.02 ^b	0.03 ^a		0.018	0.0020

Literales iguales, por hilera, son estadísticamente iguales (Tukey $p \geq 0.05$). H= hoja; R= raíz.

En gramíneas (Poaceae), se ha evaluado la velocidad de germinación a diversas profundidades de siembra tanto en *Lolium perenne* L y pasto Banderita *Bouteloua curtipendula* (Quero *et al.*, 2017; García *et al.*, 2018; Ramírez *et al.*, 2020) y mencionan que, a mayor tamaño de Cs, se alcanza mayor tamaño de raíz y parte aérea, en menor tiempo; lo anterior, se observó al día 5 dde, con excepción de NdM-125, donde CCh fue más competitivo respecto a CG; sin embargo, predomina el efecto del CG sobre el desarrollo en el resto de los materiales evaluados. Lo anterior cobra importancia en zonas áridas donde existe rápida pérdida de humedad desde la superficie del suelo; por tanto, se busca favorecer un rápido desarrollo radical para asegurar el establecimiento de plantas (Smith *et al.*, 2010), por esta razón, seleccionar materiales con alto valor en tasas de crecimiento, resultará en competitividad durante el establecimiento (Dawson *et al.*, 2011).

En *Eragrostis curvula* la parte aérea crece a menor tasa respecto a especies nativas (Cox y Martin, 1984); esta característica de baja biomasa aérea reduce la tasa de transpiración y requisitos nutricionales, por lo que requiere menor consumo de agua para sobrevivir. Wilson y Briske (1978) describieron para pasto navajita *Bouteloua gracilis* requiere de 2-4 días de humedad en suelo para germinar e iniciar el crecimiento de raíz seminal; en las siguientes 2 a 8 semanas requiere una condición similar de humedad para el crecimiento de raíces adventicias y asegurar establecimiento definitivo de plántulas; por tanto, el desarrollo de hoja y tallo juegan un papel clave en el establecimiento (Ries y

Svejcar, 1991). El menor desarrollo radical contradice a los reportado por Moreno *et al.* (2012) quienes evaluaron el establecimiento de *B. gracilis* y *Eragrostis curvula* bajo dos regímenes de riego. Ambos pastos desarrollaron mayor longitud de raíz en riego constante y sugieren la posibilidad de que estas especies tengan raíces más cortas cuando hay escases de agua como estrategia de supervivencia; sin embargo, en este experimento las plántulas no carecieron de agua durante el periodo de evaluación.

1.6 CONCLUSIONES

Los Cs son consistentemente alargadas, en forma de “dedo”, lo que dificulta su limpieza mecánica a cariósido. Existe diferencia entre variedades y tamaño de Cs, siendo los de CsG superiores a los CsCh, en cuanto P1000S, viabilidad, germinación, desarrollo de hoja y raíz, siendo la variedad NdeM- 62 la más sobresaliente. Existe diferencia entre variedades en relación al alargamiento de mesocótilo, pero no de coleóptilo, efecto contrario se observó en relación al tamaño de Cs, donde la estructura de mayor elongación fue el coleóptilo, siendo los CsCh las que mostraron mayor elongación en comparación con la CsG. Por lo que se considera que tanto el mesocótilo como el coleóptilo son importantes durante la emergencia de plántulas de pasto banderita y es hasta el día 15 y 20 cuando alcanzan su máxima elongación.

CAPÍTULO II. VIABILIDAD Y VIGOR EN SEMILLA DE CUATRO GRAMÍNEAS (POACEAE), NATIVAS DE ZONAS ÁRIDAS DE MÉXICO Y UNA NATURALIZADA

2.1 RESUMEN

México es centro de origen de pastos de zonas áridas y semiáridas. Sin embargo, pocos trabajos han estudiado la calidad de los diversos tipos de semilla (ramilla, espiguilla, cariósides) que se utiliza en la rehabilitación de pastizales; por tanto, resulta indispensable conocer los atributos físicos, genéticos, sanitarios y fisiológicos del propágulo a utilizar. Por ello, se determinaron los lineamientos para realizar la prueba de viabilidad en cuatro especies de gramíneas (Poaceae) forrajeras nativas del semidesierto mexicano: Banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., Gigante *Leptochloa dubia* Kunth, Punta Blanca *Digitaria californica* (Benth.) Henrard y Tempranero *Setaria macrostachya* Kunth; similarmente, de una especie africana naturalizada: pasto Buffel *Cenchrus ciliaris* L. Se utilizó la prueba con cloruro de 2, 3, 5-trifenil tetrazolio (TZ) adecuando protocolos publicados para Poaceae. Los datos de viabilidad y vigor se expresaron en porcentaje y se transformaron por función arcoseno, se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias mediante Diferencia Mínima Significativa Honesta de Tukey ($p < 0.05$). Se realizaron pruebas de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk), homogeneidad de varianza (Bartlett) y significancia de 0.5% (SAS, 2013). Se utilizó un análisis de regresión lineal para predecir el valor de las cariósides viables vigorosos, viables vigor medio y no viable como respuesta a los tratamientos evaluados. Además, se realizó un análisis de correlación para estimar el grado de asociación entre las pruebas de envejecimiento y el porcentaje de germinación. Para las evaluaciones, se utilizaron cariósides (Cs). Se determinaron procesos adecuados para: tiempo de imbibición, momento adecuado de corte del Cs (exposición del embrión), tipo de corte al Cs; similarmente, concentración de tetrazolio requerida. Se desarrollaron y postulan patrones de coloración (jerarquías de reacción colorimétrica a tetrazolio) para asignar viabilidad y vigor a cada especie evaluada. Las condiciones adecuadas requeridas para la determinación de viabilidad son diferentes para cada especie y no en todas es necesario realizar corte del Cs; lo anterior, debido a que algunas especies poseen testas permeables a la solución de TZ, lo que facilita el trabajo y evaluación en laboratorio, lo

que puede ser un indicador de vigor en caso de inconsistencias. Este estudio permitió definir la metodología para determinar la viabilidad y vigor de forma asertiva.

Palabras clave: parámetros de calidad de semilla, pastos nativos de México, protocolos para calidad de semilla.

2.2 ABSTRACT

Mexico is the center of origin of grasses in arid and semi-arid zones. However, few works have studied the quality of the various types of seed (twig, spikelet, caryopsis) used in the rehabilitation of pastures; therefore, it is essential to know the physical, genetic, health and physiological attributes of the propagule to be used. For this reason, the guidelines were determined to perform the viability test in four species of forage grasses (Poaceae) native to the Mexican semi-desert: *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., *Leptochloa dubia* Kunth, *Digitaria californica* (Benth.) Henrard and *Setaria macrostachya* Kunth; similarly, from a naturalized African species: *Cenchrus ciliaris* L. The test with 2, 3, 5-triphenyl tetrazolium chloride (TZ) was used, adapting published protocols for Poaceae. Viability and vigor data were expressed as percentages and transformed by arcsine function, subjected to an analysis of variance and comparison of means using Tukey's Honest Least Significant Difference ($p < 0.05$). Tests of normality (Shapiro-Wilk test), homogeneity of variance (Bartlett) and significance of 0.5% (SAS, 2013) were obtained. A linear regression analysis was extracted to predict the value of vigorous viable, medium viable and non-viable caryopses as a response to the evaluated treatments. In addition, a connection analysis was performed to estimate the degree of association between the aging tests and the germination percentage. For evaluations, caryopses (Cs) were used. Appropriate processes were determined for: imbibition time, adequate moment of cutting the Cs (exposure of the embryo), type of cutting to the Cs; similarly, tetrazolium concentration required. Color patterns (hierarchies of colorimetric reaction to tetrazolium) were developed and postulated to assign viability and vigor to each species evaluated. The adequate conditions required for the determination of viability are different for each species and it is not necessary to cut the Cs in all of them; the above, because some species have permeable testas to the TZ solution, which facilitates the work and

evaluation in the laboratory, which can be an indicator of vigor in case of inconsistencies. Procedures for viability and vigor determination were defined assertively.

Key words: native to Mexico grasses, protocols for seed quality determination, seed quality parameters.

2.3 INTRODUCCIÓN

México es centro de origen de gran cantidad de pastos de zonas áridas y semiáridas (Quero *et al.*, 2017); sin embargo, pocos trabajos han estudiado la calidad de los diversos tipos de semilla (que en gramíneas adquiere diversas connotaciones) que pueden utilizarse en siembras y se denomina propágulo, pudiendo tratarse, dependiendo de la especie y nivel de beneficio físico a la semilla, de: flósculo (con una o varias espiguillas), rama o ramilla (con una o varias espiguillas), espiguilla (con diversas brácteas accesorias, glumas, lema y esta puede ser sola o acompañada o no de otras lemas vanas y palea); todas las anteriores, con o sin aristas y, finalmente la cariósida (Cs) escasamente utilizada en siembras (Figura 2.1). Esta diversidad de propágulos se utiliza y pueden utilizarse para siembra de praderas; por tanto, resulta indispensable conocer los atributos físicos, genéticos, sanitarios y fisiológicos del propágulo a utilizar. Entre las pruebas fisiológicas de calidad de semilla, se incluye viabilidad, germinación y vigor. Un problema en la determinación de la viabilidad y vigor en semillas de Banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., Gigante *Leptochloa dubia* Kunth, Punta Blanca *Digitaria californica* (Benth.) Henrard y Tempranero *Setaria macrostachya* Kunth y pasto Buffel *Cenchrus ciliaris* L y muchas otras especies de pastos forrajeros, radica en la obtención de material adecuado (cariósida) para las pruebas; las cuales, deben ser representativas de la muestra que se va a analizar, otro inconveniente radica en que muchas de estas especies no están incluidas en el catálogo de procedimientos para determinar viabilidad propuestos por el ISTA (2012); a excepción de Buffel, que está incluido en las Hojas de Trabajo de Tetrazolio (ISTA, 2003); por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue tomar como base las metodologías propuestas en ambos catálogos ya que incluyen protocolos para Poaceae, como *Avena sativa*, *Hordeum vulgare*, *Secale cereale*, *Triticum aestivum*, *Megathyrsus maximus* y *C. ciliaris* y utilizarlas para proponer especificaciones para realizar la prueba de viabilidad por TZ en Cs de Banderita, Gigante,

Punta Blanca, Tempranero y Buffel, considerando el tiempo de imbibición, además de mostrar patrones de tinción de acuerdo a los tratamientos realizados.

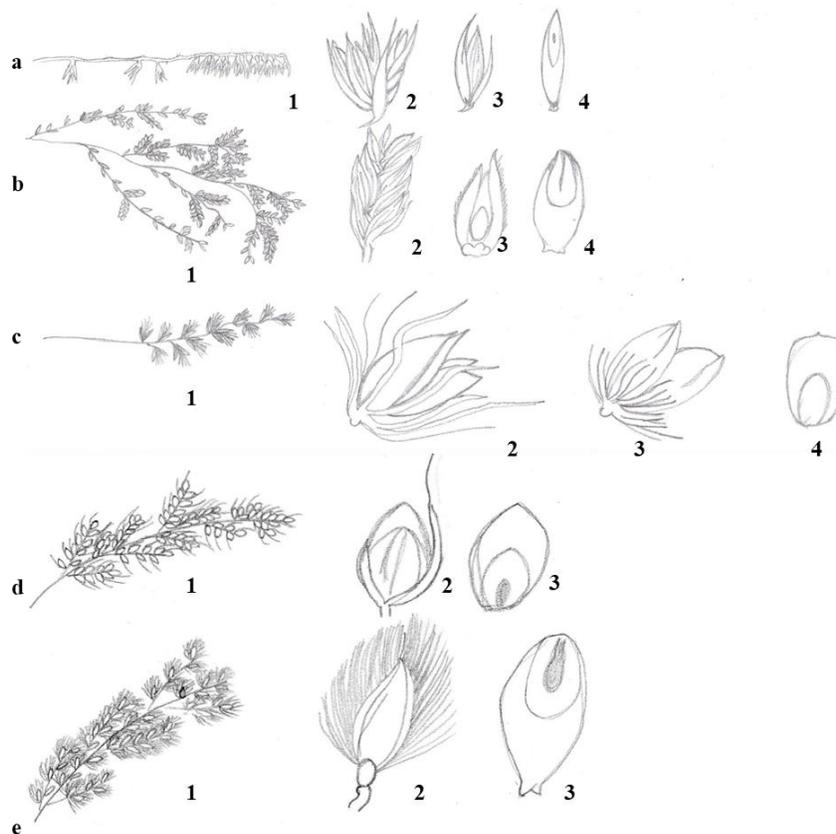


Figura 2.1 Tipo de propágulos utilizados como semilla en pastos. a). Banderita, a1). Ramas primarias de varias espiguillas, a2). Ramilla, a3). Espiguilla individual y a4). Cariósipide. b) Gigante, b1). Ramas primarias de varias espiguillas, b2). Ramilla, b3). Espiguilla individual y b4). Cariósipide. c). Buffel c1). Ramas contraídas primarias tipo espiga, c2). Flósculo aristado conteniendo una o más cariósipides, c3). Flósculo desaristado, c4). Cariósipide. d). Tempranero, d1). Ramas primarias de varias espiguillas, d2). Espiguilla individual y d3). Cariósipide y e). Pasto Punta Blanca, e1). Ramas primarias de varias espiguillas, e2). Espiguilla individual y e3). Cariósipide.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1 Material genético

El material evaluado incluyó cariósipides (Cs) obtenidas por escarificación física de ramillas y/o espiguillas de Banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., Gigante *Leptochloa dubia* Kunth, Punta Blanca *Digitaria californica* (Benth.) Henrard, Tempranero *Setaria macrostachya* Kunth y Buffel *Pennisetum ciliare* (L.) Link (Sin. *Cenchrus ciliaris* L.). La semilla se almacenó en bolsas de papel a temperatura ambiente hasta su

evaluación experimental. Las Cs se extrajeron del propágulo correspondiente mediante escarificación manual sobre tapete corrugado. Se eliminaron Cs rasgadas o dañadas. Para determinar viabilidad se estableció un experimento bajo un diseño experimental Completamente al azar, con cuatro repeticiones de 25 Cs cada una, por especie evaluada. Los tratamientos a evaluar fueron tiempo de imbibición (horas antes del corte: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10 y 12), concentración de cloruro de 2, 3, 5-trifenil tetrazolio (1, 0.5 y 0.1 %; V:V) y corte en Cs (longitudinal, transversal y sin corte-entero).

2.4.2 Viabilidad

Cada repetición se colocó en vasos de precipitado de 50 mL, se adicionó solución de cloruro de 2, 3, 5-trifenil tetrazolio (TZ) con la concentración correspondiente, hasta cubrir las Cs por completo. Los recipientes se colocaron en oscuridad a temperatura ambiente ($25^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$). Después de la exposición a tinción, los embriones se retiraron de la solución de TZ, como se recomienda para Cs pequeñas como *Panicum* spp. y *Bouteloua gracilis* (ISTA, 2016), se enjuagaron en agua corriente y se colocaron en papel tipo “sanitas”, previamente humedecido para evitar deshidratación. Para determinar el tiempo adecuado de imbibición antes de la tinción en cada concentración de TZ, se hicieron evaluaciones de patrones de intensidad de coloración del Cs: a) ausencia de coloración (sin color), b) coloración inicial con el tono rosa, c) coloración débil con el tono rosa más fuerte en el extremo de la radícula, d) coloración adecuada de rosa, e) rojo intenso (coloración excesiva). El desarrollo de patrones de tinción se realizó mediante evaluación de corte, concentración de tetrazolio y tiempo de imbibición. La observación de Cs y fotografías del Cs se efectuaron con cámara de teléfono celular enfocado en la lente del microscopio estereoscópico (Zeiss, Modelo 464002–9901). Las Cs se evaluaron y clasificaron como viables y no viables, discriminando según tinción lograda en tejidos embrionarios y, como referencia, protocolos de viabilidad (ISTA, 2016) para Poaceae (*Avena* spp., *Hordeum* spp., *Secale* spp. y *Triticum* spp.) y Hojas de Trabajo en Tetrazolio para Buffel (ISTA, 2003). Posteriormente, las Cs se agruparon en clases, considerando criterios básicos de interpretación (Delouche *et al.*, 1962; ISTA, 2016).

2.4.3 Envejecimiento acelerado (EA)

Las semillas evaluadas se desinfectaron con Captan (3 g L^{-1}) por 5 min; posteriormente, se secaron sobre papel absorbente a temperatura ambiente de laboratorio. Se sometió la semilla a de $41 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y 100% de humedad relativa constantes por 48 h en cámara de ambiente controlado (Delouche y Baskin, 1973; Huber *et al.*, 1982; Kim *et al.*, 1985). Se utilizaron cajas tipo “sandwicheras” de $10 \times 10 \times 5 \text{ cm}$ a las que se les agregaron 150 ml de agua destilada y, por arriba del nivel de esta, se colocó malla de alambre para evitar contacto directo de semilla con el agua. En cada caja se depositaron 100 semillas por tratamiento formando una sola capa. La siembra para evaluación de germinación se efectuó en charolas “sandwicheras” sobre papel con 100 semillas por repetición, se aplicó riego al momento de siembra, el conteo para la evaluación de porcentaje de germinación se realizó siete días post-siembra.

2.4.4 Prueba de conductividad eléctrica (CE)

Se contaron y pesaron 200 semillas para establecer cuatro repeticiones de 50 Cs por especie estudiada; posteriormente, estas se colocaron en vaso de precipitado con 150 ml de agua desionizada, se cubrieron con papel aluminio para evitar evaporación y contaminación, a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 24 h, se midió la CE agitando suavemente el agua por 10 segundos y previo a la lectura, con la finalidad de remover solutos y lograr mayor precisión. La medición de CE se realizó con conductímetro (OAKTON Modelo WE35607). Para cada repetición se expresa la lectura de CE (después de restar lectura del vaso de control) por gramo de semilla y se calcula la media de cuatro repeticiones. Determinada la CE se procedió a sembrar semillas en cajas “sandwicheras” sobre papel, 100 semillas por repetición, se aplicó riego al momento de siembra y cada dos días para mantener húmedo el sustrato.

2.4.5 Variables evaluadas

a) Porcentaje total de germinación (GT), el cual consiste en contabilizar cada una de las plántulas germinadas hasta el último día de evaluación y el resultado se obtiene dividiendo el número total de plántulas germinadas, entre el número total de semillas sembradas y se multiplica por cien.

$$ET = \left[\frac{\text{No. de plántulas germinadas en el último conteo}}{\text{No. de semillas sembradas}} \right] * 100$$

b) Porcentaje de germinación (PG). Las plántulas con germinación normal fueron aquellas que presentaron raíz, mesocótilo, coleótilo y hojas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones. Se realizó un solo conteo a siete días de establecida la prueba. Esta variable se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$PG = \left[\frac{\text{Número de plántulas normales}}{\text{No. de semillas evaluadas}} \right] * 100$$

c) Porcentaje de plántulas anormales (PPA). Se contaron las plántulas que presentaron malformaciones en alguna estructura esencial y/o aquellas que no lograron germinar. La determinación se realizó mediante la fórmula siguiente:

$$PPA = \left[\frac{\text{Número de plántulas anormales}}{\text{No. de semillas evaluadas}} \right] * 100$$

d) Porcentaje de viabilidad (PV). Porcentaje de semillas que presentaron germinación visible (plántulas normales más anormales) al finalizar la prueba.

$$PV = \left[\frac{\text{Plántulas normales} + \text{Plántulas anormales}}{\text{No. de semillas evaluadas}} \right] * 100$$

e) Longitud de plúmula (LP) y radícula (LR). Del total de plántulas normales en cada repetición, se tomaron 10 plántulas al azar para medir longitud de cada una, desde el cuello de la plántula hasta el ápice de la hoja más larga, el resultado se expresó en cm, al igual que largo de radícula.

2.4.6 Análisis de la información

Los datos de viabilidad y vigor se expresaron en porcentaje y se transformaron por función arcoseno, se sometieron a análisis de varianza y comparación de medias mediante Diferencia Mínima Significativa Honesta de Tukey ($p < 0.05$). Se realizaron pruebas de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk), homogeneidad de varianza (Bartlett) y

significancia de 0.5% (SAS, 2013). Se utilizó un análisis de regresión lineal para predecir el valor de las cariósides viables vigorosos, viables vigor medio y no viable como respuesta a los tratamientos evaluados. Además, se realizó un análisis de correlación para estimar el grado de asociación entre las pruebas de envejecimiento y el porcentaje de germinación.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluaron patrones de tinción a fin de clasificar Cs en viables y no viables. Las estructuras de importancia se muestran en Cs viables sin defectos (Figura 2.2), los patrones de coloración observados guardan similitud con los expuestos en ISTA (ISTA, 2003), aunque estos últimos no expresan la totalidad de daños posibles en Cs de las especies evaluadas. Para facilitar la evaluación de distintos materiales a causa de los múltiples daños que pueden observarse dentro de un lote de semilla, se describen tres clases para las especies evaluadas:

Clase 1. Embriones viables y vigorosos. Cs con tejidos firmes, sin lesiones visibles al embrión y coloración uniforme del rosa a rojo brillante. Cariósides con daños superficiales ligeros localizados en parte externa del endospermo (Figuras 2.3 a 2.8).

Clase 2. Embriones viables con vigor medio. Embriones color rosa, de menor intensidad, con tejidos firmes. Eje embrionario con daños internos ligeros y superficiales; radícula y plúmula descoloridas, con menos de 50% de tejido muerto (color blanco; Figuras 2.3 a 2.8).

Clase 3. Embriones no viables. Radícula y plúmula no teñidas. Embrión con lesiones o áreas muertas en el eje embrionario. En esta clase se incluyen embriones con áreas mayores del 50% de tejido muerto (Figuras 2.3 a 2.8).

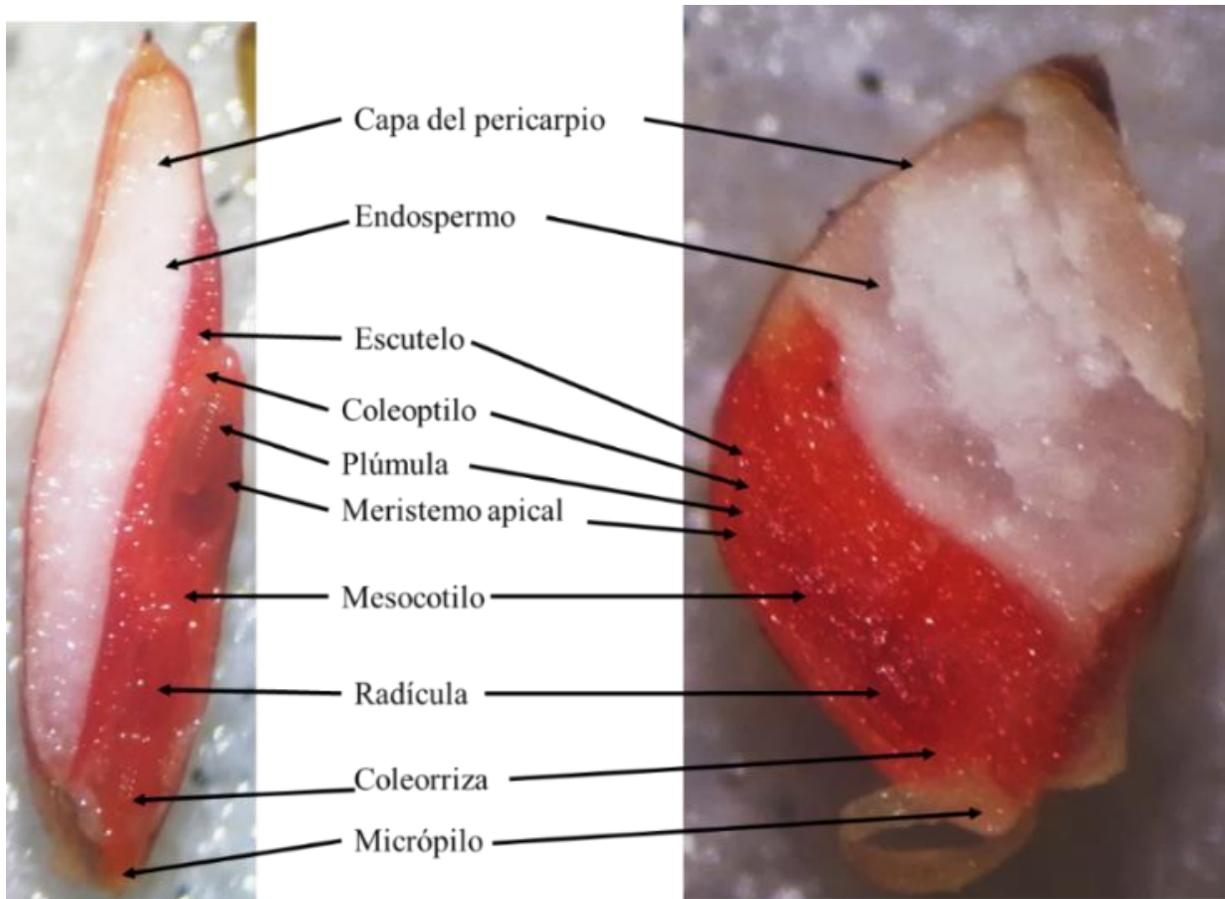


Figura 2.2 Cariópsides viables de pasto banderita *Bouteloua curtispindula* (izquierda) y Tempranero *Setaria macrostachya* (derecha) teñidos por completo. Se muestran las áreas que conforman a la cariópside, así como las partes embrionarias esenciales para la evaluación de viabilidad.

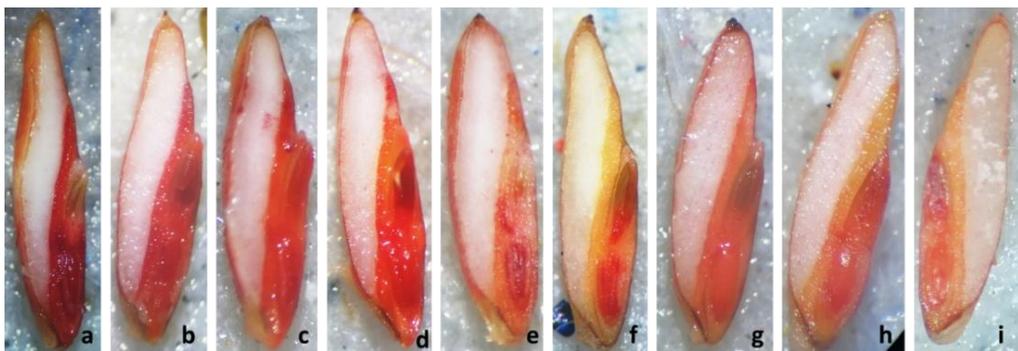


Figura 2.3 Corte longitudinal en *Bouteloua curtispindula* (Michx.) Torr. a, b, c, d) Cariópsides pertenecientes a la Clase 1; e, f, g, h, i) Cariópsides pertenecientes a la Clase 2.

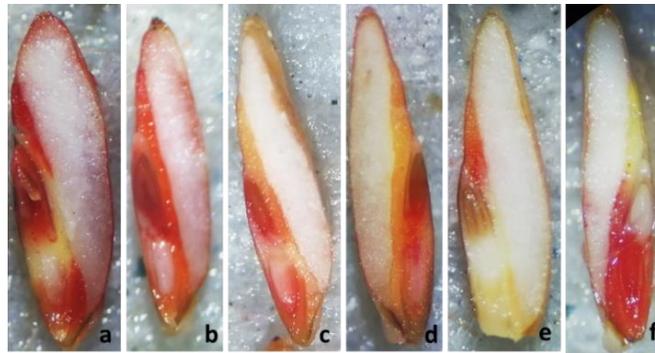


Figura 2.4 Cariópsides no viables de *Bouteloua curtipendula* post-tinción con tetrazolio. a) mesocótilo y radícula sin teñir; b) coleorriza y radícula sin teñir; c) mesocótilo sin teñir; d) meristemo apical, mesocótilo, radícula poco teñidos, color rosa; e) Escutelo banda unión con mesocótilo, radícula y coleorriza sin teñir y f) plúmula, coleóptilo y escutelo sin teñir (Clase 3).

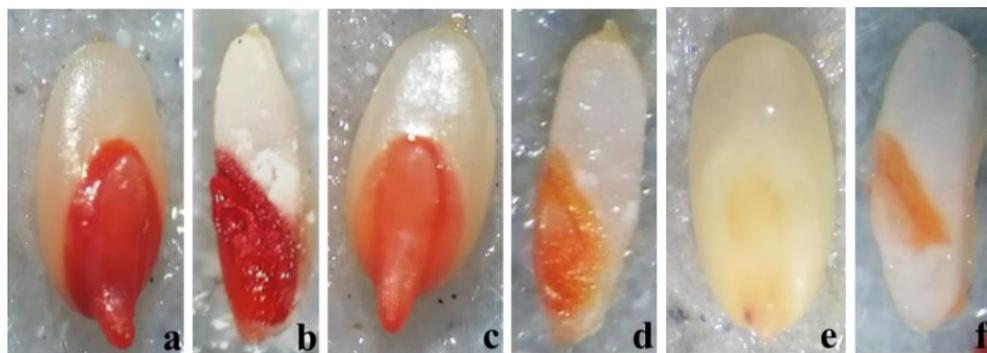


Figura 2.5 Cariópsides enteras de *Digitaria californica* (Benth.) Henrard y corte longitudinal, a y b) Cariópsides Clase 1; c y d) Cariópsides Clase 2; e y f) Cariópsides pertenecientes a la Clase 3.

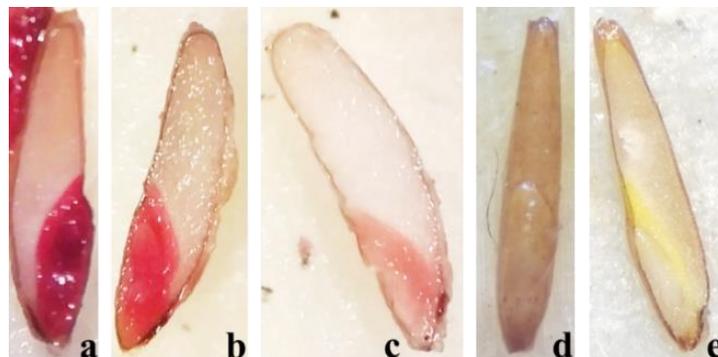


Figura 2.6 Cariópsides enteras y con corte longitudinal de *Leptochloa dubia* Kunth, a y b) Cariópsides Clase 1; c) Cariópsides Clase 2; d y e) Cariópsides Clase 3.



Figura 2.7 Cariópsides enteras de *Setaria macrostachya* Kunth y corte longitudinal. a y b) Cariópsides Clase 1; c y d) Cariópsides Clase 3; e) Cariópside sin embrión por lesión durante la escarificación y/o atributo de especie (pérdida del eje embrionario).

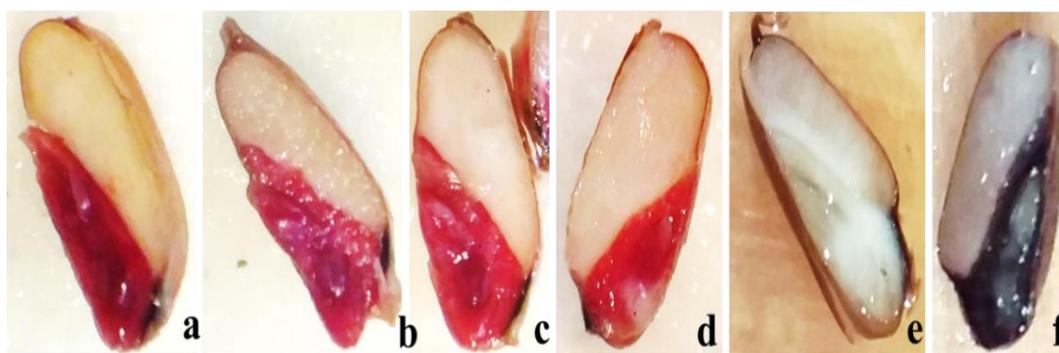


Figura 2.8 Embrión con corte longitudinal de *Pennisetum ciliare* (L.) Link (Sin. *Cenchrus ciliaris* L.), a y b) Cariópsides Clase 1; c y d) Cariópsides Clase 2; e y f) Cariópsides Clase 3, con embrión necrosado.

2.5.1 Tempranero *Setaria macrostachya* Kunth

El ANOVA (Anexo 2.1-2.3) mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$), se utilizó un modelo lineal con R^2 de 95 de ajuste y 16.1% de CV para Cs viables vigorosas. Por otro lado, la viabilidad y vigor de la Cs de Tempranero mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.02$), a concentraciones de TZ de 0.5%, con 6.7 y 8.3% mayor cantidad de Cs viables y vigorosas, en comparación con 1 y 0.01% de concentración de TZ, respectivamente (Cuadro 2.1). El mismo comportamiento se observó para Cs de viabilidad y vigor medio, con coloración rosa débil y tejido teñido en su totalidad sobre el eje embrionario. Al evaluar distintos tipos de corte en Cs, se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.0001$), se puede observar que semilla de esta especie es permeable a TZ; ya que, en Cs entera, se obtuvo 31.1% de semilla viable y vigorosa, tan solo 1.9 y 1.3% superior a Cs sometidas

a corte longitudinal y transversal, respectivamente; por tanto, es posible realizar la prueba en Cs enteros, lo que repercute en ahorro de tiempo, permitiendo rápida y correcta evaluación del lote de semilla. Respecto a imbibición del Cs (tiempo), se observaron diferencias ($p \leq 0.0001$), ya que al sumergir los Cs en agua destilada por 4, 8 y 12 horas, se registraron 28.9, 15.4 y 9.6% de embriones viables y vigorosos, en comparación con los sometidos a una hora de imbibición, donde se obtuvo 58.3%, entre más horas pasen los Cs de tempranero en imbibición se observó aborto del embrión, lo que afecta los resultados obtenidos durante la prueba de viabilidad. Es importante mencionar que esta semilla es especialmente delicada y susceptible a escarificación manual, lo que dificulta la obtención de Cs enteros para realizar las pruebas; por tanto, el uso de Cs enteros es una buena alternativa dada la permeabilidad de testa a TZ.

Cuadro 2.1 Viabilidad y vigor a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en cariósides de *Setaria macrostachya* Kunth.

Variable	Concentración de TZ (%)									
	1 %	0.5 %	0.1 %	Media	DMSH					
VV (%)	28.3 ^b	35.0 ^a	26.8 ^b	30.0	1.6					
VVM (%)	15.8 ^b	21.3 ^a	14.9 ^b	17.4	1.8					
NV (%)	55.9 ^b	43.7 ^c	58.3 ^a	52.6	2.3					
Corte en cariósipide										
	Sin corte	Longitudinal	Transversal	Media	DMSH					
Viabiles vigorosos (%)	31.1 ^a	29.2 ^b	29.8 ^{ab}	30.0	1.7					
Viabiles vigor medio (%)	21.6 ^a	16.1 ^b	14.3 ^c	17.4	1.8					
No viabiles (%)	47.3 ^b	54.7 ^a	55.9 ^a	52.6	2.3					
Tiempo de imbibición (horas)										
	1	2	3	4	6	8	10	12	Media	DMSH
VV (%)	58.3 ^a	52.3 ^b	40.0 ^c	28.9 ^d	24.2 ^e	15.4 ^f	11.4 ^g	9.6 ^g	30.0	3.5
VVM (%)	13.8 ^{de}	16.9 ^{cd}	23.1 ^b	27.1 ^a	18.1 ^c	15.3 ^{cde}	12.8 ^e	11.7 ^e	17.4	3.8
NV (%)	27.9 ^f	30.8 ^f	36.9 ^e	44.0 ^d	57.7 ^c	69.2 ^b	75.8 ^a	78.8 ^a	52.6	4.9

Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey $p \leq 0.05$). VV= Viabiles vigorosos; VVM= Viabiles vigor medio; NV= No viable

2.5.2 Punta Blanca *Digitaria californica* (Benth.) Henrard

Se observaron diferencias ($p \leq 0.01$), con R^2 de 89.5 y CV de 6.6% para Cs viables vigorosas, el ANOVA (Anexo 2.4- 2.6) mostró diferencias significativas con ($p \leq 0.0001$) y resultados similares en todos los tratamientos evaluados. La viabilidad y vigor de las Cs mostraron diferencias ($p \leq 0.0001$) y concentración de TZ de 1%, con 83.2% de Cs viables y vigorosas; mientras que, con 0.5 y 0.1%, se obtuvieron 80.4 y 72.4%, respectivamente (Cuadro 2.2). Distintos tipos de corte en la Cs resultó en diferencias ($p \leq 0.0001$), Cs de

esta especie también son permeables a TZ, ya que en Cs enteras se observaron 76.6% de semilla viable y vigorosa, 4.2 y 2.5% menos, respecto a Cs enteros y sometidos a corte transversal, respectivamente; lo anterior, permite realizar la prueba de viabilidad en Cs enteros de forma rápida y correcta; lo anterior, al menos en semilla de esta edad de cosecha. Es conveniente verificar si lotes viejos de semilla siguen siendo permeables a TZ, dado esta permeabilidad podría estar relacionada con tiempo post-cosecha, conservación de semilla y, por tanto, con vigor. Para tiempo de imbibición de la Cs, se observaron diferencias ($p \leq 0.0001$). Al igual que en Tempranero, Punta Blanca presentó menor viabilidad a mayor número de horas en imbibición, Cs con una hora de imbibición presentaron el 93.8%, en contraste a 4, 8 y 12 horas, con 83, 70 y 61% de embriones viables y vigorosos, respectivamente, lo que afecta los resultados obtenidos.

Cuadro 2.2 Embriones viables vigorosos, con vigor medio y no viables (porcentaje), a diferente concentración de tetrazolio, corte y tiempo de imbibición (horas), en cariósides de Punta Blanca *Digitaria californica* (Benth.) Henrard.

Variable	Concentración de TZ (%)									
	1	0.5	0.1	Media	DMSH					
VV (%)	83.2 ^a	80.4 ^b	72.4 ^c	78.7	1.8					
VVM (%)	11.0 ^b	8.8 ^c	14.4 ^a	11.4	1.7					
NV (%)	5.88 ^c	10.9 ^b	13.2 ^a	10.0	1.9					
	Corte en cariósido				DMSH					
	Entero	Longitudinal	Transversal	Media						
VV (%)	76.6 ^c	81.0 ^a	78.4 ^b	78.7	1.8					
VVM (%)	11.5 ^a	11.4 ^a	11.2 ^a	11.4	1.7					
NV (%)	12.0 ^a	7.8 ^b	10.2 ^a	10.0	1.9					
	Tiempo de imbibición (horas)								DMSH	
	1	2	3	4	6	8	10	12		Media
VV (%)	93.8 ^a	90.7 ^{ab}	87.6 ^b	82.9 ^c	76.7 ^d	69.7 ^e	67.4 ^e	60.6 ^f	78.65	3.76
VVM (%)	2.9 ^e	4.2 ^{de}	7.0 ^{cd}	10.0 ^c	9.8 ^c	15.4 ^b	18.9 ^b	22.7 ^a	11.36	3.64
NV (%)	3.3 ^b	5.1 ^b	5.4 ^b	7.1 ^b	13.6 ^a	14.9 ^a	13.7 ^a	16.8 ^a	9.99	3.94

Medias con la misma literal dentro hilera son iguales (Tukey $p \leq 0.05$). VV= Viables vigorosos; VVM= Viables vigoroso medio; NV= No viable.

2.5.3 Banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

El ANOVA (Anexo 2.7-2.9) mostró diferencias ($p \leq 0.0001$) para todos los tratamientos. El R^2 para Cs viables vigorosas fue de 92.4 y presentó 10.2% de CV. La viabilidad y vigor de la Cs de Banderita, al utilizar concentraciones de TZ de 0.5%, resultó en 56.0% de Cs viables y vigorosas; mientras que, con 1 y 0.1%, se obtuvieron 51.8 y 44.3%, respectivamente (Cuadro 2.3). Al analizar distintos tipos de corte en Cs, se observó que

esta semilla es semipermeable a TZ, ya que en Cs entero se obtuvo 39.8% de semilla viable y vigorosa, 18.1 y 14.7% menos respecto a Cs de corte longitudinal y transversal, respectivamente; lo anterior, indica que para esta especie es necesario realizar corte para la correcta evaluación. En relación al tiempo de imbibición de la Cs, contrario a especies descritas, Banderita incrementa el número de semilla viable y vigorosa con mayor tiempo de imbibición. A una hora de imbibición, se observó el 48%, contrastando con 4 y 12 horas con 52.9 y 53.1% de embriones viables y vigorosos. De acuerdo a datos obtenidos anteriormente, se recomienda por cuestión práctica, embeber por 4 horas y posteriormente, realizar el corte.

Cuadro 2.3 Embriones viables y vigorosos, viables con vigor medio y no viables (%), en respuesta a diferentes concentraciones de tetrazolio, corte y tiempo de imbibición (horas) en cariósides de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

Variable	Concentración de TZ (%)									
	1	0.5	0.1	Media	DMSH					
VV (%)	51.8 ^b	56.0 ^a	44.3 ^c	50.7	1.8					
VVM (%)	18.3 ^b	20.8 ^a	9.9 ^c	16.3	1.6					
NV (%)	29.9 ^b	23.2 ^b	45.8 ^a	33.0	2.2					
	Corte en cariósipide				DMSH					
	Entero	Longitudinal	Transversal	Media						
VV (%)	39.8 ^c	57.9 ^a	54.5 ^b	50.7	1.8					
VVM (%)	13.3 ^c	15.5 ^b	20.2 ^a	16.3	1.6					
NV (%)	47.0 ^a	26.6 ^b	25.3 ^b	33.0	2.2					
	Tiempo de imbibición (horas)									
	1	2	3	4	6	8	10	12	Media	DMSH
VV (%)	48.0 ^{bc}	47.9 ^c	51.6 ^{abc}	52.9 ^a	50.7 ^{abc}	50.0 ^{abc}	51.7 ^{ab}	53.1 ^a	50.7	3.7
VVM(%)	11.7 ^c	14.7 ^{bc}	15.0 ^{bc}	16.6 ^{ab}	19.0 ^a	18.7 ^a	17.8 ^{ab}	17.2 ^{ab}	16.3	3.4
NV (%)	40.3 ^a	37.4 ^{ab}	33.4 ^{bc}	30.6 ^c	30.3 ^c	31.3 ^c	30.6 ^c	29.7 ^c	33.0	4.7

Medias con la misma literal dentro hilera son iguales (Tukey $p \leq 0.05$). VV= Viables vigorosos; VVM= Viables vigor medio; NV= No viable

2.5.4 Gigante *Leptochloa dubia* Kunth

En ANOVA (2.10–2.12) mostró diferencias ($p \leq 0.0001$), para los tratamientos evaluados. Para esta especie se obtuvo un valor de R^2 de 92.8% y un CV de 8.8% para Cs viables vigorosas. La viabilidad y vigor de la Cs de Gigante mostró que al utilizar concentraciones de TZ de 1%, se obtuvo 65.9% de Cs viables y vigorosas; mientras que con el 0.5 y 0.1%, se obtuvieron 63.17 y 54.25%, respectivamente (Cuadro 2.4). Al analizar los distintos cortes en Cs, se observó moderada permeabilidad de pericarpio al TZ; en Cs entero, se obtuvo 51.7% de semillas viables y vigorosas, aunque el color alcanzado es rosa tenue.

Por otro lado, se obtuvo 73.6 y 58% en Cs con corte longitudinal y transversal, respectivamente; por tanto, se sugiere realizar corte longitudinal para correcta evaluación en esta especie. El tiempo de imbibición del Cs también resulta importante, a una hora de imbibición se observó el 39.5%; mientras que a 4, 6 y 12 horas, 68.6, 12.4 y 68.9% de embriones viables y vigorosos.

Cuadro 2.4. Embriones viables vigorosos, viables con vigor medio y no viables (%), a diferente concentración de tetrazolio, corte y tiempo de imbibición en cariósides de *Leptochloa dubia* Kunth.

Variable	Concentración de TZ (%)									
	1	0.5	0.1	Media	DMSH					
VV (%)	65.9 ^a	63.2 ^b	54.3 ^c	61.1	1.8					
VVM (%)	12.2 ^c	16.7 ^a	17.0 ^a	15.3	1.8					
NV (%)	21.9 ^b	20.1 ^b	28.7 ^a	23.6	2.1					
Corte en cariósido										
	Entero	Longitudinal	Transversal	Media	DMSH					
VV (%)	51.7 ^c	73.6 ^a	58.0 ^b	61.1	1.8					
VVM (%)	19.9 ^a	10.1 ^c	16.0 ^b	15.3	1.8					
No viables (%)	28.4 ^a	16.3 ^c	26.0 ^b	23.6	2.1					
Tiempo de imbibición (horas)										
	1	2	3	4	6	8	10	12	μ	DMSH
VV (%)	39.5 ^c	42.8 ^c	65.0 ^b	68.6 ^{ab}	68.9 ^a	68.1 ^{ab}	67.7 ^{ab}	68.4 ^{ab}	61	3.9
VVM (%)	24.1 ^a	19.2 ^b	11.6 ^d	12.4 ^{cd}	12.0 ^{cd}	15.8 ^{bc}	16.6 ^b	10.9 ^d	15	3.9
NV (%)	36.4 ^a	38.0 ^a	23.4 ^b	19.0 ^{cd}	19.1 ^{bcd}	16.1 ^d	15.8 ^d	20.7 ^{bc}	23	4.4

Medias con la misma literal dentro hilera son iguales (Tukey $p \leq 0.05$). VV= Viables vigorosos; VVM= Viables vigor medio; NV= No viable.

2.5.5 Buffel *Pennisetum ciliare* (L.) Link (Sin. *Cenchrus ciliaris* L.).

La prueba de vigor mostró diferencias (Anexo 2.13- 2.15) altamente significativas ($p < 0.0001$) para los tratamientos. El modelo lineal mostró R^2 de 96.6 y CV de 16.6% para Cs viables vigorosas. La viabilidad y el vigor del Cs de Buffel mostró que al utilizar concentraciones de TZ de 0.5%, se obtuvo 30.5% de Cs viables y vigorosas; mientras que con 1 y 0.1%, se obtuvieron 27.7 y 30.1%, respectivamente (Cuadro 3.5). Al analizar los distintos cortes de Cs, se observó que la testa no es permeable a TZ, ya que en Cs entera se obtuvo 0% de viabilidad vigorosa, 44 y 43% en Cs de corte longitudinal y transversal, respectivamente; por tanto, se puede realizar cualquier tipo de corte para la correcta evaluación. El tiempo de imbibición del Cs también resulta importante para esta especie, a una hora de imbibición, se observó el 21.4%; mientras que, a 12 horas, 37.2%

de embriones viables y vigorosos. Por tanto, doce horas establecidas para realizar la lectura, permite una correcta evaluación.

Cuadro 2.5 Embriones viables vigorosos, viables de vigor medio y no viables (%), a diferente concentración de tetrazolio, corte y tiempo de imbibición en cariósides de *Buffel Pennisetum ciliare* (L.) Link (Sin. *Cenchrus ciliaris* L.).

Variable	Concentración de TZ (%)									
	1	0.5	0.1	Media	DMSH					
VV (%)	27.7 ^b	30.5 ^a	30.1 ^a	29.5	1.7					
VVM (%)	8.2 ^c	15.0 ^a	10.3 ^b	11.2	1.5					
NV (%)	64.1 ^a	54.5 ^c	59.5 ^b	59.4	2.0					
Corte en cariósido										
	Entero	Longitudinal	Transversal	Media	DMSH					
VV (%)	0.0 ^b	44.8 ^a	43.6 ^a	29.5	1.7					
VVM (%)	1.2 ^c	17.6 ^a	14.7 ^b	11.2	1.5					
NV (%)	98.8 ^a	37.6 ^c	41.7 ^b	59.4	2.0					
Tiempo de imbibición (horas)										
	1	2	3	4	6	8	10	12	μ	DMSH
VV (%)	21.4 ^d	22.4 ^d	24.8 ^{cd}	26.4 ^c	30.0 ^b	36.1 ^a	37.2 ^a	37.2 ^a	29.5	3.5
VVM (%)	17.2 ^a	13.8 ^b	10.2 ^{cd}	11.8 ^{bc}	11.6 ^{bc}	8.7 ^{cd}	7.2 ^d	9.0 ^{cd}	11.2	3.3
NV (%)	61.3 ^{ab}	63.8 ^a	65.0 ^a	61.8 ^{ab}	58.4 ^{bc}	55.2 ^{cd}	55.6 ^{cd}	53.8 ^d	59.4	4.3

Medias con la misma literal dentro hilera son iguales (Tukey $p \leq 0.05$). VV= Viables vigorosos; VVM= Viables vigor medio; NV= No viable.

En las tres concentraciones probadas de TZ, los embriones adquieren tonalidades adecuadas para conteo final, en ninguna concentración probada se observó rojo intenso en tejidos embrionarios que hayan impedido identificar daños en estructuras embrionarias. Las Cs expuestas a concentraciones de 0.1, 0.5 y 1% por 12 horas y evaluadas después del contacto con solución de TZ, mostraron ser concentraciones probadas, dados los resultados similares, ya que tejidos vivos y vigorosos adquieren coloración uniforme; lo anterior, indica que tejidos en contacto con TZ reaccionaron con los H⁺ producto de la respiración celular, facilitando así coloración rosa rápida y uniforme; por esta razón, es considerado como método colorimétrico confiable ya que indica la presencia de enzimas activas: peroxidasa, esterasa y deshidrogenasa (Gaspar *et al.*, 2010), sin embargo, estos resultados contradicen lo encontrado en semilla de canola donde se observó coloración débil independiente del tiempo de imbibición (Faber *et al.*, 2015).

En Poaceae, forrajeras como: *Urochloa* spp., *Chloris gayana*, *Dactylis* spp., *Panicum* spp. y *B. gracilis*, entre otras, las reglas ISTA (ISTA 2003; ISTA, 2012) establecen que las

espiguillas sin Cs (semilla verdadera) deben considerarse no viables, pero no especifica cómo expresar flósculos vacíos al realizar la prueba de viabilidad por TZ. Algunos autores han expresado que ISTA demanda, para la evaluación de pureza, determinar porcentaje de flósculos llenos, con cariósido/s en su interior (Agüero *et al.*, 2017). Se sugiere, para diversas especies y previo a la tinción, realizar cortes en la Cs, de tal manera que se permita la exposición de tejidos a la solución de TZ (ISTA, 2012); sin embargo, escasamente hace referencia al tiempo óptimo de imbibición de Cs para reblandecimiento del tejido (testa y endospermo); lo anterior, con el fin de realizar un corte certero y por tanto, metodología estandarizada, correcta y repetible de evaluación. Para Cs pequeños de gramíneas, se recomienda realizar el corte, de forma longitudinal o transversal; sin embargo, no se considera la posibilidad de que algunas especies posean testas permeables a TZ; lo anterior, probablemente debido a que el corte permite evaluar y diferenciar semillas muertas de aquellas que se encuentran latentes (Gosling, 2003).

Diversos factores pueden influir en la evaluación de resultados en la prueba de TZ, muchos de ellos relacionados con la metodología empleada; además, la concentración de TZ en la solución, tiempo y temperatura de exposición a la solución y criterios de interpretación (Gaspar *et al.*, 2010). Por tanto, determinar correctamente patrones de coloración (Figura 3.2 a 3.8) en las Cs, a diferentes concentraciones de tinción y tiempos de imbibición, aplicables para evaluar las estructuras del eje embrionario correctamente con la coloración obtenida, contribuyendo a una segura y eficiente interpretación en esta prueba; lo anterior, permitirá establecer de forma rápida la calidad del lote de semilla. Es posible, en condiciones de campo, que una mayor tasa de imbibición pueda ser una ventaja para las semillas debido a que el endospermo toma más tiempo para hidratarse que el embrión (Finch *et al.*, 2004). Los protocolos de *Panicum* (Sin. *Megathyrus*; ISTA, 2012) no son aplicables a Banderita, Gigante, Punta Blanca, Tempranero y Buffel; lo anterior, debido a que el tiempo de imbibición es variable para especie. Para algunas especies se sugiere corte longitudinal a través del eje embrionario; mientras que, para otras es posible realizar evaluación en Cs enteras. Realizar cortes en Cs implica entrenamiento para realizar corte correcto en el eje embrionario; lo cual, permite observar estructuras muertas o necrosadas sobre dicho eje, lo que concuerda con lo reportado

por Agüero (2017) para evaluaciones realizadas en Buffel. Dependiendo de especie y tamaño de Cs serán las concentraciones de TZ. En tomate *Lycopersicon esculentum* y algodón *Gossypium hirsutum*, esta es de 0.075% (Santos *et al.*, 2007; Cervi y Mendonga, 2009; Pérez, 2018), en leucena, *Leucaena leucocephala* (Costa y Santos, 2010) con 0.15 % y para canola *Brassica napus* con 0.5% (Faber *et al.*, 2015).

Porcentaje total de germinación (GT). El ANOVA mostró diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre especies sometidas a conductividad eléctrica (CE) y envejecimiento acelerado (EA). En Cs sometidas a CE, la germinación inició a partir del segundo día. Conforme transcurrió el tiempo de observación, el CV se redujo de 27.9% observado (día uno), hasta 10.1% al día siete. La DMS_h de comparación de medias de Tukey mostró diferencias ($p \leq 0.05$), para porcentaje total de germinación (Figura 2.9).

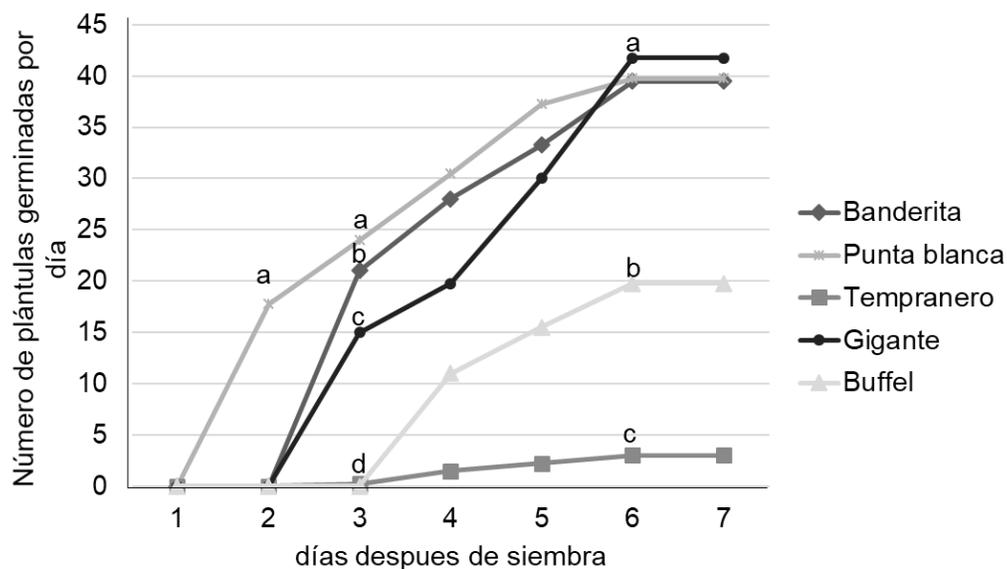


Figura 2.9 Porcentaje total de germinación de cuatro especies forrajeras nativas y una exótica, sometidas a prueba de conductividad eléctrica.

El mayor GT se observó en Punta Blanca y se mantuvo durante el periodo de evaluación. Banderita y Gigante iniciaron germinaron un día posterior a Punta Blanca. Las especies con peor germinación fueron Tempranero y Buffel. Respecto a Cs sometidas a envejecimiento acelerado, estas iniciaron germinación al tercer día (Figura 2.10), un día más tarde, respecto a aquellas sometidas a prueba de CE. La especie con el mayor porcentaje total de germinación fue Banderita, Punta Blanca y Gigante, comportamiento

que se mantuvo durante el periodo de evaluación. Al día siete de siembra Buffel alcanzó el 50% del total del porcentaje total de emergencia respecto a las especies sobresalientes.

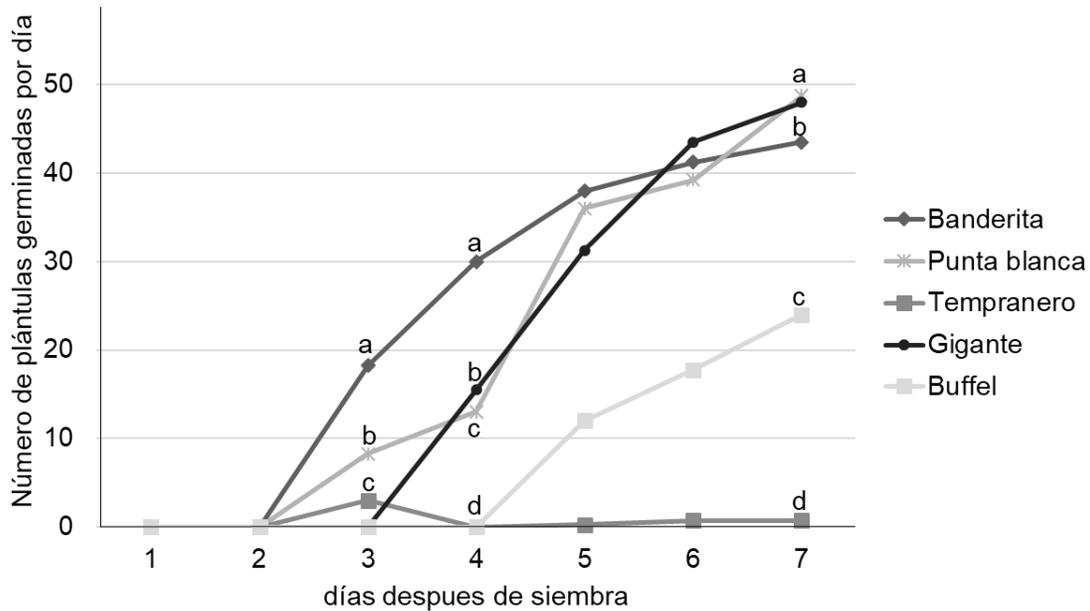


Figura 2.10 Porcentaje total de germinación de cuatro especies forrajeras nativas y una naturalizada en el semi-árido de México, sometidas a envejecimiento acelerado.

El ANOVA (Anexo 2.16–2.20) para germinación, porcentaje de plántulas anormales, viabilidad y longitud de plúmula y radícula de especies sometidas a prueba de conductividad eléctrica (CE) y envejecimiento acelerado (EA) mostró diferencias ($p \leq 0.01$). El modelo de regresión lineal mostró R^2 de 95.3 y CV de 15.7%, para plántulas normales; 71.8 y 5.2%, para plántulas anormales; 97.3 y 9.9%, para viabilidad en Cs sometidos a CE. Para Cs sometidas a EA se observó R^2 de 99.2 y CV de 5.7, para plántulas normales; 74.2 y 43.1% para plántulas anormales y 99.8 y 3.2%, para viabilidad. Las Cs evaluadas tuvieron diferente comportamiento para germinación y viabilidad, aquellas Cs que fueron sometidas a CE mostraron que Gigante presentó el mayor porcentaje de plántulas normales (80.5%) y Tempranero el menor porcentaje (2.5%), Punta Blanca y Banderita presentaron la mayor cantidad de plántulas anormales; lo anterior, debido al escaso o nulo desarrollo de radícula; sin embargo, estas dos especies presentaron los porcentajes de viabilidad más altos con 79.5 y 79%, respectivamente (Cuadro 2.6). Cariópsides sometidas a EA mostraron mayor porcentaje de plántulas germinadas normales en comparación a aquellas sometidas a CE en 1.5% más para

Gigante y 24 y 38.5% más para Banderita y Punta Blanca, respectivamente. Estas tres especies tuvieron viabilidad superior al 96%. Al evaluar el desarrollo de plántulas, se observó a Banderita como la especie con mayor desarrollo de plúmula y radícula, con 33.2 mm, en promedio más para plúmula y 17.6 mm, para radícula, en comparación al resto de Cs sometidas a CE; lo anterior, no se observó en Cs sometidas a EA, donde el desarrollo fue superior en 11.1 mm y 9.4 mm promedio para plúmula y radícula, respectivamente, sobre el resto de las especies evaluadas. Debido a la baja cantidad de plántulas desarrolladas para Tempranero no fue posible medir desarrollo de plúmula y radícula en esta especie.

Cuadro 2.6 Germinación, viabilidad, longitud de plúmula y de radícula en cariósido de cuatro gramíneas nativas y una exótica de zonas áridas, sometidas a dos pruebas de vigor.

	Germinación (%)		Viabilidad (%)	Longitud (mm)	
	PN	PA	PN + PA	Plúmula	Radícula
CE					
Tempranero	3 ^d	5 ^c	8 ^b	---	---
Punta Blanca	46 ^b	34 ^a	80 ^a	14.0 ^b	12.5 ^c
Banderita	55 ^b	24 ^{ab}	79 ^a	48.1 ^a	33.1 ^a
Gigante	81 ^a	3 ^c	84 ^a	16.0 ^b	17.5 ^b
Buffel	29 ^c	11 ^{bc}	40 ^b	14.6 ^b	16.5 ^{bc}
EA					
Tempranero	2 ^c	0 ^c	2 ^d	---	---
Punta Blanca	85 ^a	13 ^{ab}	98 ^a	14.8 ^b	15.9 ^b
Banderita	79 ^a	8 ^{ab}	87 ^b	24.5 ^a	23.4 ^a
Gigante	82 ^a	14 ^a	96 ^a	14.2 ^{bc}	14.9 ^b
Buffel	43 ^b	6 ^{bc}	49 ^c	11.6 ^c	11.3 ^c

Tratamientos con la misma literal dentro de columna y grupo, son estadísticamente iguales ($p < 0.05$). CE= Conductividad eléctrica; EA= Envejecimiento acelerado; PN= Plántulas normales; PA= Plántulas anormales.

Los datos obtenidos en este estudio son importantes para seleccionar adecuadamente el valor biológico de lotes de semilla a utilizar en siembras en campo. Gonzales *et al.* (2008), indican que el vigor de semilla es el valor de calidad que indica la probabilidad de establecimiento rápido y uniforme bajo condiciones, incluso desfavorables, de campo; por lo anterior, se debe buscar que la semilla a utilizar haya alcanzado madurez fisiológica en la planta madre, ya que estas presentan mayor vigor y potencial germinativo. La medición de CE del agua en la que se han embebido los Cs permite identificar lotes de semillas con alta germinación en laboratorio, pero con posible pobre

potencial de emergencia en campo. Lotes de semilla con mayor liberación/lixiviación de electrolitos hacia el medio de imbibición, se clasifican como “de bajo vigor”; mientras que, aquellos con menor liberación de electrolitos son considerados “de alto vigor” (AOSA, 2009). Cuanto mayor sea la velocidad en que la semilla es capaz de restablecer la integridad de membranas celulares, la salida de electrolitos al medio de imbibición resulta inferior. Las semillas de vigor alto, al hidratarse, son capaces de reorganizar sus membranas con mayor rapidez y reparar cualquier daño en mayor medida, que aquellas de bajo vigor (ISTA, 2012). Los micronutrientes que escapan de la semilla durante la imbibición son reabsorbidos y su movilización depende de la tasa de crecimiento de plántula, su solubilidad y concentración en la solución que la rodea (Melo *et al.*, 2009). Los resultados de germinación y viabilidad mostrados pueden explicarse por el tamaño de Cs de las especies evaluadas. Banderita posee el Cs de mayor tamaño entre las nativas; lo anterior, concuerda con Limami *et al.* (2002) en maíz, quienes observaron que líneas con menor tamaño de grano mostraron mayor germinación; sin embargo, semillas más grandes resultaron en plántulas más grandes, capaces de emerger desde mayor profundidad de siembra y con mayor tasa de crecimiento de radícula. El elevado porcentaje de plántulas anormales puede explicarse por el manejo de conservación post-cosecha de semilla; la cual, está expuesta a deterioro, lo que provoca daños a la germinación, desde su capacidad de imbibición y los primeros signos de germinación, hasta el estadio de cuarta hoja (Khajeh *et al.*, 2009). En trigo, se ha observado presencia de proteasas durante la germinación; por tanto, se ha propuesto que pueden estar involucradas en el crecimiento de radícula y plántula, además de hidrolasas de pared celular; las cuales, son requeridas para la protrusión de radícula (Dogra *et al.*, 2013).

2.6 CONCLUSIONES

Los protocolos ISTA para viabilidad en Poaceae (ISTA, 2012) no son aplicables para *Bouteloua curtipendula*, *Leptochloa dubia*, *Digitaria californica*, *Setaria macrostachya* y *Cenchrus ciliaris* debido a que no se considera el tiempo de imbibición. Este estudio demostró que el tiempo óptimo de imbibición para estas especies es de 3 a 4 horas, se recomienda usar una concentración de TZ al 0.5% y hacer la evaluación 12 horas después de haber entrado en contacto con la solución. El corte longitudinal completo es

el más adecuado para hacer una correcta evaluación de las estructuras embrionarias de las especies evaluadas, para el caso de Punta Blanca y Tempranero es posible realizar la evaluación con Cs enteros por la permeabilidad de la testa al TZ. Las especies nativas sometidas a distintas pruebas de vigor presentaron mayor porcentaje de germinación, viabilidad y desarrollo de plúmula y radícula en comparación con la especie introducida. Tempranero es una especie delicada para trabajar en laboratorio, es susceptible al aborto del embrión durante la imbibición y el proceso de escarificación física, por lo que se sugiere buscar alternativas para la obtención del Cs y probar otras alternativas para realizar la prueba de TZ.

CAPÍTULO III. DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE *BOUTELOUA CURTIPENDULA*, DE CERO A 45 DÍAS, CON CARIÓPSIDES CLASIFICADAS Y DIFERENTE PROFUNDIDAD DE SIEMBRA

3.1 RESUMEN

Para iniciar un programa de recuperación de pastizales es de vital importancia conocer y evaluar la diversidad de morfotipos sobresalientes de la región y las variedades que se encuentran disponibles en el mercado, para establecer programas de siembra y cosecha semillas basado en el potencial productivo de estos. Tal es el caso del pasto Banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] que además de ser una especie nativa de zonas áridas y semiáridas de México es apomíctica por lo que es posible encontrar gran diversidad de esta especie en gran parte del país. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de tamaño de carióspside (TCs) sobre la velocidad de emergencia al establecimiento, desde el día cero hasta los 45 días después de siembra (dde), y determinar la estructura implicada en dicho proceso. Se sembraron seis variedades de pasto banderita, clasificados en dos TCs a cinco profundidades de siembra, en suelo previamente tamizado y esterilizado, en tubetes y condiciones de invernadero. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de viabilidad, germinación, velocidad de emergencia, acumulación de materia seca en raíz y hoja, longitud de mesocótilo y coleóptilo; en muestreos destructivos cada cinco días después de emergencia (dde) hasta el día 45 dde. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias se mediante diferencia mínima significativa honesta de Tukey, usando el paquete SAS. Las carióspsides chicas presentaron mayor viabilidad respecto a carióspsides grandes, con resultados similares para germinación, aunque no se observaron diferencias significativas entre tamaños de carióspside. NdeM-125 mostró los valores más elevados para longitud de hoja y de raíz; similarmente de área foliar y radical. Para acumulación de biomasa total NdeM-62 mostró los mayores promedios y NdeM-5, los más bajos. Existe diferencia entre variedades y tamaños de Cs en el porcentaje de viabilidad, germinación y velocidad de emergencia durante los 45 dde; los CsG presentaron mayor acumulación de biomasa total, en raíz y hoja. Tanto el mesocótilo como el coleóptilo tienen efecto en el proceso de emergencia del pasto banderita, por lo

que se recomienda sembrar a profundidades no mayores a 2 cm para obtener éxito al establecimiento.

Palabras clave: biomasa, coleóptilo, establecimiento, mesocótilo, vigor.

3.2 ABSTRACT

To start a grassland recovery program, it is vitally important to know and evaluate the diversity of outstanding morphotypes in the region and the varieties that are available in the market, in order to establish sowing and harvesting programs based on their productive potential. Such is the case of the sideoats grama grass [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] which, in addition to being a native species of arid and semi-arid areas of Mexico, is apomictic, so it is possible to find a great diversity of this species in a large part of the country. The objective of the study was to evaluate the effect of caryopsis size (TCs) on the emergence speed to establishment, from day zero to 45 days after sowing (dae), and to determine the structure involved in this process. Six varieties of sideoats grama grass were sown, classified into two TCs at five planting depths, in previously sieved and sterilized soil, in tubes and in greenhouse conditions. The variables evaluated were: viability percentage, germination, emergence speed, dry matter accumulation in root and leaf, mesocotile and coleoptile length; in destructive sampling every five days after emergence (dae) until day 45 dae. Data were analyzed by analysis of variance (ANOVA) and comparison of means was by means of Tukey's honest least significant difference, using the SAS package. Small caryopses presented higher viability compared to large caryopses, with similar results for germination, although no significant differences were observed between caryopsis sizes. NdeM- 125 showed the highest values for leaf and root length; similarly leaf and root area. For total biomass accumulation NdeM- 62 showed the highest averages and NdeM- 5 the lowest. There is a difference between varieties and sizes of Cs in the percentage of viability, germination and emergence speed during the 45 dae; the CsG presented higher accumulation of total biomass, in root and leaf. Both the mesocotile and the coleoptile have an effect on the emergence process of banderita grass, so it is recommended to sow at depths no greater than 2 cm to achieve successful establishment.

Keywords: biomass, coleoptile, establishment, mesocotile, vigor.

3.3 INTRODUCCIÓN

El deterioro de los pastizales en México ocurre debido a diversos factores: cambio de uso de suelo, descanso parcial o nulo de potreros bajo pastoreo, entre otros; lo que ha ocasionado reducción de la cobertura vegetal (Quero *et al.*, 2014). Existe una marcada necesidad de resembrar pastizales con semilla de calidad, a fin de establecer el mayor número de plántulas en dichas áreas; por tanto, se debe optimizar el manejo de cosecha y almacenamiento de semilla para no afectar la calidad biológica de la ésta (Ferguson, 1995). La diáspora o espiguilla es la estructura de dispersión ampliamente comercializada como semilla de pastos para zonas áridas, esta está formada por la cariósida (Cs) envuelta en brácteas accesorias que dificultan el manejo durante la siembra, ya que las estructuras afectan la pureza física y calidad biológica de la semilla (Enríquez y Quero, 2006). Se ha observado que un mayor tamaño de cariósida (TC) está relacionado con una mayor emergencia, además de la latencia que pueden presentar algunas especies silvestres o no domesticadas como característica para sobrevivir a ambientes adversos (Naylor, 1980; López *et al.*, 1996; Tian *et al.*, 2002; Zhongnan y Norton, 2009). En siembras de temporal semiárido, las plántulas enfrentan condiciones de sequía intraestival, competencia contra maleza, depredadores y temperaturas elevadas a ras de suelo, entre otros factores, por lo que una plántula con rápida emergencia desarrollará rápidamente tejido fotosintético y raíces eficientes para enfrentar condiciones adversas y variables para poder consolidar su establecimiento (Moreno *et al.*, 2012). Por lo anterior, seleccionar la especie o genotipo más adecuado a cada región permitirá realizar programas exitosos de rehabilitación de pastizales semiáridos, por lo que resulta primordial diseñar esquemas de análisis en condiciones de invernadero que permitan evaluar el comportamiento y establecimiento de las especies a resembrar y predecir las probabilidades de éxito en campo. Hasta el momento, no se tiene documentado el efecto y uso de Cs al establecimiento, especialmente durante los primeros días de post-siembra, por lo que es necesario resolver los problemas antes mencionados, mejorando las prácticas agronómicas y desarrollando variedades específicas. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de

tamaño de cariósida (TC) sobre la velocidad de emergencia al establecimiento desde el día cero hasta 45 días después de siembra (dde) y determinar que estructura es clave en este proceso, además de determinar la profundidad de siembra óptima.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Sitio experimental

El experimento se realizó de mayo a septiembre de 2020 en condiciones de invernadero en el *Campus* Montecillo, Colegio de Posgraduados, Estado de México. El material experimental consistió en seis variedades con título de obtentor por el Colegio de Postgraduados, de pasto Banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. La temperatura del invernadero, determinada con termómetro digital de máximas y mínimas, en promedio fue de 24.1 °C, máxima de 38.1 °C y mínima de 11.6 °C, la humedad promedio fue de 44.3%. La semilla, fue cosechada en ramas primarias y espiguillas, tal como se comercializa en el mercado, en octubre de 2018.

3.4.2 Material genético

Las unidades de dispersión completas (espiguillas) se almacenaron en condiciones de laboratorio constantes (obscuridad, 12 °C y 40% HR) en bolsas de mantas hasta su utilización. Al inicio del estudio, extrajeron y caracterizaron las semillas utilizando tapete, almohadilla de caucho corrugado y fricción manual, se eliminaron brácteas accesorias de la cariósida (Cs): glumas, lema, palea. Una vez clasificadas los Cs, se seleccionaron aquellas en buen estado, eliminando las dañadas (rotas) y ralladas en el pericarpio, con ayuda de microscopio estereoscópico. Las Cs fueron desinfectadas, tanto Cs chicas (CsCh) como Cs grandes (CsG), así como los recipientes plásticos con tapa; lo anterior, con solución de hipoclorito comercial al 0.6% por 3 min, se enjuagaron con agua destilada y se secaron a la sombra con flujo ligero de aire, durante 24 h, dispuestas sobre papel tipo "sanita" en mesas de trabajo en condiciones ambientales de laboratorio. A continuación, se colocaron las Cs clasificadas por variedad y tamaño, en recipientes bien identificados, a la sombra y bajo condiciones de ambiente seco y fresco. Se utilizó un sustrato que incluyó tepetate, corteza molida de árboles de la zona, tezontle y gallinaza molida en proporción 1:4:1:0.75, el cual una vez mezclado se cernió en criba de 0.5 mm

y posteriormente se esterilizó en autoclave de fabricación propia con capacidad de 1 m³ durante 2 h a 121 °C. Se determinó viabilidad de las Cs y se sembró en base a semilla pura viable, para uniformizar la oportunidad de germinación o emergencia. La siembra se realizó en sustrato húmedo en julio de 2020 en tubetes de 71.5 cm³ con drenaje. Los riegos fueron a saturación, conforme a los requerimientos de la plántula, no hubo presencia de hongos ni enfermedades, no se aplicó fertilizante.

3.4.3 Diseño y unidad experimental

Se estableció un experimento bajo un diseño experimental completamente al azar con un arreglo de tratamientos factorial, donde el factor A consistió de las seis variedades de pasto banderita (NdeM-5, NdeM-62, NdeM-125, NdeM-La Resolana, NdeM-303, NdeM-417), el factor B, tamaño de cariósipide (chico (CsCh) y grande (CsG)), el factor C profundidad de siembra (1, 2, 3, 4, 5 cm); el factor D muestreos destructivos (al día 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 45 después de emergencia), la unidad experimental fueron tres tubetes con cinco plántulas y tres repeticiones por tratamiento.

3.4.4 Variables evaluadas

Se realizaron muestreos destructivos cada cinco días hasta el día 45 después de emergida la planta (Figura 3.1). Las variables evaluadas para cada fecha de muestreo incluyeron velocidad de emergencia, peso y área foliar y radicular (cm²), este último obtenido con ayuda del programa imagenJ, longitud de coleóptilo, mesocótilo, hoja y raíz (cm²) se realizó con vernier digital con precisión 530-312 Mitutoyo, biomasa total (g MS/planta) incluyendo láminas foliares y raíces, así como biomasa de las estructuras morfológicas por separado (g MS/planta); para ello, la planta completa se sacó del tubete, se colocó en agua corriente hasta que el sustrato se desprendió de las raíces; posteriormente, la planta se separó en sus componente morfológicos: láminas foliares y raíz, se colocaron en sobres de papel para su secado en estufa de aire forzado de 36 L de capacidad (Marca Dalvo, modelo Basic, Zelian S.A., Buenos Aires, Argentina) a 60 °C durante 48 h (peso constante) y se pesó con balanza analítica de precisión (+0.001 g; Sartorius, modelo 1984, Bohemia, New York, EUA).



Figura 3.1 a) Prueba de viabilidad; b) Prueba de germinación estándar; c) Esterilización de sustrato por método de arrastre; d) Siembra en tubetes; e) plántulas a 1 cm de profundidad de siembra al cuarto día después de siembra; f) plántulas de 30 días después de emergencia; g) muestreos destructivos.

3.4.5 Diseño experimental

Los datos de viabilidad y vigor expresados en porcentaje se transformaron mediante la función arcoseno. Los datos se sometieron a un análisis de varianza, con base en un diseño experimental factorial completamente al azar. La comparación de medias de los tratamientos se efectuó mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de 0.05. Se realizaron pruebas de normalidad (prueba de Kolmogorov-Smirnov) y de homogeneidad de varianzas (prueba de Bartlett) con una significancia de 0.5% con el software SAS (SAS, 2013). Además, se realizó un análisis de correlación para estimar el grado de asociación entre el porcentaje de emergencia y la profundidad de siembra. Así como análisis de regresión lineal entre las variables respuestas y las variedades evaluadas y el tamaño de Cs.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ANOVA (Anexo 3.1) para viabilidad mostró diferencias ($p < 0.0001$) para el factor variedad, mientras que para el factor tamaño de Cs mostró significancia a un p -value = 0.0058; sin embargo, la interacción mostró no ser significativa ($p = 0.0577$). El modelo de

regresión lineal mostró un $R^2= 77\%$ y coeficiente de variación de 5.4%. NdeM-62 presentó el mayor porcentaje de viabilidad (89.7%), mientras NdeM-La Resolana el menor (75%); sin embargo, los CsCh presentaron mayor viabilidad, 4.33% mayor en relación con los CsG, (Cuadro 3.1), todas las variedades presentaron mayor viabilidad en CsCh, excepto en NdeM-62 donde los CsG fueron superiores. Este atributo (tamaño de grano) resulta, cuando menos en arroz, ser altamente significativo en la mayoría de los ambientes, características que se fijan en las generaciones segregantes, mientras que la forma y la longitud se heredan de forma cuantitativa (Martínez *et al.*, 2002).

Cuadro 3.1 Porcentaje de viabilidad de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Mlchx.) Torr., con tamaño diferente.

Variedad	Tamaño de cariósipide		Promedio
	Chico	Grande	
NdeM- 5	80.00 ^{abc}	75.33 ^c	77.67 ^{bc}
NdeM- 62	91.33 ^a	88.00 ^{ab}	89.67 ^a
NdeM- 125	74.00 ^c	77.33 ^{bc}	75.67 ^c
NdeM- La Resolana	76.67 ^{bc}	73.33 ^c	75.00 ^c
NdeM- 303	92.00 ^a	78.00 ^{bc}	85.00 ^{ab}
NdeM- 417	78.67 ^{bc}	74.67 ^c	76.67 ^c
Promedio	82.11 ^a	77.78 ^b	
DMSH	0.00431	0.00431	

Tratamientos con la misma literal, dentro de columna, son estadísticamente iguales (Tukey, $p<0.05$).

En relación al porcentaje de germinación, el ANOVA (Anexo 3.2) mostró diferencias altamente significativas ($p<0.0001$) para el factor variedades; mientras que, para el factor tamaño de Cs, mostró no ser significativo ($p\geq 0.379$); sin embargo, la interacción mostró ser significativa ($p<0.043$), por lo que se concluye que la germinación depende de la combinación de variedad y tamaño de Cs. El modelo de regresión lineal mostró un $R^2= 83\%$ y se observó un coeficiente de variación de 8.98%. La variedad que presentó el mayor porcentaje de germinación fue NdeM-62 (84%); 34% más, en comparación con NdeM-La Resolana, la cual, presentó el porcentaje más bajo de germinación (50%). En cuanto a tamaño de Cs, los CG mostraron mayor germinación, 1.78% más que aquellos CsCh, estadísticamente no mostró diferencias significativas ($p>0.05$). Los mejores porcentajes de germinación se observaron para NdeM- 62 (CsCh y CsG, con 87.3% y 80.7%, respectivamente) y la variedad NdeM- 417 con CsCh mostró 75.33% (Cuadro 3.2). Los atributos anteriores están asociados con la capacidad de las plantas para crecer rápidamente a lo cual se denomina "desarrollo temprano" (Heydecker, 1960). Las

variedades con capacidad de desarrollo temprano tienen emergencia rápida y ordenada, buena competitividad contra malezas y podrían mejorar eficazmente la eficiencia del uso de nutrientes, como ocurre en arroz (Zhou *et al.*, 2006; Finch-Savage *et al.*, 2010).

Cuadro 3.2 Porcentaje de germinación de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con tamaño diferente.

Variedad	Tamaño de cariósipide		Promedio
	Chico	Grande	
NdeM-5	56.00 ^{de}	68.00 ^{bcd}	62.00 ^b
NdeM-62	87.33 ^a	80.67 ^{ab}	84.00 ^a
NdeM-125	62.67 ^{cde}	70.00 ^{abcd}	66.33 ^b
NdeM-La Resolana	50.00 ^e	50.00 ^e	50.00 ^c
NdeM-303	61.33 ^{cde}	67.33 ^{bcde}	64.33 ^b
NdeM-417	75.33 ^{abc}	67.33 ^{bcde}	71.33 ^b
Promedio	65.44 ^a	67.22 ^a	
DMSH	4.48792	4.48792	

Tratamientos con la misma literal, dentro de columna, son estadísticamente iguales (Tukey, $p < 0.05$).

La velocidad de emergencia, durante los primeros diez días post-emergencia, momento en que se estabilizó la germinación de las plántulas sembradas de 1 a 3 centímetros de profundidad (Figura 3.2), muestra que, a 1 cm de profundidad, se alcanzó el mayor número de plantas emergidas a seis días después de siembra (dds); a 2 cm de profundidad, el valor máximo se observó al día 7 dds; a 3 cm, al día 8 dds, para CsCh. La variedad que mostró mayor velocidad de emergencia, a 1 cm de profundidad, fue NdeM-La Resolana, seguida de NdeM-303; lo anterior, fue diferente con 2 cm de profundidad, ya que NdeM-125 y NdeM-417; a 3 cm, también fueron NdeM-125 y NdeM-181 las que emergieron a mayor velocidad. En relación a las CsG, NdeM-125 y NdeM-303 fueron sobresalientes a 1, 2 y 3 cm de profundidad de siembra; lo anterior, indica que, aunque no presentaron los porcentajes más elevados durante las pruebas de viabilidad y germinación, si son las más vigorosas al establecimiento.

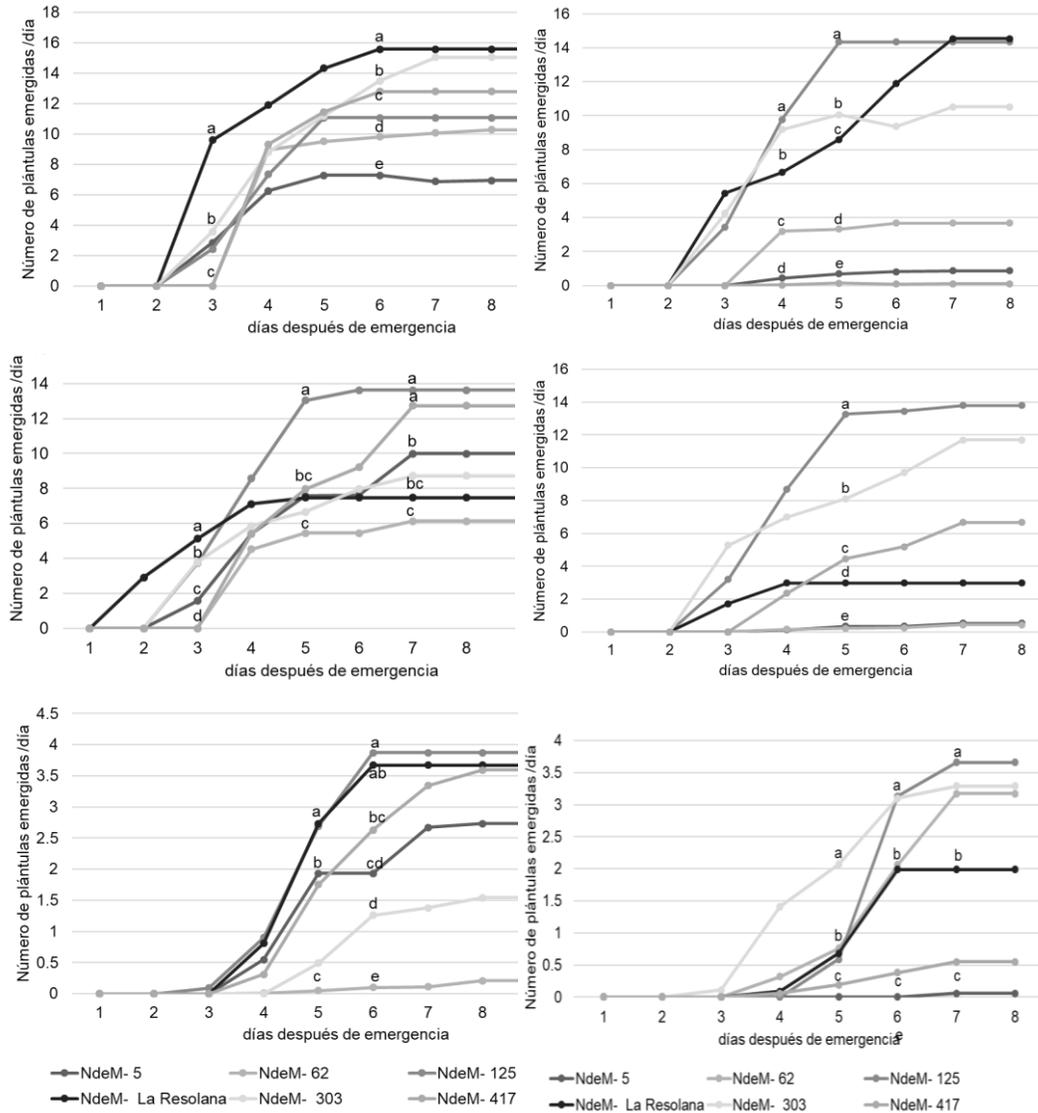


Figura 3.2 Velocidad de emergencia de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* en cariopsis clasificadas por tamaño chico (izquierda) y grande (derecha) sembradas a tres distintas profundidades de siembra (1, 2 y 3 cm, respectivamente).

En relación al mesocótilo (Anexo 3.3), la interacción es altamente significativa ($p < 0.0001$) para variedad, profundidad de siembra, dde; sin embargo, no para tamaño de Cs ($p \geq 0.6950$), el CV fue de 29.8% para mesocótilo y el valor de $R^2 = 0.70$. En relación al coleoptilo (Anexo 3.4), se encontró que existe interacción ($p < 0.003$) en tres factores de los evaluados, excepto para tamaño de Cs ($p \geq 0.6425$), el CV fue de 26.1%; mientras que el R^2 , fue 0.1. Se observaron diferencias ($p < 0.0001$) entre variedades evaluadas (Cuadro 3.3), todas las variedades desarrollaron coleóptilo y mesocótilo necesarios para alcanzar la superficie y emerger, la elongación promedio de mesocótilo es de 1.74 cm, mientras

que la del coleóptilo es de 0.47 cm. Las variedades que alcanzan mayor elongación de mesocótilo son NdeM-125 y NdeM-La Resolana, con 2.17 y 2.19 cm, respectivamente; mientras que, la variedad con mayor desarrollo de coleóptilo es NdeM-62 con 0.52 cm. Al evaluar el desarrollo de mesocótilo y coleóptilo por tamaño de Cs no se observaron diferencias ($p=0.5826$ y $p=0.6275$, respectivamente). Con relación a profundidad de siembra, se observaron diferencias ($p<0.0001$); a 5 cm de profundidad, se obtuvo una elongación de 3.8 cm del mesocótilo y 0.5 cm de coleóptilo; lo cual, no es suficiente para que las plántulas alcancen a salir a la superficie del suelo, dificultando el establecimiento, al evaluar el desarrollo de ambas estructuras durante los primeros 45 días post-siembra y se observaron diferencias ($p<0.0001$) para ambas estructuras, el rango de desarrollo para mesocótilo oscilo entre 1.81 y 1.68 cm, mientras que para coleóptilo fue de 0.42 y 0.49 cm.

Cuadro 3.3 Elongación de mesocótilo y coleóptilo (mm) en plántulas de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., a diferente profundidad de siembra.

Variable	Variedad						Media	DMSH	
	NdeM- 5	NdeM- 62	NdeM- 125	NdeM- La Resolana	NdeM- 303	NdeM- 417			
Meso	10.19 ^e	12.64 ^d	21.76 ^a	21.78 ^a	17.00 ^c	18.15 ^b	17.41	0.75127	
Cole	3.95 ^d	5.27 ^a	4.94 ^b	4.76 ^b	4.47 ^c	4.78 ^b	4.72	0.17837	
Tamaño de Cs									
		Chico		Grande		Media	DMSH		
Meso		17.72 ^a		17.78 ^a		17.41	0.27344		
Cole		4.70 ^a		4.73 ^a		4.72	0.06492		
Profundidad de siembra (cm)									
		1	2	3	4	5	Media	DMSH	
Meso		10.16 ^a	13.64 ^d	22.58 ^c	30.94 ^b	37.96 ^a	17.41	0.87503	
Cole		4.57 ^c	4.62 ^c	4.83 ^b	4.93 ^{ab}	5.10 ^a	4.72	0.20775	
Días después de emergencia									
		5	10	15	20	25	30	Media	DMSH
Meso		18.96 ^a	18.39 ^a	18.47 ^a	17.00 ^b	16.41 ^{bc}	15.99 ^c	17.41	0.70363
Cole		4.76 ^b	4.94 ^a	4.98 ^a	4.73 ^b	4.40 ^c	4.23 ^d	4.72	0.16706

Medias con la misma literal dentro de hilera son iguales (Tukey, $p\leq 0.05$).

En pastos, la primera estructura visible durante la germinación es el coleóptilo y suele aparecer en la parte superior del propágulo (Figura 3.3) y las raíces, entre los espacios de las glumas, en caso de aquellos propágulos donde no se vayan eliminado las estructuras que cubren a la Cs (Kraehmer, 2019). El mesocótilo es el primer nudo entre

el escutelo y el coleóptilo y es, dentro del coleóptilo, donde se desarrolla la primera hoja (Ries y Hofmann, 1991; citado por Kraehmer, 2019).

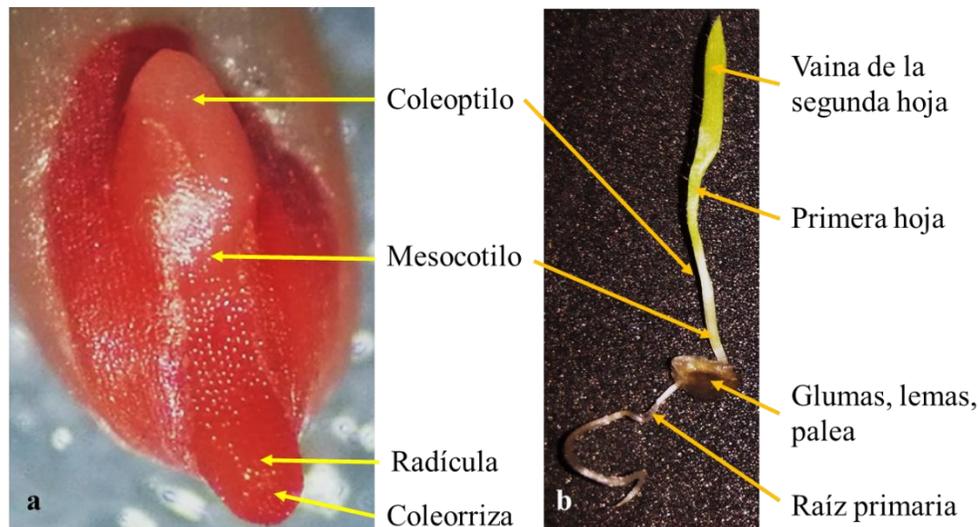


Figura 3.3 Mesocótilo, estructura embrionaria entre el nodo coleóptilo y la parte basal de la raíz seminal; el cual, en las plántulas juega un papel importante en empujar la punta del brote a través de la superficie del suelo durante la germinación (Lee *et al.*, 2012), depende de la luz, temperatura, humedad y salinidad del suelo y, por tanto, como resultado de la profundidad de siembra. a) Semilla de pasto banderita con coleóptilo, coleorriza y radícula con 12 h de imbibición; b) plántula de pasto banderita siete días después de germinación.

Este estudio evidencia la importancia de la elongación del mesocótilo en la capacidad de emergencia a siembras profundas. A mayor profundidad de siembra, la semilla tiene que utilizar mayor cantidad de sustancias de reserva para la elongación de sus estructuras y poder emerger (Copeland y McDonald, 1995); el mesocótilo se alarga, eleva el coleóptilo y la plúmula cerrada, hacia la superficie del suelo (Markelz *et al.*, 2003); además, el aerénquima cortical dentro del mesocótilo apoya la activación y crecimiento de raíces adventicias (Maniou *et al.*, 2014) en maíz, por lo que el alargamiento del mesocótilo está altamente relacionado con la tolerancia a la siembra profunda del maíz; sin embargo, no en todas las especies de gramíneas se observa dicho alargamiento como es el caso del trigo y la cebada (Chen *et al.*, 2001).

Zhan *et al.* (2019) mencionaron que siembras directas de arroz, en seco, han adquirido amplia popularidad en diversos países debido a su bajo consumo de agua y mano de obra, aunque los productores enfrentan bajas tasas de emergencia, mal establecimiento,

infestación de malezas; por tanto, es necesario tomar acciones tanto agronómicas como conocer los genotipos a utilizar; lo anterior, dado que se desea encontrar variedades con longitud óptima de mesocótilo para mejorar la tasa de emergencia. El alargamiento del mesocótilo se ve afectado por la luz (Vanderhoef y Briggs, 1978; Jones *et al.*, 1991; Cao *et al.*, 2005), temperatura (Gray *et al.*, 1998; Chen *et al.*, 2005; Gao *et al.*, 2006; Tian *et al.*, 2009), agua y salinidad del suelo (Takahashi, 1978) y, como resultado, responde a la profundidad de siembra (Turner *et al.*, 1982; Lee *et al.*, 2002; Alibu *et al.*, 2012; Zhan *et al.*, 2020).

Este estudio muestra que las variedades con mayor elongación de mesocótilo (NdeM-La Resolana, NdeM-125, NdeM-417 y NdeM-303) presentaron mayor velocidad de emergencia; lo cual, concuerda con estudios previos donde indicaron que el mesocótilo largo era benéfico para velocidad y uniformidad de emergencia de plántulas (Turner *et al.*, 1982; Mgonja *et al.*, 1993; Chung, 2010). Los genotipos con mesocótilo largo tienen una dinámica de germinación más fuerte y una mayor tasa de emergencia de plántulas, respecto a aquellas con mesocótilo corto (Zhang *et al.*, 2005; Alibu *et al.*, 2012). Por lo tanto, la longitud del mesocótilo se ha propuesto como un rasgo clave en el desarrollo de plántulas, de arroz, en siembra directa.

La luz es uno de los factores más importantes que afectan el alargamiento del mesocótilo, se promueve significativamente en la oscuridad y se inhibe inmediatamente por la exposición a la luz (Vanderhoef y Briggs, 1978; Jones *et al.*, 1991; Cao *et al.*, 2005). La temperatura óptima (30 °C de acuerdo a Radford y Henzell, 1990) juega un papel promotor en la elongación del mesocótilo; por el contrario, temperatura alta o baja es perjudicial para el alargamiento (Gray *et al.*, 1998; Chen *et al.*, 2005; Gao *et al.*, 2006; Tian *et al.*, 2009), esto es dependiente del genotipo. La longitud del mesocótilo aumenta con el agua del suelo y disminuye cuando existe déficit hídrico (Takahashi, 1978). Hasta ahora, ningún estudio se ha centrado en la influencia del estrés hídrico en el alargamiento del mesocótilo en pastos nativos del desierto mexicano, ya que pocos son los productores que siembran o revegetan los agostaderos con pastos nativos y aquellos que lo hacen desconocen el potencial del propágulo utilizado en la siembra. En arroz, se observó tanto en suelo como en agar, que un leve déficit de agua podría estimular el

alargamiento del mesocótilo como del coleóptilo, mientras que el estrés hídrico severo puede conducir a fallas en la germinación y nulo alargamiento del mesocótilo (Takahashi, 1976; Terao e Inouye, 1980; Turner *et al.*, 1982, Chung *et al.*, 2010), afectando el vigor de las plantas (Mgonja *et al.*, 1988).

Alibu *et al.* (2011) encontraron que el coleóptilo se alarga bajo inmersión, mientras que el mesocótilo se alarga más en cultivos sembrados en suelo, a 8 cm de profundidad pocos genotipos lograron emerger; en ellos, se observó amplia variación en desarrollo del mesocótilo, pero no de coleóptilo, tal como se aprecia en este estudio, que aunque se observaron diferencias estadísticas, a nivel biológico no fue importante, el desarrollo del coleóptilo para alcanzar la emergencia, por lo tanto, se ha descubierto que el alargamiento del mesocótilo es la causa de la tolerancia a la siembra profunda en maíz (Troyer, 1997; Zhang *et al.*, 2012). Actualmente, se sabe que la longitud del mesocótilo tiene alta heredabilidad, pero está controlada por diferentes efectos genéticos (Redoña y Mackill, 1996), por ello resulta importante evaluar y conocer las semillas a utilizar en resiembras, de tal modo de logremos tener praderas exitosas estableciendo la profundidad óptima de siembra ya que siembras poco profundas pueden verse afectadas por la incidencia de aves, estrés por sequía (Lee *et al.*, 2017). Como se observó en este experimento, el crecimiento y emergencia de las plántulas se afectó negativamente cuando las semillas se sembraron a profundidad superior a la óptima de 2 a 3 cm; lo cual, concuerda con lo reportado por Lee *et al.* (2002) en arroz, de tal modo que la longitud del mesocótilo resulta ser de mayor importancia que el coleóptilo, para el establecimiento de plántulas de pasto banderita.

En relación a elongación de hoja (Anexo 3.5) y raíz en pastos (Anexo 3.6), en este experimento se observaron comportamientos similares para ambas variables en todas las especies evaluadas, sin embargo, fue la variedad NdeM- 125 quien presentó mayor longitud de ambas estructuras: 41.14 y 41.67 mm, respectivamente; mientras que, NdeM- 5 presentó el menor tamaño: 29.72 y 29.7 mm. Es importante mencionar que las plántulas de *B. curtipendula* no carecieron de humedad. De acuerdo a Kraehmer (2019), quien cita a (Klepper 1992) menciona que el sistema de raíces seminales contribuye al crecimiento de brotes hasta que el sistema de raíces de la corona se establece, comenzando

aproximadamente en la etapa de tres hojas de las gramíneas y estas desaparecen después de la formación de las raíces de la corona (Robson *et al.*, 1988; citado por Kraehmer, 2019). Ješko (1989) descubrió que las raíces seminales pueden ser activas durante toda la vida de la planta, otros autores afirmaron que las raíces seminales pueden ser más importantes que las raíces nodales en condiciones de sequía y que las plantas a menudo alcanzan la madurez creciendo solo con sus raíces seminales (Grando y Ceccarelli, 1995) citado por Kraehmer (2019). Las raíces adventicias también denominadas raíces nodales o de corona, se desarrollan a partir de primordios asociados con los nodos del tallo inferior y son consideradas raíces postembrionarias, por lo que su formación podría estar asociada con la finalización de la fase de plántula en algunas especies de gramíneas Kraehmer (2019).

Taiz *et al.* (2015) definen el establecimiento de plántulas cuando existe producción de las primeras hojas fotosintéticas y un mínimo de sistema radical; por ello, es importante determinar las especies o variedades cuyos atributos sean sobresalientes permitirá obtener siembras exitosas y, de acuerdo a Copeland y McDonald (2001), consideran que una plántula está completamente establecida cuando es independiente de sus reservas y el número de hojas y el sistema de raíces requerido para la definición de plántulas establecidas, aparentemente varía de una especie a otra (Cuadro 3.4).

Cuadro 3.4 Longitud de hoja y raíz (cm) en plántulas de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., a diferente profundidad de siembra en condiciones de invernadero.

Variable	Variedad						Media	DMSH
	NdeM- 5	NdeM- 62	NdeM- 125	NdeM-La Resolana	NdeM- 303	NdeM- 417		
Hoja	29.72 ^d	31.29 ^d	41.14 ^a	33.89 ^c	36.06 ^b	34.41 ^c	34.42	1.622
Raíz	29.70 ^d	32.48 ^c	41.67 ^a	31.43 ^{cd}	37.00 ^b	35.31 ^b	34.60	1.913
Variable	Tamaño de Cs		Media	DMSH				
	Chico	Grande						
Hoja	31.51 ^b	37.33 ^a	34.42	0.644				
Raíz	31.25 ^b	37.95 ^a	34.60	0.759				
Variable	Profundidad de siembra (cm)			Media	DMSH			
	1	2	3					
Hoja	38.09 ^a	36.93 ^b	28.24 ^c	34.42	0.9407			
Raíz	38.88 ^a	37.92 ^a	27.00 ^b	34.60	1.112			
Variable	Días después de emergencia					Media	DMSH	
	5	10	15	20	25			
Hoja	17.57 ^e	29.01 ^d	35.73 ^c	43.59 ^b	46.19 ^a	34.42	1.417	
Raíz	21.02 ^e	28.81 ^d	36.09 ^c	42.08 ^b	45.00 ^a	34.60	1.672	

Medias con la misma literal dentro de hilera son iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Ries y Svejcar (1991) consideraron que plántulas de *Bouteloua gracilis* se establecieron cuando tuvieron seis hojas desarrolladas, dos macollos y dos raíces adventicias; mientras que para *Agropyron desertorum*, se consideraron establecidas, plántulas con cuatro hojas, un macollo y dos raíces adventicias; para el caso de las variedades aquí evaluadas se observó la presencia de 4 y 6 hojas al día 35, al día 45 se observó la formación de un segundo macollo (datos no reportados).

El ANOVA (Anexo 3.7–3.8) mostró diferencias significativas ($p < 0.0001$) durante el desarrollo del área foliar y radical (Cuadro 3.5) entre variedades, tamaño de Cs, profundidad de siembra y días después de emergencia; siendo NdeM-125 la que mostró los valores más elevados y, NdeM- 5, los más bajos. Respecto a tamaño de Cs, las CsG sobresalieron respecto a las CsCh. Respecto a profundidad de siembra, no hubo diferencias ($p > 0.05$) entre Cs sembradas a 1 y 2 cm; sin embargo, si hubo diferencias ($p < 0.05$) entre aquellas que se sembraron a más de 3 cm de profundidad de siembra. Conforme transcurrió el tiempo se observó un incremento lineal de ambas variables.

Cuadro 3.5 Área foliar y radicular (cm²) en plántulas de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) a diferente profundidad de siembra en condiciones de invernadero.

Variable	Variedad						Media	DMSH
	NdeM-5	NdeM-62	NdeM-125	NdeM-La Resolana	NdeM-303	NdeM-417		
Hoja	0.59 ^d	0.63 ^d	0.82 ^a	0.68 ^c	0.72 ^b	0.69 ^{bc}	0.69	0.042
Raíz	0.30 ^d	0.32 ^c	0.42 ^a	0.31 ^{cd}	0.37 ^b	0.35 ^c	0.35	0.025
Tamaño de Cs								
Variable	Chico		Grande		Media		DMSH	
Hoja	0.63 ^b		0.75 ^a		0.69		0.017	
Raíz	0.31 ^b		0.38 ^a		0.35		0.009	
Profundidad de siembra (cm)								
Variable	1		2		3		Media	
Hoja	0.76 ^a		0.74 ^a		0.56 ^b		0.69	
Raíz	0.39 ^a		0.38 ^a		0.27 ^b		0.35	
Días después de emergencia								
Variable	5		10		15		20	
Hoja	0.35 ^e		0.58 ^d		0.71 ^c		0.87 ^b	
Raíz	0.21 ^e		0.29 ^d		0.36 ^c		0.42 ^b	
	25						Media	
	0.92 ^a						0.69	
	0.45 ^a						0.35	
							DMSH	
							0.036	
							0.021	

Medias con la misma literal dentro de hilera son iguales (Tukey $p \leq 0.05$).

Moreno *et al.* (2012) reportaron para *Bouteloua gracilis* bajo simulación de lluvias, deshidratación de plántulas debido a la elongación del entrenudo subcoleoptilar que contiene al meristemo apical, generador de las raíces adventicias que sustentan la supervivencia de plantas adultas, provocando formación de raíces adventicias cerca de la superficie del suelo, donde las condiciones ambientales son adversas para el desarrollo de la plántula, por ello es que la sequía puede afectar el desarrollo de raíces al reducir el área de la hoja y dañar directamente el primordio de raíz y otros tejidos de la corona; pero, una vez establecido, el pasto no tiene problemas de persistencia.

Dado que las especies nativas del semidesierto mexicano presentan problemas al establecimiento bajo condiciones naturales, se ha optado por la introducción de especies exóticas de origen africano para la rehabilitación de los pastizales (Corbin y D'Antonio, 2004; Ferrero-Serrano *et al.*, 2011), por sus características morfológicas y asignación de biomasa a raíces y hojas (Arredondo *et al.*, 1998; Reich *et al.*, 2001; McKing y Willson, 2006) que favorecen su establecimiento, en contraste con las especies nativas (Moreno *et al.*, 2012). Köchy y Wilson (2004) encontraron para *Bouteloua gracilis* que la densidad de macollos fue más alta en plantas que recibieron mayor cantidad de agua respecto a aquellas que recibieron poca; similarmente, Briske y Wilson (1980, citado por Moreno *et*

al., 2012) encontraron una relación positiva entre el potencial hídrico del suelo y la formación de macollos en esta misma especie.

Olmsted (1941) evaluó diversas especies del género *Bouteloua* bajo diferentes condiciones de riego a distinta profundidad, observando que el sistema radical primario consiste únicamente en una raíz pivotante y sus ramas, la raíz primaria puede alargarse a una longitud media de 9 a 16 cm del día 6 a 18 días después de haber aplicado el primer riego, a bajas profundidades de siembra se encontró desarrollo de raíces laterales, además el ajuste del área foliar, ya sea por pérdida de hojas o la disminución del crecimiento foliar, es importante para reducir la pérdida de agua a través de la disminución del área transpiratoria.

El ANOVA (Anexo 3.9–3.11) mostró diferencias ($p < 0.0001$) para biomasa total y la cantidad de MS en hoja y raíz (Cuadro 3.6). Al evaluar las variedades, NdeM-La Resolana presentó la mayor cantidad de MS; mientras que NdeM-5, mostró la menor acumulación; sin embargo, de la cantidad de biomasa total, la mayor cantidad de reservas se destina a hoja y esto puede estar asociado a que la planta busca desarrollar su sistema fotosintético (Aguilar *et al.*, 2005). No se observaron diferencias ($p > 0.6970$) en relación al tamaño de Cs; sin embargo, si se observaron diferencias ($p < 0.0001$) para profundidad de siembra y días después de emergencia, con CV de 63.04%; mientras que el R^2 es de 43. Para la variable hoja, el modelo mostró un CV de 89.1% y un ajuste de modelo de 28. Al igual que la biomasa total, las variedades y los días resultaron altamente significativos ($p < 0.0001$), el tamaño de Cs no fue significativo ($p > 0.9148$); mientras que, la profundidad de siembra fue significativa con un alfa de 0.05 ($p < 0.0042$). La variable raíz tuvo un CV de 46.43 y una R^2 de 59, lo que indica que se debe buscar otro modelo de mayor ajuste que permita obtener una adecuada ecuación de predicción, las variedades, profundidad de siembra y días post-emergencia, resultaron significativas ($p < 0.0001$), el tamaño de Cs resultó significativo ($p = 0.0383$).

3.6 CONCLUSIONES

Existe diferencia entre tamaño de carióspsides, los CsG produjeron plantas más grandes y vigorosas con respecto a CsCh, y entre variedades siendo la NdeM-62 quien presentó

mayor porcentaje de viabilidad mientras que NdeM–La Resolana, la menor, resultados similares para germinación, en cuanto elongación de hoja y raíz, área foliar y radical fue la variedad NdeM-125 quien mostró resultados superiores al resto de las variedades, mientras que la variedad NdeM-62 fue quien tuvo mayor acumulación de biomasa total. Se determinó como profundidad óptima de siembra entre 1 y 2 cm.

Cuadro 3.6 Biomasa total (mg MS), biomasa de hoja y raíz de cinco plántulas de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., a diferentes profundidades de siembra, en condiciones de invernadero.

Variable	Variedad						Media	DMSH				
	NdeM- 5	NdeM- 62	NdeM- 125	NdeM- La Resolana	NdeM- 303	NdeM- 417						
Biomasa total	0.055 ^c	0.081 ^{ab}	0.071 ^b	0.092 ^a	0.082 ^{ab}	0.084 ^{ab}	0.077	0.013				
PShoja	0.037 ^c (67%)	0.055 ^{ab} (68%)	0.048 ^{bc} (68%)	0.064 ^a (70%)	0.055 ^{ab} (67%)	0.056 ^{ab} (67%)	0.052	0.013				
PSraíz	0.018 ^c (33%)	0.026 ^a (32%)	0.023 ^b (32%)	0.028 ^a (30%)	0.028 ^a (33%)	0.028 ^a (33%)	0.025	0.003				
		Tamaño de Cs										
		Chico		Grande		Media		DMSH				
Biomasa total	0.077a		0.078a		0.077		0.005					
PShoja	0.053 ^a (69%)		0.053 ^a (67%)		0.052		0.005					
PSraíz	0.024 ^b (31%)		0.026 ^a (33%)		0.025		0.001					
		Profundidad de siembra (cm)										
		1	2	3	Media		DMSH					
Biomasa total	0.088 ^a		0.074 ^b		0.071 ^b		0.077		0.008			
PShoja	0.059 ^a (67%)		0.049 ^b (66%)		0.049 ^b (69%)		0.052		0.008			
PSraíz	0.029 ^a (33%)		0.025 ^b (34%)		0.021 ^c (31%)		0.025		0.002			
		Días después de emergencia										
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	Media	DMSH
Biomasa total	0.019 ^g	0.032 ^{ef}	0.045 ^{ef}	0.062 ^{de}	0.072 ^d	0.091 ^c	0.110 ^b	0.132 ^a	0.135 ^a	0.077	0.018	
PShoja	0.014 ^f (74%)	0.021 ^f (66%)	0.028 ^{ef} (62%)	0.044 ^{de} (71%)	0.048 ^{cd} (67%)	0.063 ^{bc} (70%)	0.076 ^{ab} (70%)	0.093 ^a (70%)	0.087 ^a (64%)	0.052	0.017	
PSraíz	0.006 ^h (26%)	0.011 ^g (34%)	0.017 ^f (38%)	0.019 ^f (29%)	0.023 ^e (33%)	0.028 ^d (30%)	0.034 ^c (30%)	0.040 ^b (30%)	0.048 ^a (34%)	0.025	0.004	

± Medias con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, p≤ 0.05).

CAPÍTULO IV. MADUREZ FISIOLÓGICA EN SEMILLA DE PASTO BANDERITA, MOMENTO ÓPTIMO DE COSECHA Y DAÑOS DURANTE EL BENEFICIO

4.1 RESUMEN

La condición de deterioro que sufren los pastizales ha sido ampliamente documentada; por lo que existe la creciente necesidad de realizar resiembras estratégicas, siendo las gramíneas nativas el mejor aliado; por tanto, se requerirá semilla con alta calidad biológica, genética y física, en conjunto con Técnicas asertivas de siembra y manejo agronómico puede incrementar la densidad de especies deseables bajo diferentes esquemas. El objetivo del presente estudio fue identificar el momento óptimo de cosecha de semilla de pasto Banderita *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., considerando dos marcadores morfológicos: coloración de espiguilla y del culmo floral, como indicadores de madurez de la semilla; para esto, se evaluó el porcentaje de llenado de espiguilla, la proporción de tamaños de cariósido, la viabilidad y germinación, así como el número de días requeridos para la maduración de la cariósido desde la antesis; además de comparar dos métodos de limpieza para extraer cariósidos (manual y mecánico) con el menor daño. Los datos de viabilidad y germinación expresados en porcentaje, se transformaron mediante la función arcoseno. Los datos se sometieron al análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de diferencia mínima significativa honesta de Tukey, el nivel de significancia se estableció al 5% de probabilidad. La limpieza mecanizada resultó en menor nivel de cariósidos dañados (rotos o rallados en pericarpio) y, por tanto, menor daño en el embrión. En base al porcentaje de pureza, el porcentaje de germinación y la viabilidad obtenidos, el momento óptimo de cosecha para pasto banderita es entre los días 28 y 33 post antesis, cuando un color de tallo beige y espiguillas con coloración amarillo claro con transición a beige. Si se desea utilizar cariósidos como propágulo para la rehabilitación de pastizales se recomienda realizar el beneficio de semilla mediante el método de limpieza mecanizada ya que con éste se obtiene mayor porcentaje de cariósidos enteras y libres de daños al embrión.

Palabras clave: *Bouteloua curtipendula*, beneficio de semilla, marcadores morfológicos de madurez.

4.2 ABSTRACT

The deteriorating conditions suffered by grasslands has been widely documented. At any given future moment, there will be a need for strategic sowing and native grasses should be preferred as the best ally. Therefore, grass seed with high biological, genetic and physical quality is required, and together with assertive sowing techniques, may result in increases of desired species density under different schemes. The objective was to identify the optimum moment for seed harvesting of sideoats gramma *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., considering two morphological markers, spikelet and inflorescence's culm color, as indicators of caryopsis maturity; for this, percentage of spikelet filling, caryopsis size, viability, and germination, as well as the number of days required for caryopsis maturation from anthesis, were evaluated. In addition, two cleaning methods to extract caryopsis (manual and mechanical) with the least damage to caryopsis were evaluated. Viability and germination data expressed as percentages were transformed using the arcsine function. The data was submitted to analysis of variance (ANOVA) and the comparison of means was performed using Tukey honest least significant difference test, the level of significance was established at 5% probability with the SAS software (2013). Mechanized cleaning resulted in the lowest level of damaged to caryopsis (broken or scratched pericarp) and, therefore, less damage to the embryo. Based on the percentage of purity, the percentage of germination and the viability obtained, the optimal harvest time for sideoats gramma occurs among day 28 and 33 post anthesis, when a beige stem's color and spikelets with light yellow coloration with transition to beige, was achieved. In such a case caryopsis is used as propagule for the rehabilitation of grasslands through sowing, it is recommended to carry out the seed processing by means of the mechanized cleaning, due to its higher percentage of whole caryopses and free of damage to the embryo was obtained.

Keywords: *Bouteloua curtipendula*, grass seed benefit, morphological maturity markers for seed maturity.

4.3 INTRODUCCIÓN

Para mantener y mejorar la rentabilidad de la ganadería se debe disponer de pastizales con alta densidad y vigor de coronas. La baja cobertura vegetal puede requerir del uso de semilla para resiembras de elevada calidad biológica, estar disponible en buena calidad, cantidad y precio en el mercado (Quero y Enríquez, 2013), que permita desarrollar proyectos a mayor escala. Entre las Técnica de recuperación de pastizales se encuentra la revegetación, la cual se restringe hasta la fecha al uso de semilla vegetativa (Tácula *et al.*, 2015; García, 2016); la cual, resulta costosa desde el punto de vista económico y ambiental por lo que es conveniente contemplar el uso de semilla botánica como una estrategia de revegetación. Debido a que en México no existen programas estructurados para producción de semilla de especies forrajeras nativas se desconoce el momento óptimo de cosecha en diversas especies; en términos generales, se conoce que la producción de semillas está relacionada con el número de inflorescencias por planta, número de semillas por inflorescencia, peso de cada espiguilla y el porcentaje de llenado de espiguillas (Boonman, 1978). Por lo tanto, si se desea obtener semillas de calidad en gramíneas nativas, es necesario identificar momentos de cosecha en los cuales las semillas presenten adecuada madurez y, al mismo tiempo, reducir pérdidas por semillas inmaduras o semillas vacías (Joaquín *et al.*, 2006). Se ha reportado que semillas cosechadas de forma temprana son inmaduras de baja calidad; mientras que semillas cosechadas de forma tardía, resultan en pérdidas por dehiscencia (Filgueiras, 1981). Las especies forrajeras nativas de zonas áridas, son difíciles de trabajar por su tamaño pequeño y por las estructuras que envuelven a la cariósida, las que promueven latencia secundaria más allá de la inmadurez embrionaria, motivo por el cual es importante evaluar la calidad de semilla, determinar pureza física, germinación y latencia (Quero y Enríquez, 2013). Resulta evidente la importancia de identificar el momento óptimo de cosecha de semillas nativas y las características que estas deben de poseer para poder ser utilizadas en programas de recuperación y mejoramiento de pastizales. Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue identificar marcadores morfológicos (coloración de espiguilla y del pedúnculo floral) útiles como indicadores para definir el momento óptimo de cosecha de pasto bandera *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., considerando el período de llenado de grano mediante cortes que

permitan cerrar la ventana de floración, además de comprar dos métodos de limpieza durante el beneficio de la semilla, evaluando daños en cariósides.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1 Sitio experimental

La investigación se realizó en Xiteh, municipio de Chilcuautla, Hidalgo, Valle del Mezquital y en el Colegio de Postgraduados *Campus* Montecillo. Para el primer caso el clima es templado semiseco y tipo de suelo leptosol: somero, sobre roca continua y extremadamente pedregoso (INEGI, 2017), en esta región tradicionalmente se realiza agricultura con riego de aguas recicladas del río Tula. De mayo a diciembre de 2019 se muestrearon praderas establecidas en tierras agrícolas regadas con aguas residuales de pasto banderita *Bouteloua curtipendula* var. NdeM- La Resolana (un año de establecida); para el segundo caso, el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (García, 2004), con suelo de textura franco-limoso, las praderas muestreadas fueron establecidas con pasto banderita *Bouteloua curtipendula* var. NdeM- 303, donde se evaluaron los componentes de rendimiento.

4.4.2 Manejo agronómico

El trasplante en campo se realizó en marzo de 2020, se establecieron 25 parcelas de 9 m² a densidad inicial de 300 mil plantas por hectárea, el riego se proporcionó cada tercer día durante los tres primeros meses hasta asegurar su establecimiento; posteriormente, la frecuencia de riego fue de una vez por semana, durante la época de seca y se suspendió durante la temporada de lluvias. Se evaluaron cuatro tratamientos con cinco repeticiones, distribuidos en bloques al azar; los cuales consistieron en cortes de homogenización, con diez días de diferencia entre ellos, dejando el pasto a 5 cm de forraje remanente desde la superficie del suelo. Los tratamientos se iniciaron en junio de 2021, después de un corte de homogenización, tal como se describen a continuación: T₁) testigo, un corte de homogenización; T₂) dos cortes, el primero se aplicó junto con el corte del T₁, el segundo corte se realizó 10 días posterior al primer corte; T₃) tres cortes, es decir, T₂ más otro corte diez días posteriores al tercer corte y T₄) cuatro cortes, es decir, T₃ más otro corte diez días posteriores al cuarto corte (Figura 4.1).

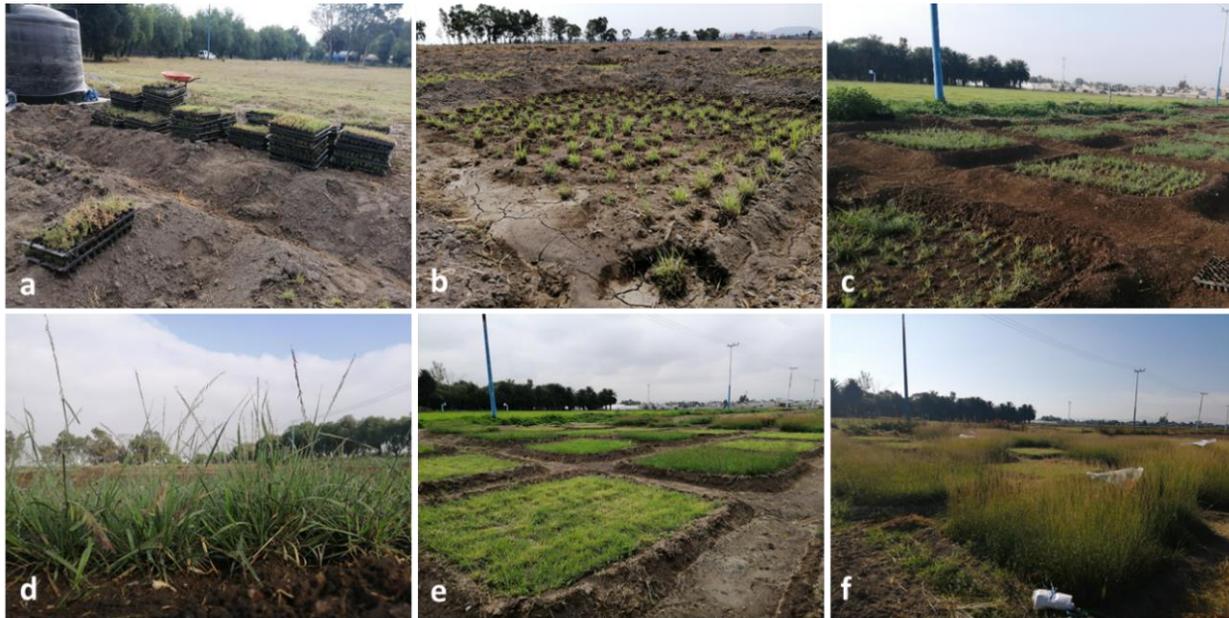


Figura 4.1 a) Siembra en parcelas de pasto bandera variedad NdeM-303, b) parcelas con 15 días de establecimiento, c) parcelas con un mes de establecimiento, d) planta con cinco meses de establecimiento, e) corte de homogenización, f) cosecha de semilla.

4.4.3 Caracterización morfológica

Durante la etapa fenológica de floración, entre los meses de mayo a diciembre (se realizaron seis muestreos con ocho repeticiones cada uno) se realizó la caracterización y cosecha de semillas. Las variables morfológicas evaluadas fueron: longitud de la inflorescencia (LI), área de la corona (AC), densidad de tallos (DT) y clasificación de estos en cuatro categorías, tomando como marcador de madurez morfológica el color del tallo de inflorescencia: café, beige, verde claro y verde oscuro, coloración de espiguillas (dorada, beige, amarillo claro, verde claro y verde) y cariósipide (Cs) por cada una de las cosechas y proporción de Cs chicos (CsCh) y grandes (CsG), respectivamente (Figura 4.2). La LI se midió tomando siete inflorescencias al azar y midiendo de la base hasta el ápice de la misma, se dividió en tres secciones iguales y se contó el número de ramillas por cada sección. Para determinar el área de suelo cubierto por la corona se midió el diámetro de corona (DC) a nivel de suelo, se colocó como referencia un cuadro de área conocida (0.01 m^2), se tomó una fotografía e imprimió hojas para obtener área con ayuda del integrador de área foliar, se hizo una transformación de datos tomando

como referencia el área conocida. Los cortes se realizaron cada 30 días durante la época de crecimiento. Este material fue depositado en bolsas de papel y se almacenaron en condiciones constantes de laboratorio (obscuridad, 12 °C y 40% HR).



Figura 4.2 a) Cosecha de pasto banderita, b) pedúnculos florales separados por coloración, c y d) espiguillas con distinto color.

4.4.4 Días de antesis hasta llenado de grano

En condiciones de invernadero, se sembró semilla de pasto banderita y se dejó desarrollar la planta por año, cuando se observó la emergencia de hoja bandera se marcaron las bayonetas en ejercicio, se consideró día cero cuando se observó presencia de anteras, es decir cuando hubo presencia de abundante polvillo en las florecillas, se colectaron tres repeticiones de cinco bayonetas a partir del día 20 al día 34 después de antesis (dda), se obtuvo el peso de espiguillas, carióspside (proporción de tamaño chico y grande) y se determinó los porcentajes de viabilidad y germinación de las semillas colectadas por día.

4.4.5 Determinación de daño físico durante el beneficio

Para determinar el daño sufrido durante el beneficio (retiro de brácteas accesorias para obtener la semilla verdadera, carióspside) se tomaron doce repeticiones de 1 gramo de carióspside obtenido mediante dos métodos de limpieza: manual y mecánico, se eliminaron semillas rotas, contaminantes de otras variedades y especies, así como aquellas que presentaron daño en el embrión (observadas en microscopio estereoscópico).

4.4.6 Componentes del rendimiento de semilla

Se usó un cuadro de 50 cm² lanzado al azar sobre las parcelas, las variables de respuesta fueron: número y diámetro de coronas por área de muestreo, para determinar

superficie de suelo desnudo se tomó una fotografía de la superficie muestreada a altura constante, tomando como referencia un cuadro de 0.25 m² de área, la fotografía se imprimió en hojas, recorto y paso por el integrador de área foliar para determinar el área de cobertura (Cuadro 4.3); dentro del área muestreada, se cortó el material vegetal para contar número de tallos totales por área de muestreo, número de tallos vegetativos, números de tallos florales, número de ramillas por unidad de tallo floral (ramas por cm lineal de pedúnculo floral), así como número de espiguillas en ramilla basal, central y superior. Con regla, se midió la longitud desde la base hasta el ápice del pedúnculo floral; posteriormente, se dividieron en tres secciones y se contó el número de espiguillas por sección. Se determinó el rendimiento en espiguilla y cariósida y la razón cariósida grande (CsG): cariósida chica (CsCh), separados con tamices criba de 0.5 mm para Cs chicos (CsCh) y 0.7 mm para Cs grandes (CsG).

4.4.7 Porcentaje de Viabilidad

Tanto para cortes asociados a la madurez fisiológica, días a llenado de cariósida y componentes de rendimiento. Se tomaron cuatro repeticiones de 25 cariósidas los cuales fueron embebidos durante 4 horas, posteriormente disectados longitudinalmente y expuestos a sal de tetrazolio (2,3,5-cloruro de trifeníl tetrazolio; 0.1%) por 12 horas a temperatura ambiente, en condiciones de oscuridad (Cuadro 4.3). La evaluación se realizó con ayuda de microscopio estereoscópico, considerando la coloración rojo intenso a rosa fuerte: viables; rosa pálido a blanco: no viables (ISTA, 1996; Hernández *et al.* 2015).

4.4.8 Prueba de germinación

Se hicieron cuatro repeticiones de 25 cariósidas cada una, tanto en CsCh y CsG; las cuales, fueron desinfectadas con solución de hipoclorito comercial al 0.5% durante un minuto, se enjuagaron con agua destilada y se secaron a temperatura ambiente en el laboratorio. La siembra de cada material se hizo sobre papel humedecido con agua destilada en cajas Petri, se dejaron a temperatura ambiente por 7 días, en los cuales se realizó conteo diario para determinar número de plántulas normales, anormales y muertas (Cuadro 4.3; Hernández *et al.*, 2015; ISTA, 1996).

4.4.9 Diseño experimental

Los datos de viabilidad y germinación expresados en porcentaje se transformaron mediante la función arcoseno. Los datos se sometieron a un análisis de varianza, con base en un diseño experimental completamente al azar. La comparación de medias de los tratamientos se efectuó mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de 0.05. Se realizaron pruebas de normalidad (prueba de Kolmogorov-Smirnov) y de homogeneidad de varianzas (prueba de Bartlett) con una significancia de 0.5% con el software SAS (2013). Además, se realizó un análisis de correlación para estimar el grado de asociación entre el porcentaje de llenado, viabilidad, germinación y el marcador morfológico considerado, es decir coloración del culo y la espiguilla.



Figura 4.3 a) pasto banderita en antesis, b) evaluación de llenado de grano, c) pureza física a espiguilla y cariósipide, d) prueba estándar de germinación, e) prueba de viabilidad con sales de tetrazolio.

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para caracterizar morfológicamente, de acuerdo a distintos tipos de marcadores morfológicos (coloración de tallos y espiguillas), el ANOVA (Anexo 4.1–4.7) mostró diferencias ($p < 0.0001$) para viabilidad y germinación en dos tamaños de cariósipide, el área de corona resulto significativa ($p < 0.0052$) con un CV de 46; mientras que la densidad de tallos es significativa ($p < 0.016$) con un CV 39.

La longitud de inflorescencia no fue significativa ($p < 0.102$) y CV de 14. Si se cosecha semilla de espiguillas en tonos verdes se corre el riesgo de cosechar cariósipides aun en desarrollo por lo que se ve afectada la viabilidad (Cuadro 4.1), si se cosecha cuando la espiguilla presenta coloración dorada es más fácil se dé la caída de semilla por dehiscencia natural; sin embargo, existe diferencia estadística que indicó que es posible

cosechar semilla desde que se observa transición de color amarillo claro a beige y dorado sin que se afecte la viabilidad y germinación de plántulas.

En relación al tamaño de Cs se observa que los Cs grandes son 20% más viables en comparación con los CsCh; mientras que no se observó diferencia estadística en relación al porcentaje de germinación en semillas provenientes de espiguillas (marcador morfológico); mientras que, en aquellas colectadas considerando al tallo como indicador de la madurez fisiológica, las Cs chicas mostraron mayor viabilidad, respecto al Cs grande; sin embargo, el comportamiento fue inverso para porcentaje de germinación (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1 Caracterización morfológica de acuerdo a distintos tipos de marcadores morfológicos en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

Marcador morfológico	DC (cm)	DT	LI (mm)	Viabilidad (%)		Germinación (%)		
				CsCh	CsG	CsCh	CsG	
Espiguilla	Beige	87 ^b	79 ^b	20	98 ^a	99 ^a	94 ^a	97 ^a
	Dorada	230 ^a	136 ^{ab}	21	96 ^a	97 ^a	96 ^a	96 ^a
	Amarillo claro	155 ^{ab}	242 ^{ab}	23	93 ^{ab}	96 ^a	92 ^{ab}	95 ^a
	Verde claro	101 ^{ab}	145 ^{ab}	21	91 ^{ab}	92 ^{ab}	88 ^{abc}	91 ^{abc}
	Verde	193 ^{ab}	267 ^a	23	81 ^d	85 ^b	80 ^{de}	81 ^c
			Media	73.6 ^b	93.8 ^a	90.0 ^a	92 ^a	
Tallo	Beige	81 ^b	206 ^{ab}	26	88 ^{bc}	95 ^a	84 ^{bcd}	92 ^{ab}
	Verde limón	78 ^b	183 ^{ab}	21	86 ^{bc}	93 ^{ab}	84 ^{bcd}	89 ^{abc}
	Café	79 ^b	139 ^{ab}	25	83 ^{cd}	96 ^a	81 ^{cde}	90 ^{abc}
	Verde	125 ^{ab}	234 ^{ab}	21	80 ^d	86 ^b	74 ^e	81 ^{bc}
	DMS	138.574	168.067	7.247	6.774	7.717	8.473	11.064
			Media	84.30	74.00	80.75	88.00	

Medias con la misma literal dentro de columna (DC, DT, LI) e hilera (CsCh, CsG), no son diferentes (Tukey, $p > 0.05$). Dónde: DC= Diámetro de corona; DT= Densidad de tallos; LI= longitud de la inflorescencia; CsCh= Cariópside chico y CsG= Cariópside grande.

En gramíneas silvestres, la semilla madura se separa naturalmente de la planta, por lo que se ha prestado interés a la identificación de caracteres cuantificables para determinar el punto de máximo retención de semilla y así determinar el momento óptimo de cosecha (Hopkinson *et al.*, 2000); sin embargo, las decisiones siguen dependiendo de la integración de experiencia, observación y comprensión de la dinámica del sistema; por ello, es que la identificación de marcadores morfológicos puede ser útil para definir el momento óptimo de cosecha.

Algunas especies presentan coincidencia entre el máximo peso seco de la semilla y la máxima viabilidad y vigor, no es todas las especies se observa el mismo comportamiento, en algunas especies alcanzan primero el máximo peso seco y luego la máxima viabilidad y vigor. Raja y Bean (1979) encontraron coincidencias entre peso seco máximo de semilla, germinación y vigor en *Lolium multiflorum*. En *Bromus auleticus*, la máxima germinación coincidió con el máximo peso de mil semillas (Ruiz *et al.*, 2003), pero este valor de germinación no difirió significativamente del que se había producido seis días antes. Las semillas de *B. auleticus* alcanzan madurez fisiológica entre los 24 y 30 días posteriores a la antesis, periodo en que coinciden la máxima viabilidad y el vigor con el peso seco máximo (Ruiz *et al.*, 2003).

Existen indicadores que permiten identificar, en algunas especies, el momento óptimo de cosecha; entre ellos, podemos: días posteriores a la antesis o floración, *Phalaris acuatia*; dehiscencia de panojas, *Festuca arundinacea*; cambio de color de glumas, avena; color de hoja bandera indicando el grado de llenado, trigo; consistencia del endospermo, en conjunto con el contenido de humedad.

Rodríguez (1998) menciona que en *F. breviaristata* un indicador confiable de madurez fisiológica es el cambio de coloración en lemmas, de verde a amarillo pálido; además, las flores que logran madurar, alcanzan madurez fisiológica en cuatro semanas, siendo la tercera y cuarta, la de mayor intensidad. Najda *et al.* (2005), recomiendan la cosecha cuando la semilla está en etapa de masa media a dura y aún permanece firmemente unida. La prueba de humedad en semilla (35-50 por ciento) es indicador útil del momento de cosecha, pues una cosecha demasiado temprana, con alto contenido de humedad, acorta el periodo de madurez de la semilla, obteniendo semillas inmaduras y con tamaño reducido; por otro lado, una cosecha tardía con bajo contenido de humedad obtiene como resultado una reducción en rendimiento y pérdidas por fragmentación de semilla (Klein y Harmond, 1971).

En muchas especies de pastos nativos del desierto mexicano se sigue desconociendo el momento óptimo de cosecha; por tanto, cosechar semilla día a día después de antesis mostró, para banderita, que el momento óptimo de cosecha puede considerarse después del día 28 post antesis (Cuadro 5.2), momento en el cual se observó un culmo floral de

color beige y espiguillas con coloración de amarillo con transición a beige, por lo que acompañar este tipo de investigaciones con pruebas fisiológicas como viabilidad y germinación permite conocer el aspecto general de los tejidos, fracturas, tejidos sin embrión, daños causados por insectos, anomalías y otras causas que puedan debilitar la semilla o hacerla no viable (Rodríguez *et al.*, 2008).

El análisis de varianza (Anexo 4.8–4.14) mostró diferencias ($p < 0.0001$) para llenado de grano conforme transcurrían los días post antesis, observándose un incremento sustancial en peso tanto en espiguillas como en cariósides después del día 26 y, después del día 32, a medida que pasan los días después de antesis se incrementa la viabilidad y germinación, dicho atributo puede estar asociado a la maduración del fruto (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2 Peso de espiguillas, cariósides (tamaño chico y grande), porcentajes de viabilidad y germinación de las semillas colectadas a partir del día 20 después de antesis hasta el día 34.

Dd antesis	Peso (g)			Viabilidad (%)		Germinación (%)	
	Espiguilla	CsCh	CsG	CsCh	CsG	CsCh	CsG
20	0.219 ^h	0.013 ^d	0.023 ^g	63 ^e	77 ^{cd}	59 ^d	65 ^c
22	0.328 ^g	0.018 ^{cd}	0.029 ^f	65 ^{de}	89 ^{abc}	60 ^d	69 ^{bc}
24	0.355 ^f	0.024 ^{cd}	0.034 ^{de}	81 ^c	76 ^d	75 ^c	65 ^c
26	0.382 ^e	0.013 ^d	0.031 ^{ef}	77 ^{cd}	79 ^{cd}	67 ^{cd}	76 ^{abc}
28	0.441 ^d	0.015 ^d	0.035 ^d	80 ^c	83 ^{bcd}	68 ^{cd}	73 ^{bc}
30	0.487 ^c	0.039 ^{ab}	0.047 ^c	96 ^{ab}	96 ^a	89 ^{ab}	88 ^a
32	0.606 ^b	0.048 ^a	0.058 ^b	96 ^{ab}	95 ^{ab}	89 ^{ab}	87 ^a
34	0.667 ^a	0.030 ^{bc}	0.063 ^a	99 ^a	95 ^{ab}	97 ^a	88 ^a
DMSH	0.018	0.012	0.003	13.849	13.259	12.642	13.458

Medias con la misma literal, dentro de columna no son diferentes (Tukey, $p > 0.05$).

Estos resultados concuerdan con los de Quero y Enríquez (2013) quienes señalan que en gramíneas el período de llenado de grano ocurre entre 25 y 35 días posteriores a la antesis; en particular se ha encontrado que, para *Brachiaria decumbens* y *B. brizantha* el momento óptimo de cosecha es entre los 21 y 28 días posteriores al inicio de floración (Gonzales, 2001), en *Bromus auleticus* con adecuada madurez fisiológica, es necesario cosechar entre los 24 y 30 días luego de la antesis, periodo donde se obtiene el mayor peso seco, máximo vigor y viabilidad (Ruiz *et al.*, 2003), en *Cenchrus ciliaris* se propuso realizar cosechas entre los días 21 y 28 del inicio masivo de floración, período en que cambian del verde al pardo claro y ha ocurrido el dehiscencia del 15-20% de estas a

partir del ápice de las inflorescencias (González y Mendoza, 1996), mientras que para *Panicum maximum* se observó lenta floración en junio-julio y la cosecha óptima fue a los 23 días posteriores a la hoja bandera masiva; mientras que, en marzo-abril y septiembre-octubre ocurrió a los 15 y 16 días (González y Torriente, 1989). Los resultados antes mencionados concuerdan con lo expresado con Horton *et al.* (1990) y Najda *et al.* (2005), que mencionan que se necesitan aproximadamente 30 días para obtener semillas maduras y esto depende de la especie de gramínea, el clima, la temperatura, el fotoperiodo, la luz y del método de cosecha.

Por otro lado, beneficiar semillas de pastos nativos, es decir, retirar las brácteas accesorias para obtener la carióspside resulta ser un proceso complicado dado la naturaleza de esta; en pasto banderita, la forma del Cs (alargada) es susceptible a sufrir daños durante este proceso, por lo cual, resulta importante buscar opciones que permita obtener carióspsides íntegras que den origen a plántulas normales.

En experimentos donde se han empleado Cs, como propágulo, este se ha obtenido mediante fricción en tapete corrugado; sin embargo, este método tiene el inconveniente de dañar la semilla a nivel de embrión y endospermo, además de ser lento, motivo por el cual se buscó crear una máquina que facilite el trabajo y reduzca daño en la semilla, el ANOVA (Anexo 4.15–4.16) mostró diferencias altamente significativas entre métodos de limpieza de Cs, revelando que se obtiene mayor cantidad de Cs enteras al limpiar con método mecánico (Cuadro 4.3; Figura 4.4) en comparación con las obtenidas por fricción.

Cuadro 4.3 Porcentaje de carióspsides obtenidas de acuerdo a dos distintos métodos de limpieza en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

Método de limpieza	Cs enteros	Cs rotos	Impurezas
Maquina	76 ^a	17 ^b	7 ^a
Manual	47 ^b	44 ^a	9 ^a
DMSH	5.486	6.049	2.504

Medias con la misma literal dentro de columna, no son diferentes (Tukey, $p > 0.05$).

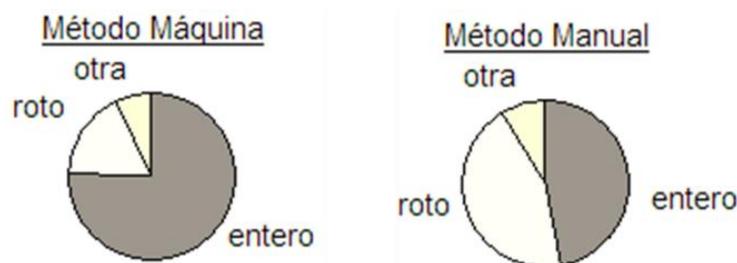


Figura 4.4 Proporción de cariospides obtenidas mediante dos distintos métodos de limpieza.

Utilizar Cs en siembras para establecer praderas es eliminar la dormancia generada por las brácteas que envuelven a la semilla verdadera en pastos, mejorando la emergencia de las plántulas, además de permitir realizar siembras escalonadas en el tiempo cuando la precipitación es errática (Hopkinson *et al.*, 2000).

Durante el proceso de beneficio de la semilla se corre el riesgo de dañar la Cs y esto ocurre dependiendo del tamaño, localización (embrión, endospermo) y naturaleza de los daños sufridos que determinan la viabilidad y germinación e incluso la formación de plántulas anormales poco viables y vigorosas al momento de la siembra; por ello, la importancia de desarrollar tecnología que permita obtener Cs enteros, es decir, sin daño el embrión. El ANOVA (Anexo 4.17–4.18) mostró diferencias altamente significativas en cuanto a método de limpieza y el lugar de daños sufridos durante el beneficio (Cuadro 4.4; Figura 4.5).

Cuadro 5.4 Porcentaje de daños observados en cariospides, obtenidas por dos distintos métodos de limpieza, en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

Método de limpieza	Embrión	Endospermo
Maquina	35 ^b	65 ^a
Manual	88 ^a	12 ^b
DMSH	8.504	8.504

Medias con la misma literal dentro de columna, no son diferentes (Tukey, $p > 0.05$).

Del total de Cs rotos se separaron aquellos que presentaron daños en embrión y en endospermo (Figura 4.5), el ANOVA mostró diferencias significativas ($p < 0.0001$).

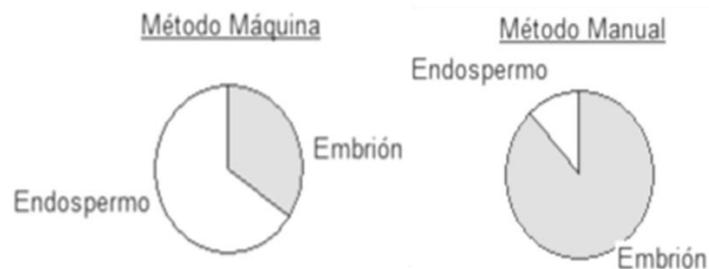


Figura 4.5 Proporción de daño (embrión y endospermo) a la cariópside de semillas obtenidas mediante dos distintos métodos de limpieza.

En relación a componentes de rendimiento en praderas de producción con distinto número de cortes, el ANOVA (Anexo 4.19–4.25) mostró diferencias ($p < 0.05$) para número de coronas ($p < 0.0166$) y área promedio de coronas por tratamiento ($p < 0.0001$); mientras que, para tallos totales ($p > 0.225$), tallos vegetativos ($p > 0.074$), tallos en embuche ($p > 0.411$), tallos florales ($p > 0.659$), espiguillas ($p > 0.646$) no se observaron diferencias significativas, para las dos primeras variables, con elevado coeficiente de variación (67.4 y 55.5) para número de coronas y área de estas; mientras que para tallos, los CV fueron 21.7, 35.9, 40.3, 83.6, 44.6 y 44.2, respectivamente.

Al incrementar el número de cortes se incrementa el número de tallos totales, tallos vegetativos, florales y en embuche (Cuadro 4.5), aunque estadísticamente no existieron diferencias en la cantidad de semilla cosechada, el bajo rendimiento observado en el T4 fue ocasionado por la presencia de tuzas en el área de muestreo ya que ocasionó pérdida de macollos por presencia de galerías. Similarmente, esto puede ocurrir por la eficiencia de cosecha, dado que se ha reportado que la cosecha debe ocurrir con presencia de rocío matinal en pasto Banderita (Silva *et al.*, 2022).

Cuadro 4.5 Componentes del rendimiento obtenido en parcelas de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con diferentes números de corte.

Tratamiento	NC/m ²	AC cm ²	TT	TV	TF	Embuche	Espiguillas (g/m ²)
T ₁	24 ^{ab}	116.32 ^a	172.60	59.40	98.80	14.40	565.10
T ₂	21 ^b	68.72 ^b	197.20	80.40	99.60	17.20	561.72
T ₃	29 ^{ab}	65.73 ^b	273.80	122.80	121.80	29.20	469.21
T ₄	31 ^a	99.37 ^a	205.60	87.60	85.80	32.20	412.07
DMS	9.041	24.981	137.867	63.898	81.929	35.161	401.715

Medias la misma literal, dentro de columna, no son diferentes ($p > 0.05$). T₁) corte de homogenización (CH); T₂) CH más un corte; T₃) CH más dos cortes y T₄) CH más tres cortes. Dónde: NC/m² = Número

de coronas por m²; AC= área promedio por corona; TT = Número de tallos totales; TV = Número de tallos vegetativos; TF = Número de tallos florales.

La producción de semillas de gramíneas depende de las condiciones climáticas y de la fertilización con nitrógeno (Quero y Enríquez, 2013) ya que incrementan los tallos reproductivos y, por tanto, el rendimiento. Aunque en este experimento no se aplicó fertilización, se observó incremento en número de tallos florales; lo cual no fue diferente ($p > 0.05$); lo anterior, es importante debido a que las gramíneas florecen en generaciones múltiples y al realizar uno o varios cortes en las plantas se elimina la dominancia apical y la influencia hormonal por lo que se favorece el incremento y uniformidad de tallos reproductivos (Quero y Enríquez, 2013).

La caída de la semilla madura e inmadura está influenciada por la formación del callo de abscisión de la espiguilla, por lo que la cosecha debe realizarse en un lapso de tiempo corto debido a que las condiciones ambientales son cruciales en dicho proceso, las insolaciones aceleran este proceso por lo que definir el momento óptimo de cosecha se vuelve crucial (Quero y Enríquez, 2013). Hopkinson *et al.* (2000) mencionan que la densidad de inflorescencias es el factor determinante en la densidad de espiguillas y, por tanto, del rendimiento de semilla.

Es importante considerar que este es muy variado y específico de localidad, manejo y método de cosecha, por lo que los resultados aquí reportados son específicos de la época y el manejo dado. El comienzo de la floración tiene requisitos fotoperiódicos, diferentes entre especies y restringen tanto la latitud como la época del año en que presentará la floración vigorosa, por ejemplo *Brachiaria mutica* es una especie obligada de día corto; mientras que, *B. ruziziensis* una especie cuantitativa de día corto; por otro lado, *B. decumbens*, *B. humidicola*, *B. brizantha* y *B. dictyoneura* son especies cuantitativas de día largo por lo cual florecen en cualquier lugar en los días más largos del año y con mayor vigor en latitudes tropicales altas. Stür (1985, citado por Hopkinson *et al.*, 2000) indicó que la emergencia de macollos emergidos tardíamente es más lenta, en comparación con macollos precoces de la misma población, para alcanzar la excursión de la inflorescencia y tienen mayor probabilidad de permanecer vegetativas durante tiempo indefinido, a dicho fenómeno se conoce como supresión competitiva.

El ANOVA (Anexo 4.26–4.33) mostró diferencias para número de ramillas en parte basal ($p < 0.0001$), para número de ramillas en parte central ($p < 0.0112$); mientras que, para el número de ramillas en parte apical ($p < 0.8604$) no hubo diferencias probablemente debido a que el mayor número de ramillas se encuentra en la parte apical del pedúnculo floral por lo que es muy fácil la dehiscencia de semilla ante cualquier evento como el viento o la lluvia.

Al evaluar el rendimiento de semilla (Cuadro 4.6) el ANOVA mostró que tanto el peso cosechado en espiguilla, como cariósipide y la proporción de tamaño chico y grande existen diferencias ($p < 0.0001$), con CV de 25.8, 23.2, 19.6, 11.1, 70.6, 14.1 y 16.8, respectivamente. Del peso total de semilla cosechada en forma de espiguilla, más del 50% es basura, constituida por brácteas accesorias a la Cs; las cuales, al ser clasificadas de acuerdo a tamaño, resultaron en mayor porcentaje de CsG en todos los tratamientos. En relación al rendimiento obtenido por sección de pedúnculo floral, el ANOVA (Anexo 4.34–4.39) mostró diferencias ($p < 0.0001$), tanto en espiguilla como en Cs. La mayor cantidad de semilla se encuentra en la zona apical de la inflorescencia, lo cual explica la pérdida de semilla durante la cosecha.

Cuadro 4.6 Rendimiento de semillas en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., por sección de pedúnculo floral.

Tratamiento	R/UTF			Rendimiento (g)		Rendimiento (%)	
	B	C	A	Espiguilla	Cariósipide	CsCh	CsG
T ₁	6 ^b	17 ^a	33 ^a	0.296 ^c	0.047 ^b	35.98 ^b	64.04 ^a
T ₂	6 ^b	15 ^b	32 ^a	0.471 ^b	0.081 ^b	46.78 ^a	53.24 ^b
T ₃	6 ^b	17 ^a	32 ^a	0.585 ^a	0.122 ^a	49.94 ^a	50.08 ^b
T ₄	7 ^a	17 ^a	32 ^a	0.587 ^a	0.144 ^a	50.14 ^a	49.86 ^b
DMSH	0.827	1.984	3.249	0.028	0.036	3.940	3.938
Rendimiento (g) por sección de pedúnculo floral							
	Espiguilla			Cariósipide			
	B	C	A	B	C	A	
T ₁	0.020 ^c	0.010 ^c	0.005 ^c	0.004 ^b	0.002 ^b	0.001 ^b	
T ₂	0.031 ^b	0.016 ^b	0.009 ^b	0.007 ^b	0.003 ^b	0.001 ^b	
T ₃	0.039 ^a	0.019 ^a	0.011 ^a	0.010 ^a	0.004 ^a	0.002 ^a	
T ₄	0.039 ^a	0.020 ^a	0.011 ^a	0.012 ^a	0.005 ^a	0.002 ^a	
DMSH	0.0018	0.0009	0.0005	0.0029	0.0013	0.0006	

Medias igual literal, dentro de columna y variable, no son diferentes (Tukey, $p > 0.05$). T₁) corte de homogenización (CH); T₂) CH más un corte; T₃) CH más dos cortes y T₄) CH más tres cortes. Dónde: R/UTF = Número de ramillas por unidad de tallo floral; el pedúnculo floral fue dividido en tres secciones: basal (B), central (C) y apical (A).

Los resultados obtenidos concuerdan con lo descrito por Hopkinson *et al.* (2000) quienes mencionan que después de la emergencia de inflorescencias ocurre la antesis, la antesis en una sola inflorescencia y entre inflorescencias, se distribuyen en el tiempo, aunque no lo suficiente como para afectar de manera significativa la maduración general del cultivo y proponen que la formación y llenado de la semilla, hasta Cs reconocible, puede depender de la influencia de la apomixis o las irregularidades genéticas relacionadas con a la poliploidía. Indican que el llenado de Cs raras veces supera 30% del total de las semillas formadas; es decir, muchas son vanas. Este último evento puede estar influenciado por estrés hídrico en el momento de llenado de grano.

En *Brachiaria* spp. se observó que el tamaño de la Cs está en función de las dimensiones de la espiguilla y es probable que estas dimensiones permanezcan constantes en cualquier grupo taxonómico. Gramíneas panicoides de envolturas apretadas mantienen constante el tamaño de su Cs; mientras que aquellas que se desarrollan en envolturas menos rígidas, pueden variar su tamaño durante la madurez, siendo esta última el caso de especies de *Cenchrus* spp., algunas *Andropogoneae* y *Chloris* spp.

Por lo descrito sabemos que el rendimiento de semilla en pastos, puede modificarse por acción de los factores ambientales, físicos, biológicos y por la tecnología empleada (Ferguson, 1979; Andrade *et al.*, 1983), es decir, el método de siembra, cobertura basal, fertilización, compactación del suelo, edad del lote o pradera, altura de corte y momento de cosecha (Febles, 1981). El manejo que se debe proporcionar a los pastos destinados a la producción de semillas (Hopkinson y English, 1985), tiene como principal objetivo lograr una población de inflorescencias bien sincronizadas y densas como sea posible. Se requiere que el desarrollo del pasto sea rápido y que se lleven a cabo juntos todos los procesos fisiológicos que estimulen el amacollamiento del pasto, inducción de tallos florales, humedad adecuada y liberación de nitrógeno, complementados con buenas condiciones climáticas (insolación y altas temperaturas) y una buena cosecha.

Al evaluar variables físicas y fisiológicas a las semillas antes colectadas, el ANOVA (Anexo 4.40–4.46) mostró que la viabilidad no presentó diferencias para tamaño de CsG ($p > 0.1068$), con CV de 4; mientras que la CsCh mostró diferencias ($p < 0.0001$) con CV de 4. Para germinación se observaron diferencias tanto para CsCh como CsG ($p < 0.0003$

y $p < 0.0001$, respectivamente), con CV de 4 y 3. El P1000S fue significativo ($p < 0.0001$) para espiguillas, CsCh y CsG, cuyo CV fue de 4.77, 1.19 y 1.16, respectivamente (Cuadro 4.7).

Cuadro 4.7 Peso promedio de mil semillas (P1000S), porcentaje de viabilidad y germinación en semillas en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., provenientes de parcelas con diferentes números de corte.

Tratamiento	P1000S (g)			Viabilidad (%)		Germinación (%)	
	Espiguilla	CsG	CsCh	CsG	CsCh	CsG	CsCh
T ₁	0.93 ^d	0.64 ^c	0.53 ^c	91	79 ^b	77 ^b	81 ^c
T ₂	1.24 ^c	0.67 ^b	0.55 ^a	91	81 ^b	78 ^b	88 ^b
T ₃	1.32 ^b	0.68 ^a	0.54 ^b	94	81 ^b	80 ^{ab}	93 ^a
T ₄	1.40 ^a	0.68 ^a	0.55 ^a	93	85 ^a	83 ^a	84 ^c
DMSH	0.056	0.007	0.008	3.664	3.241	3.322	2.881

Medias igual literal, dentro de columna, no son diferentes (Tukey, $p > 0.05$). T₁) corte de homogenización (CH); T₂) CH más un corte; T₃) CH más dos cortes y T₄) CH más tres cortes.

Pocos son los estudios realizados en pastos nativos del desierto mexicano para determinar el momento óptimo de corte; sin embargo, existe investigación en pastos introducidos y tropicales. En los resultados obtenidos se aprecia que a mayor intensidad de corte la ventana de floración se reduce, es decir, se homogeniza la floración (Quero y Enríquez, 2013).

Hopkinson *et al.* (2000) mencionan que la llegada de la madurez depende de la relación entre la tasa de crecimiento del Cs y la tasa de desarrollo de la capa de abscisión y el desarrollo de esta última parece ser relativamente constante, mientras que el desarrollo del Cs varía de acuerdo a las condiciones ambientales. En *Brachiaria*, periodos nublados prolongados retardan el crecimiento de la Cs además del riesgo de que la abscisión preceda a la maduración en porcentaje alto de las espiguillas, ocasionando gran cantidad de semillas inmaduras incluso en el momento en que se da la madurez de cosecha, repercutiendo así en la calidad de la semilla (Hopkinson *et al.*, 2000).

Una Cs inmadura, además de presentar desarrollo incompleto, no puede ocupar la totalidad de la cavidad formada en las brácteas que forman la espiguilla, debido a que el sello que une la lema y la palea depende de las partes superpuestas de ambas y sean forzadas una contra la otra por el crecimiento final de la Cs, disminuyendo así la capacidad protectora; por tanto, otro efecto de la inmadurez de las semillas es la invasión

de cuerpos extraños como agua o hifas de hongos, por lo que estas son vulnerables a daños físicos, infestaciones y resultan fisiológicamente débiles (Hopkinson *et al.*, 2000).

Por lo anterior, medir el peso medio de semilla pura, permite conocer el grado de madurez en una población (Hopkinson *et al.*, 2000) y esta dependerá de la uniformidad de dimensiones de la espiguilla. Para *B. decumbens*, se determinó que una cifra inferior a 450 mg/100 semillas indica bajo nivel de madurez; mientras que, niveles superiores a 500 mg/100 semillas, indica alto nivel de madurez. La cantidad de semilla retenida está en función de la abscisión y esta ocurre poco después de completarse el desarrollo físico, aun cuando la maduración no haya sido completa, por lo que prolongar la retención no contribuye al incremento de la eficiencia de recuperación de semillas (Hopkinson *et al.*, 2000) puesto que el tejido de abscisión se encuentra entre las glumas y el pedicelo.

4.6 CONCLUSIONES

En base al porcentaje de pureza, porcentaje de germinación y viabilidad obtenidas, el momento óptimo de cosecha para pasto Banderita ocurre entre los días 28 y 33 post anthesis, con tallo color beige y espiguillas amarillo claro-beige y/o cuando las espiguillas presentes coloración amarillo claro con ligera transición a dorado, ya que una vez alcanzada esta tonalidad se incrementa considerablemente la caída de espiguillas desde el culmo floral; no existen diferencias en viabilidad y germinación entre espiguillas beige y doradas. Si se desea utilizar cariósides como propágulo para la rehabilitación de pastizales, se recomienda realizar el beneficio de semilla mediante limpieza mecánica, ya que con este método se obtienen cariósides enteras y libres de daños en embrión.

DISCUSIÓN GENERAL

Producir semilla de pastos resulta difícil debido a la poca cantidad de semilla cosechada entre otras cosas porque existe producción escalonada de inflorescencias y, en algunas especies, no se observa cambio de coloración de espiguillas al madurar (González, 2001) lo que ocasiona floración heterogénea (Matías, 1994) lo anterior, causa bajos rendimientos y mala calidad de la semilla (González y Mendoza, 1996). De acuerdo a Boonman (1978) el bajo rendimiento de semilla se atribuye a la reducida densidad de inflorescencias, al escaso peso de las espiguillas en estas y al bajo porcentaje de llenado de las espiguillas producidas.

Por tanto, se ha propuesto a lo largo de los años realizar investigación sobre el manejo que permitan incrementar la fertilidad de las semillas y sincronizar la floración a un periodo de maduración más corto, para obtener altos rendimientos de semilla de mejor calidad y con ello disminuir el riesgo de dispersión y pérdida de esta (Joaquín et al., 2006). Investigaciones en pastos tropicales han mostrado que la fertilización nitrogenada, la densidad de plantas, la elección de la fecha óptima de cosecha, permiten incrementar el rendimiento y calidad de la semilla (Boonman, 1978).

Determinar la fecha optima de cosecha permite incrementar la producción de semilla ya que cosechas tempranas dan como resultado semillas inmaduras de baja calidad fisiológica, mientras que cosechas tardías ocasionan perdidas de semilla por dehiscencia (Filgueiras, 1981), por lo tanto, la mejor fecha de cosecha es cuando las semillas alcanzan la madurez fisiológica, la cual coincide con el máximo contenido de materia seca y la máxima calidad fisiológica (Copeland, 1976; Vilela, 1983; León, 1986; Carvalho y Nakagawa, 1988; Mullen, 2003). Otros autores han sugerido considerar como criterios para determinar el momento óptimo de cosecha la fecha después de la antesis, color de inflorescencias, contenido de materia seca y porcentaje de dehiscencia de las semillas (Carambula, 1981; Matías, 1994; Pérez et al., 1997; Stritzler *et al.*, 2005).

Debido a que la mayor cantidad de información se tiene en pastos tropicales, para el caso de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk y *B. brizantha* cv. CIAT-16448, se determinó que la mejor edad de cosecha es entre 21 y 28 días posteriores al inicio de la floración

masiva (González *et al.*, 1987; González, 2001), mientras que en *B. humidicola* es entre 21 y 28 días después de la antesis (Vieito *et al.*, 2001).

Los resultados encontrados en este estudio indican que el momento de cosecha tiene efecto en el rendimiento de semilla de pasto banderita y más del 50% de los rendimientos obtenidos como espiguilla están formados por brácteas accesorias, pues los rendimientos disminuyen drásticamente al obtener la semilla verdadera o Cs, además se observó que los máximos rendimientos se obtienen entre el día 28 a 33 post antesis, cuando la coloración del culmo y espiguillas presenta coloración beige, donde el rendimiento obtenido al día 28 y 34 después de antesis fue mayor en 20.1 y 30.4%, con respecto al rendimiento obtenido a 20 dda, probablemente se deba a la mayor cantidad de CsG que se obtuvieron al final de la cosecha. Los bajos porcentajes de semilla pura en pastos se deben a la alta proporción de material inerte (espiguillas sin cariósido) según lo reportado por Carvajal y Lara (2003). Por otro lado, Ferguson (1978) menciona que en gramíneas forrajeras la pureza física de la semilla es variable. Tal es el caso del pasto Insurgente que tuvo 21.5% de pureza en la semilla en el mes de diciembre, mientras que en noviembre se obtuvo 25%, probablemente ocasionado por estrés ocasionado por sequía previo al mes de diciembre (Rivas *et al.*, 2000; Joaquín *et al.*, 2010).

Al respecto, González *et al.* (1987), Castro *et al.* (1994), Matías (1994), González (2001), Vieito *et al.* (2001) y Joaquín *et al.* (2016) encontraron un efecto similar de la fecha de cosecha sobre la producción de semilla de gramíneas forrajeras tropicales, donde se informaron diferentes fechas de cosecha, comparadas con las del presente estudio.

González *et al.* (1987) y González (2001) reportaron para *B. decumbens* cv. Basilisk y *B. brizantha* cv. CIAT-16448, respectivamente, como la mejor fecha de cosecha entre el día 21 y 28 posteriores al inicio de la floración masiva, mientras Vieito *et al.* (2001) reportó para *B. humidicola* como fecha óptima entre el día 24 y 30 post inicio de emergencia de inflorescencias, lo cual es consistente con lo reportado por Castro (1994). Sin embargo, Matías (1994) reportó para *B. brizantha* cv. Marandú como la mejor fecha de cosecha al día 35 posterior al inicio de la floración masiva.

La diferencia de resultados puede deberse a la especie evaluada, cultivar, a las condiciones ambientales del área de estudio, a los métodos de siembra, edad de la pradera y prácticas agronómicas utilizadas (Ferguson, 1978). Otro problema existente es que no existe un criterio homogéneo entre investigadores acerca del inicio de la floración, algunos consideran como inicio de la floración al espigamiento, de acuerdo a Booman (1978) cuando han emergido entre 5 y 10 panículas/m², mientras que para otros es cuando existe el 75% de panículas en antesis (González *et al.*, 1988). En ese sentido resulta importante estandarizar el momento de antesis como día cero, el cual desde el punto de vista botánico corresponde a la liberación del polen, dado que se encuentra regulado genética y ambientalmente y ocurre en sincronía en diversas especies, entre los principales factores se encuentra la respuesta al fotoperiodo y prácticas de manejo de la pradera.

En relación a componentes de rendimiento y calidad de semilla, los resultados obtenidos mostraron que a mayor número de corte se incrementó la incidencia de culmos florales ($P > 0.05$). Similarmente a estos resultados, otros autores no encontraron efecto de la fecha de cosecha en el número de panículas por unidad de superficie para *B. brizantha* cv. Marandú (Matías, 1994), *B. brizantha* cv. CIAT-16448 (González, 2001) y *B. humidicola* (Vieito *et al.*, 2001), debido a que es esta especie el sistema reproductivo se establece antes de la exención de las inflorescencias (White, 1990).

En este estudio, el componente número de tallos florales y ramillas por unidad de tallo floral pudo influir en el incremento del rendimiento de semilla, lo cual puede ser explicado por la relación que existe entre el número total de panículas con el rendimiento de semilla (Febles *et al.*, 1982). Por tanto, en el presente estudio, el mayor rendimiento de semilla, obtenido al cosechar al 34 DDA, se debió a la presencia de un mayor número de panículas maduras por unidad de superficie, en comparación con las primeras cosechas, donde la mayor cantidad de panículas se encontraban inmaduras.

La longitud de inflorescencia, determinada desde la antesis (White, 1990), fue afectada por la fecha de cosecha al considerar los distintos marcadores de madurez fisiológica ($P > 0,05$). De acuerdo a Humphreys y Riveros (1986) describen que la longitud de la inflorescencia depende del tamaño inicial del ápice reproductivo, del suministro de

metabolitos y competencia del ápice con otros sitios en desarrollo dentro de la planta, por ello se ha considerado que las primeras inflorescencias formadas son las que contribuyen en mayor proporción al rendimiento, ya que son de mayor tamaño y contienen mayor número de espiguillas, por tanto, mayor cantidad de semillas puras, en comparación con las que emergen tardíamente. Sin embargo, Vieito *et al.* (2001) hallaron efecto de la fecha de cosecha en la longitud de panícula de *B. humidicola*, encontraron que la mayor longitud ocurrió a 28 después de antesis.

La disminución del número de espiguillas cosechadas por inflorescencia mostró que a mayor número de días transcurridos desde la antesis hubo mayor dehiscencia y por tanto pérdida de semillas. Considerando que en este estudio se cosecho tomando en cuenta la coloración de la espiguilla, se observó que la cantidad de espiguillas obtenidas en las parcelas sometidas a distintas frecuencias de cortes, no reflejó un mayor rendimiento de semilla, por lo que se confirma que cosechar anticipadamente, es decir, cuando la espiguilla presenta coloración verde a fin de evitar pérdida de semillas resulta ser adverso, debido a que una cosecha temprana produce gran cantidad de espiguillas inmaduras y vacías (Hopkinson y English, 1982), lo cual se refleja en el porcentaje de emergencia; por otro lado, si se espera cosechar hasta que la espiguilla presente coloración dorada en la totalidad de la panícula la cosecha se retrasa y se produce pérdida de semilla debido a la dehiscencia de semillas (Crowder y Chheda, 1982).

En este estudio las mejores cosechas fueron a partir del día 28 al día 33 posterior a la antesis, pues se obtuvieron las cariósides con mayores ganancias de peso, aun cuando se observó un elevado porcentaje de dehiscencia. Debido a que existe escasa información sobre especies nativas de zonas áridas y semiáridas de México, es difícil comparar los rendimientos obtenidos en este estudio, sin embargo, en pastos tropicales se ha señalado que los máximos rendimientos de semilla se han obtenido cuando existe un 30% de dehiscencia (Boonman, 1978).

Por lo anteriormente expuesto, se puede afirmar que considerar la coloración de espiguilla resulta ser mejor marcador de madurez en pasto banderita, por lo que la fecha de cosecha debe hacerse considerando dicho parámetro a fin de obtener buenos rendimientos de semilla que sea madura fisiológicamente, lo cual también es consistente

con el peso máximo individual de las semillas (Humphreys y Riveros, 1986); en el caso de *B. brizantha* el peso máximo de las semillas se alcanza al día 11 después de antesis, periodo que puede variar de acuerdo a las condiciones ambientales y prácticas de manejo.

La calidad física de la semilla en términos del peso de 1000 semillas, fue afectada por el marcador de madurez empleado ($p>0,05$). Los valores relacionados con la germinación indican que el marcador morfológico empleado como indicador de la fecha de cosecha no afectó la calidad fisiológica de la semilla ($p<0,05$), las variedades evaluadas presentaron porcentajes de germinación por arriba del 90%, donde los marcadores de madures tenían hacia una coloración beige a dorada y eran menores al 80% cuando se cosecha en verde. Matías (1994) encontró un aumento de la germinación conforme se retrasó la fecha de cosecha, siendo el valor más alto al día 28 después de antesis, lo que coincide con lo reportado en este estudio.

La diferencia de resultados en relación al porcentaje de germinación en semillas por efecto de la fecha de cosecha puede estar influenciada por la especie forrajera, el momento de cosecha, el periodo de almacenamiento, las condiciones climáticas durante el proceso de producción y almacenamiento, así como la metodología utilizada en su determinación. El rendimiento de semilla está determinado por el número de panículas/m², el número de espiguillas por panícula, mayor porcentaje de semilla pura, menor porcentaje de dehiscencia, peso de las semillas y retención de semillas (Loch, 1980; Crowder y Chheda, 1982; Hopkinson y English, 1982; Humphreys y Riveros, 1986; Joaquín *et al.*, 2016).

CONCLUSIÓN GENERAL

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que consierar como fecha de cosecha considerando marcadores de madurez resulta benefico si este coincide con el momento de madurez fisiológica de la semilla, lo que permite aumentar los parámetros de calidad como son la viabilidad y germinación, para pasto banderita se encontró que el mayor rendimiento 34 dda. Dar manejo agronómico, cortes, a parderas de pasto banderita muestra un efecto positivo en el incremento de semilla, dado principalmene por el aumento en el número de semillas cosechadas por inflorescencia y al peso de estas. Por tanto, para producir semilla de *Bouteloua curtipendula* se recomienda cosechar entre 28 y 33 días después de la antesis; sin embargo, se sugiere continuar con el estudio en éste y otras especies de zonas áridas y semiáridas nativas de México, con la finalidad de determinar con mayor precisión el momento óptimo de cosecha, así como enfatizar en la determinación de parámetros de calidad física y fisiológica de los propágulos a utilizar. La morfología del Cs de banderita presenta forma alargada, atributo que influye en la clasificación por tamaño. Los CsG presentan mayor viabilidad, germinación y plantas más vigorosas respecto a CsCh, la profundidad de siembra óptima es de 1-2 cm, el coleóptilo es la estructura responsable de la emergencia de plántula. El protocolo para viabilidad en Poaceae (ISTA, 2012) no es aplicable para *Bouteloua curtipendula*, *Leptochloa dubia*, *Digitaria californica* y *Setaria macrostachya*; el tiempo óptimo de imbibición para estas especies es de 3 a 4 horas, el corte longitudinal es el más adecuado para analizar daño o muerte de estructuras en el eje embrionario, la concentración de TZ a 0.5% es adecuada para obtener una adecuada tinción. Punta Blanca y tempranero son permeables a TZ, por lo que estas especies pueden analizarse sin necesidad de realizar un corte en el Cs. El momento óptimo de cosecha para pasto banderita es del día 28 a 33 post antesis, cuando la coloración del culmo y espiguillas son beige. Si se desea utilizar Cs para el trasplante o resiembra de pastizales, el método mecánico es más efectivo para beneficiar semilla de pastos, ya que el porcentaje de daños en embrión es menor.

LITERATURA CITADA

- Aguilar G. L., Escalante E. J. A., Fucikovsky Z. L., Tijerina C. L., Mark E. E. 2005. Área foliar, tasa de asimilación neta, rendimiento y densidad de población en girasol *Terra Latinoamericana*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 23 (3):303-310.
- Agüero C. G. 2017. Propuesta metodológica para determinar la calidad en semillas de Bueffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.). Tesis para optar al Grado Académico de Magister en Ciencias Agropecuarias con Mención Tecnología de Semillas. Universidad Nacional de Córdoba Facultad de Ciencias Agropecuarias Escuela para Graduados.
- Alibu S, Saito Y, Shiwachi H, Irie K. 2011. Relationship between coleoptile and mesocotyl elongation of upland rice (*Oryza sativa* L.) seedlings under submergence and soil-sand culture. *Afr J Agric Res*. 6:6463–72.
- Alibu S, Saito Y, Shiwachi H, Irie K. 2012. Genotypic variation in coleoptile or mesocotyl lengths of upland rice (*Oryza sativa* L.) and seedling emergence in deep sowing. *Afr J Agric Res* 7:6239–6248. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.022>
- Andrade R. P., Thomas D., Ferguson, J. E. 1983. Seed production of pasture species in a Tropical Savanna region of Brazil. II. Grasses. *Trop. Grassl*. 17:59
- Armendáriz S. E, Martínez R. J. M. 2022. Rescate embrionario in vitro de híbridos de zacate de búfalo [*Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engelm.]. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*. 5(1) DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n1-058>
- Association of Official Seed Analysts (AOSA). 2009. Seed Vigor Testing Handbook. Ithaca, NY, USA: Association of Official Seed Analysts.
- Bartholomew P. W. 2015. Seed size effects on early seedling growth and response to applied nitrogen in annual ryegrass (*Lolium multiflorum* L.). *Agric. Sci*. 6: 1232-1238.
- Biasutti C. A., Galiñanes V. A. 2001. Influencia del ambiente de selección sobre la germinación de semillas de maíz (*Zea mays* L.) bajo estrés hídrico. Relaciones entre caracteres de plántula con el rendimiento en campo. *Agriscientia*. Vol. XVIII. 37-44.
- Boonman, J. 1978. Producción de semillas de pastos tropicales en África, con referencia especial en Kenya. En Tergas LE, Sánchez PA (Eds.) Producción de 58 Pastos en Suelos Ácidos de los Trópicos. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. pp. 385-402.
- Briske D. D, Wilson A. M. 1980. Drought effects on adventitious root development in blue grama seedlings. *J. Range Manage*. 33:323-327.

- Cao L. Y., Yuan S. J., Zhou H. P., Zhan X. D., Wu W. M., Gao J. X. 2005. Effect of different hormones on mesocotyl length in *Oryza sativa* L. *Acta Agronomica Sinica* 31:1098–1100 (in Chinese with English abstract).
- Carambula M. 1981. Producción de semillas de plantas forrajeras. 1ª ed. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 518 pp.
- Carvajal A.J. y Lara del Río M. 2003. Producción y calidad de semillas de los pastos Insurgente, Guinea y Llanero. *Livest. Res. Rural Devel.* 15. Art. N° 16.
- Carvalho N.M., Nakagawa J. 1988. Semillas: Ciencia, Tecnología y Producción. 1ª ed. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 406 pp.
- Castro de D.R., Das G.M., Carvalho V.G., Moreira de C.M.L. 1994. Influência de métodos e épocas de colheita sobre a produção e qualidade de sementes de *Brachiaria decumbens* cv. "Basilisk". *Rev. Bras. Sem.* 16: 6-11.
- Castro C.R.T., Carvalho W.L., Reis F.P. 1994. Influência do tratamento com ácido sulfúrico na germinação de sementes de *Brachiaria brizantha* (Hochst.ex A. Rich) Stapf. *Ceres* 41: 451-458.
- Copeland L.O. 1976. Principles of Seed Science and Technology. Burgess. Mineapolis, MN, EEUU. 369 pp.
- Challenger A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: Pasado, presente y futuro / Antony Challenger.- México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad; UNAM, Instituto de Biología.
- Crowder L.V., Chheda H.R. 1982. Tropical Grassland Husbandry. 1a ed. Longman. Londres, RU. 500 pp.
- Cervi F., Mendonca E. A. F. 2009. Adequação do teste de tetrazolio para sementes de algodoeiro. *Rev. Brasileira de Sementes*, 31:177-186.
- Cibrián T. J., Quero C. A. R., Muñiz M. M., Hernández G. F. J., Cibrián J. A. M. 2013. Nonotecnología agrícola: Caso 1. Liberadores de ferohormonas, Caso 2. Establecimiento de gramíneas en condiciones semiáridas. *Agroproductividad* 6(4): 3-7.
- Chen L., Nishizawa T., Higashitani A. 2001. A variety of wheat tolerant to deep- seeding conditions: elongation of the first internode depends on the response to gibberellin and potassium. *Plant, Cell and Environment* 24: 469–476.
- Chen X. W., Yang L, Zhang Y, Gong J. F. 2005. Effects of low temperature at 10 °C on some antioxidant enzyme activities and ultrastructures of hypocotylar cells in mung bean and garden pea. *J Plant Physiol Mol Biol* 31:539–544. <https://doi.org/10.1360/aps040074>

- Cung N. J. 2010. Elongation habit of mesocotyls and coleoptiles in weedy rice with high emergence ability in direct-seeding on dry paddy fields. *Crop and Pasture Sci* 61:911–917. <https://doi.org/10.1071/CP10099>
- Cobin J. D., D'Antonio C. M. (2004) Competition between native perennial and exotic annual grasses: implications for an historical invasion. *Ecology* 85:1273-1283.
- Crdero S. R. A. 1991. Efecto de estrés osmótico sobre la germinación de semillas de *Tecoma stans* (Bignoniaceae). *Rev. Biol. Trop.* 39 (1): 107-110.
- Costa C. J., Santos C. P. 2010. Tetrazolium test in *Leucaena* seed. *Rev. Bras. de Sementes*, 32:6-72.
- Cpeland, L. O. and McDonald, M. B. 1995. Principles of seed science and technology. 3rd ed. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.
- Cpeland, L.O., McDonald, M. B. 2001. Principles of Seed Science and Technology, 4e. New York: Springer Science+Business Media.
- Dwson, W., Fischer M., Van Kleunen M. 2011. The maximum relative growth rate of common UK plant species is positively associated with their global invasiveness. *Global Ecol. Biogeogr.* 20:299–306.
- Delouche J., Baskin C. C. 1973. Accelerated ageing techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Sci. & Technol.* 1: 427-452
- Delouche J. C., Wayne S. T., Raspet M., Lienhard M. 1962. Prueba de viabilidad de la semilla con tetrazolio. Estado de Mississippi. EEUU., 71 p.
- Dogra V., Singh P., Sreenivasulu Y. 2013. Change in protein content during seed germination of a high altitude plant *Podophyllum hexandrum* Royle. *J. Proteomics.* 78: 28-38.
- Esqueda C. M. H., Carrillo R. R. L., Sosa C. M., Melgoza C. A., Royo M. M. H., Jiménez J. 2002. Emergencia y supervivencia de gramíneas inoculadas con biofertilizantes en condiciones de invernadero. *Téc. Pecu. Méx.* 42:459-475.
- Enríquez Q. J. F., Quero C. A. R. 2006. Producción de semillas de gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales. INIFAPCIRGOC. CE Cotaxtla. Libro Técnico Núm. 11. Veracruz, Veracruz, México. 109 p.
- Faber F. M., Grzybowski C. R. S., Pazolini K., Possenti J. C., Panobianco M. 2015. Criteria for implementation of a tetrazolium test in canola seeds. *J of Seed Science* 37: 222-227.
- Ferrero S. A., Hild A. L., Meador B. A. 2011. Can invasive species enhance competitive ability and restoration potential in native grass populations? *Restor. Ecol.* 19:545-551.

- Ferguson J. 1995. An introduction to seed vigour testing. In: Seed Vigour Testing Seminar. Proceedings of the International Seed Testing Association, Copenhagen. 1-9 pp.
- Finch S. W. E., Dent K. C., Clark L. J. 2004. Soak conditions and temperature following sowing influence the response of maize (*Zea mays* L.) seeds to on-farm priming (pre-sowing seed soak). *Field Crops Res.* 90: 361-374.
- Finch S. W. E., Clay H. A., Lynn J. R., Morris K. 2010. Towards a genetic understanding of seed vigour in small-seeded crops using natural variation in *Brassica oleracea*. *Plant Sci* 179:582– 589. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.06.005>
- Febles G. 1981. Estudios sobre la calidad y la producción de semilla en la hierba guinea común (*Panicum maximum* Jacq.). Tesis en opción al grado de Dr. en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba
- Ferguson J. B. 1979. Sistemas de producción de semillas de pastos en América Latina. CIAT. Cali, Colombia. p. 385
- Filgueiras T. 1981. Seed vigor and productivity. *Pesq. Agrop. Bras.* 16: 851-854.
- García G. 2016. Influencia de la revegetación con *Festuca humilior* y la incorporación de fertilizantes en la recuperación de pastizales degradados. Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, Serie Libros, núm. 9, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- García R. J. J., Ávila P.M. A., Gámez V. F. P., De la O O. M., Gámez V. A. J. 2018. Calidad física y fisiológica de semilla de maíz influenciada por el patrón de siembra de progenitores. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41:31-37, <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.1.31-37>
- Gaspar O. C. M., Martins C. C., Nakagawa J. 2010. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de mamoneira (*Ricinus communis* L.) pelo teste de tetrazólio. *Revista Brasileira de Sementes*, 32: 186-196.
- Go C. H., Hu J., Zheng Y. Y., Zhang G. 2006. Antioxidant enzyme activities and proline content in maize seedling and their relationships to cold endurance. *Chin J Appl Ecol* 17:1045–1050. <https://doi.org/10.1360/yc-006-1280>
- Gry W. M., Ostin A., Sandberg G., Romano C. P., Estelle M. 1998. High temperature promotes auxin-mediated hypocotyl elongation in *Arabidopsis*. *Proc Natl Acad Sci USA* 95:7197–7202. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.12.7197>
- Gold, Kate, León L., Pedro y Way, Michael. 2004. Manual de recolección de semillas de plantas silvestres para conservación a largo plazo y restauración ecológica [en línea]. La Serena, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

- no. 110. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7000> (Consultado: 25 noviembre 2022).
- González Y., Pérez A., Matías C. 1988. Problemática de la producción de semillas en los pastos tropicales. Segunda parte. Pastos Forrajes 11: 105-127.
- González Y., Pérez A., Pérez R. 1987. Determinación del momento óptimo de cosecha en *Brachiaria decumens* cv. Basilisk. Pastos Forrajes 10: 212-218.
- González S. A. 1988. Medición de la producción y calidad de semilla de zacate buffel Biloela con adición de fertilizante en la región sur de Jalisco. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario No. 20. Aguascalientes, Ags.
- González Y., Mendoza F. 1996. Determinación del momento óptimo de cosecha de las semillas de *Centhrus ciliaris* Híbrido CIH-2. Pastos y Forrajes, Vol. 19, No. 1.
- González Y., Torriente O. 1989. Estudio de las fases de desarrollo de panículas de guinea cv. Likoni y su efecto en la producción y calidad de las semillas. Pastos y Forrajes. 12:35
- González Y. 2001. Momento óptimo de cosecha de las semillas de *Brachiaria brizantha* cv. CIAT 16448. Pastos Forrajes 24: 27-33.
- Gosling P. G. 2003. Viability testing. In: RD Smith, JB Dickie, SH Lenintong, HW Pritchard, RJ Probert (eds.) Seed Conservation: Turning Science into Practice. Royal Botanic Gardens, Kew, U.K. pp. 445-481.
- Hernández G. F.J., Quero C. A. R., Pérez-Rodríguez, Paulino, Velázquez M. M., García S. G. 2015. Germinación y emergencia de propágulos de pasto en respuesta a pruebas de vigor. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 6(7), 1519-1532. Recuperado en 09 de febrero de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000700008&lng=es&tlng=es.
- Hernández G. F. J., Rodríguez O. L. T., Velázquez M. M., Landa S. P., Rodríguez O. A., Castrellón M. J.L. 2021. Influencia del tamaño de cariósido y embrión en el desarrollo de plántulas de pastos. Interciencia, 46(7-8); 309-316.
- Heydecker W. 1960. Can we measure seedling vigor? Proc Intl Seed Test Assoc 25:489–512
- Hopkinson J.M., English B.H. 1982. Spikelet population dynamics in seed crops of *Panicum maximum* "Gatton". Seed Sci. Technol. 10: 379-403.
- Hopkinson J. M., de Souza F. H. D., Diulgheroff S., Ortiz A., Sánchez M. 2000. Fisiología reproductiva, producción de semilla y calidad de la semilla en el género *Brachiaria*. Ed. Por J.W Miles, B.L. Maass y C.B. do Valle; con la colaboración de V. Kumble (pp. 136-155). *Brachiaria Biología, agronomía y mejoramiento*. Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte.

- Horton H., Asay K., Glover T., Young S., Haws B; Dewey S., Evans J. 1990. Grass Seed Production Guide for Utah. (En línea). Utah. EEUU.
- Humphreys L.R., Riveros F. 1986. Tropical Pasture Seed Production. Plant Production and Protection Paper 8. UN Food and Agriculture Organization. Roma, Italia. 203 pp.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática). 2017. Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo. https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/HGO_ANUARIO_PDF.pdf. [sept., 2020].
- ISTA. 2003. International Seed Testing Association. International Rules for Seed Testing. Working Sheets on Tetrazolium Testing. Volume 1. Zürich
- International Seeds Testing Association (ISTA). 2009. International Rules for Seed Testing. Published by The International Seeds Testing Association. P. O. BOX 308, 8303 Bassersdorf, CH-Switzerland.
- International Seeds Testing Association (ISTA). 2012. International Seed Testing Association. International Rules for Seed Testing. Seed science and Technology 31, Supplement. Zürich.
- Ješko T. 1989. Root-shoot relationships in sorghum and maize plants with different numbers of seminal adventitious roots. In: Structural and Functional Aspects of Transport in Roots (ed. B.C. Loughman, O. Gašparíková and J. Kolek), 189–193. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Joaquín T.B.M., Moreno C.M.A., Martínez H.P.A., Hernández G.A., Gómez V.A., Pérez A.J.A. 2006. Efecto de la fitohormona esterooidal cidef-4 en el rendimiento y calidad de semilla. Técnica Pecuaria México. 44: 193-201.
- Joaquín T.B.M., Moreno C.M.A., Joaquín C.S., Hernández G.A., Pérez P.J., Gómez V.A. 2010. Rendimiento y calidad de semilla de pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) cv. Tanzania usando la fitohormona esterooidal cidef-4. Rev. Mex. Cs. Pec. 1: 237-249.
- Jones A. M., Cochran D.S., Lamerson P. M., Evans M. L., Cohen J. D. 1991. Red light-regulated growth: I. changes in the abundance of indoleacetic acid and a 22-kilodalton auxin-binding protein in the maize mesocotyl. Plant Physiol 97(1):352–358. <https://doi.org/10.1104/pp.97.1.352>
- Khajeh H. M., Lomholt A., Matthews S. 2009. Mean germination time in the laboratory estimates the relative vigour and field performance of commercial seed lots the maize (*Zea mays* L.) Seed Sci. Technol 37:446-456.
- Klein M., Harmond J. 1971. Seed moisture: A harvest timing index for maximum yields. Trans. ASAE, 14:124–126.

- Kraehmer H. 2019. Grasses: Crops, Competitors, and Ornamentals, First Edition. ©John Wiley & Sons Ltd.
- Lee M. H., Kim J. K., Kim S. S., Park S. T. 2002. Status of dry-seeding technologies for rice in Korea. In: Pandey S, Mortimer M, Wade L, Tuong TP, Lopez K, Hardy B (eds) Direct seeding: Research strategies and opportunities. International Rice Research Institute Press, Philippines, pp 161–176
- Lee H. S., Kang J. W., Chung N. J., Choi K. S., Ahn S. N. 2012. Identification of molecular markers for mesocotyl elongation in weedy rice. *Kor J Breed Sci* 44:238–244
- Lee H. S., Sasaki K., Kang J. W., Sato T., Song W. Y., Ahn S. N. 2017. Mesocotyl elongation is essential for seedling emergence under deepseeding condition in rice. *Rice*. 10:32. <https://doi.org/10.1186/s12284-017-0173-2>
- León R.C de. 1986. Centro de capacitación y desarrollo de tecnología de semillas. Cebú 12: 30-39. Loch DS (1980) Selection of environment and cropping system for tropical grass seed production. *Trop. Grassl.* 14: 159-168.
- Limami A. M., Rouillon C., Glevarec G., Gallais A., Hirel B. 2002. Genetic and physiological analysis of germination efficiency in maize in relation to nitrogen metabolism reveals the importance of cytosolic glutamine synthetase. *Plant Physiol.* 130:1860-1870.
- López C. C., Richards R. A., Farquar G. D., Williamson R. E. 1996. Seed and seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Science.* 36:1257-1266.
- Maiti R. K., Carrillo G. M. de J. 1989. Effect of planting depth on seedling emergence and vigor in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Seed Sci. Technol.* 17(1):83-90.
- Marshall V. M., Lewis M. M., Ostendorf B. 2012. Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) as an invader and threat to biodiversity in arid environments: A review. *J. Arid Environ.* 78: 1-12.
- Markelz N. H., Costich D. E., Brutnell T. P. 2003. Photomorphogenic responses in maize seedling development. *Plant Physiol.* 133:1578–91.
- Martínez C. P., Carabali S., Duque M. C., Silva J. 2002. Progreso genético para calidad de grano de arroz (*Oryza sativa*) mediante selección recurrente. In: Mejoramiento poblacional, una alternativa para explorar los recursos genéticos del arroz en América Latina. Guimaraes E.P. (Ed.) Centro Internacional de Agricultura Trop. Cali, Colombia. pp. 296-317.
- Maniou F., Chorianopoulou S. N., Bouranis D. L. 2014. New insights into trophic aerenchyma formation strategy in maize (*Zea mays* L.) organs during sulfate deprivation. *Front Plant Sci.* 5:581.
- Matías C. 1994. Determinación del momento óptimo de cosecha en semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. *Pastos Forrajes* 17: 123-129.

- McKing W., Wilson B. J. 2006. Differentiation between native and exotic plant species from a dry grassland: fundamental responses to resource availability, and growth rates. *Austral Ecol.* 31:996- 1004.
- Mgonja M. A., Ladeinde T. A. O., Aken'Ova M. E. 1993. Genetic analysis of mesocotyl length and its relationship with other agronomic characters in rice (*Oryza sativa* L.). *Euphytica* 72:189–195. <https://doi.org/10.1007/BF00034157>
- Morales N.C.R., Enríquez Q.J.F., Villanueva A.J.F., Herrera C. F., Quero C. A.R., Becerra B. J., Sánchez G.R.A. y Jurado G.P. 2012. Manual para el Establecimiento y Manejo de Semilleros de Especies Forrajeras en México. INIFAP – CIRPAC. Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Folleto Técnico Núm. 21. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México. 75 p.
- Morales N. C.R., Corrales L. R., Álvarez H. A., Villarreal G. F., Santellano E. E. 2017. Caracterización de poblaciones de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*) de México para seleccionar genotipos con potencial para producción de semillas. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 40 (3): 309 - 316
- Moreno G. B., García M. E., Rascón C. Q., Aguado S. G. A. 2012. Crecimiento y establecimiento de plántulas de *Bouteloua gracilis* (Kunth) Lag. ex Griffiths y *Eragrostis curvula* var. *Conferta* Stapf bajo un régimen simulado de lluvia. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(4), 299-308.
- Mullen R.E. 2003. *Crop Science, Principles and Practice*. 4a ed. Iowa State University. Ames, IO, EEUU. 352 pp.
- Najda, H; Lopetinsky, K. y Bjorge, M. 2005. *Harvesting Grass Seed*. Alberta Agriculture. Agdex 127/150-1.
- Naylor, R. E. 1980. Effects of seed size and emergence time on subsequent growth of perennial rye grass. *New Phytologist*. 84:313-318.
- Numata M. 1992. The degradation of grassland ecosystems and their recovery. Pages 75–84 in M. K. Wali, editor. *Ecosystem rehabilitation. Volume 2. Ecosystem analysis and synthesis*. Academic Publishing. The Hague, The Netherlands.
- Pérez A., Matías C., González Y., Alonso O. 1997. Tecnologías para la producción de semillas de gramíneas y leguminosas tropicales. *Pastos Forrajes* 20: 21-44.
- Pérez de la Cerda F. J. Córdova T. L., Santacruz V. A., Castillo G. F., Cárdenas S. E., Delgado A. A. 2007. Relación entre vigor inicial, rendimiento y sus componentes en poblaciones de maíz chalqueño. *Agricultura técnica en México*, 33(1), 5-16.
- Pérez M. C. 2018. Conservación de semillas de algodón nativo (*Gossypium* spp.): Análisis físico, fisiológico y bioquímico. Tesis para optar al Grado Doctora en Ciencias. Colegio de Postgraduados.
- Quero C.A.R., Hernández G.F.J., Pérez R.P., Pool D., Landa S.P. y Nieto A.R. 2017. Germinación y emergencia diaria de cariósides y diásporas de pastos nativos e

- introducidos. *Revista Fitotecnia Mexicana*. Vol. 40 (1): 35 – 44.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2017.1.35-44>
- Quero C. A. R., Enríquez Quiroz J. F. 2013. Manejo de la producción de semilla en especies forrajeras: experiencias en México. In: *Manejo de Pastos y Forrajes Tropicales*. Cuadernos Científicos Girarz13. Perozo Bravo A. (ed). Fundación Girarz. Astro Data S.A. (Ed.) Maracaibo, Venezuela. pp: 143-154
- Quero C. A. R., Miranda J. L., Hernández G. F. J., Rubio A. F. A. 2014. Mejora del establecimiento de praderas de temporal. Folleto Técnico. Colegio de Postgraduados. doi.10.131402.1.5101.2161. 31 p.
- Quero C. A. R., Hernández G. F. J., Pérez R. P., Hernández L. A., García S. G., Landa S. P., Ramírez S. S. E. 2017. Germinación de cariósides clasificados por tamaño y diásporas de cuatro pastos para temporal semiárido. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 489-502.
- Quero C. A. R., Hernández G. F. J., Velázquez M. M., Gámez V. H.G., Landa S. P., Aguilar L.P. 2016. Métodos de establecimiento de pasturas en zonas áridas de México utilizando semillas crudas o cariósides. *Forrajes Trop*. 4: 29-37.
- Quero C. A. R., Hernández G. F. J., Pérez R. P., Hernández L. A., García S. G., Landa S. P., Ramírez S. S. E. 2017. Germinación de cariósides clasificados por tamaño y diásporas de cuatro pastos para temporal semiárido. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 489-502.
- Radford B. J., Henzell R. G. 1990. Temperature affects the mesocotyl and coleoptile length of grain sorghum genotypes. *Aust J Agric Res* 41:79–87.
<https://doi.org/10.1071/AR9900079>
- Raja, H., Bean E. 1979. Seed development and seed shedding in North Italian ecotypes of *Lolium multiflorum*. *Grass and Forage Science*. 34: 221-227.
- Redoña E.D., Mackill D. J. 1996. Genetic variation for seedling vigor traits in rice. *Crop Sci*. 36:285–90
- Ries R. E., Svejcar T. J. 1991. The grass seedling: when is it established? *Journal of Range Management* 44: 574–576.
- Rivas P.F., Ortega R.L., Castillo J.H. 2000. Establecimiento del Pasto Insurgente en Suelo Litosol. XXXVI Reunión Nacional de Investigación Pecuaria “Sonora 2000”. Hermosillo, México. 61 pp.
- Ruiz M., Pérez M., Arguello J., Babinee F. 2003. Madurez fisiológica de la semilla *Bromus auleticus* Trin. (cebadilla chaqueña). *RIA* 32: 3-20, INTA. Argentina.
- Sánchez R. G. 1976. Producción de semillas de gramíneas y leguminosas tropicales en Ajuchitán, Guerrero. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México.

- SAS, Statistical Analysis System. 2013. SAS version 9.4. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Senra A. 2007. Reflexiones con relación a factores decisivos en la sostenibilidad y eficiencia de la ganadería en Latinoamérica. Rev. Avances de Investigación Agropecuaria. 11 (1):15.
- Steiner, J. J., S. M. Griffith, G. W. Mueller-Warrant, G. W. Whittaker, G. M. Banowetz and L. F. Elliott. 2006. Conservation practices in western Oregon perennial grass seed systems: I. Impacts of direct seeding and maximal residue management on production. Agron. J. 98:177-186.
- Stritzler N.P., Petruzzi J.H., González H., Castro M., Ruiz M. 2005. Determinación de fecha óptima de cosecha de *Eragrostis superba* cv. Palar. XIX Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). Tampico, México. pp. 421-423.
- Silva L. M., Miranda J. L., Quero C. A. R., Luna G. M. J., Cadena R. N. 2022. Manejo de cosecha en semilla de *Bouteloua curtipendula* NdeM-303. In: Memorias del XII Congreso Internacional de Manejo de Pastizales. Zacatecas, Zacatecas. In press. (aceptado). 5p.
- Smith S. E., Facelli E., Pope S., Smith F. A. 2010. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas. Plant Soil 326:3-20.
- Stür W. W., Humphreys L. R. 1985. Burning, cutting, and the structure of seed yield in *Brachiaria decumbens*. Proc. Int. I Cong., Kyoto. p. 323
- Tácuna R., Aguirre L., Flores E. 2015. Influencia de la revegetación con especies nativas y la incorporación de materia orgánica en la recuperación de pastizales degradados. Ecología Aplicada. Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú. Pp. 191 – 200.
- Taiz L., Zeiger E., Møller I. M., Murphy A. 2015. Plant Physiology and Development, 6e. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Takahashi N. 1976. Adaptive behaviors of rice plants with reference to environmental responses of rice ecotypes. Biol Sci (Tokyo) 28:79–88 (in Japanese).
- Takahashi N. 1978. Adaptive importance of mesocotyl and coleoptile growth in rice under different moisture regimes. Aust J Plant Physiol. 5:511–7.
- Terao H., Inouye J. 1980. Effect of low water potential of the culture medium on mesocotyl elongation of rice seedlings. Plant Cell Physiol 21(8):1661–1666
- Tian X., Knapp A. D., Moore K. J., Brummer E. C., Bailey T. B. 2002. Cupule removal and caryopsis scarification improves germination of eastern gamagrass seed. Crop Sci. 42:185-189.

- Tian X. J., Tao H. Z., Luo J., Zhang X. D., Tao F. Q. 2009. Physiological effect of heat stress on pea (*Pisum sativum*) hypocotyls. *Acta Botanica Yunnanica* 31:363–368. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1143.2009.09017>
- Troyer A. F. 1997. The location of genes governing long first internode of corn. *Genetics*. 145:1149–54.
- Turner F. T., Chen C. C., Bollich C. N. 1982. Coleoptile and mesocotyl lengths in semi-dwarf rice seedlings. *Crop Sci* 22:43–46. <https://doi.org/10.2135/cropsci1982.0011183X002200010010x>
- Valadez R. A. 2020. En Zacatecas prevén caída hasta de 40% en cosecha de frijol, por sequía. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/2020/10/18/estados/022n1est> (Cons. 10/02/2022)
- Vanderhoef L. N., Briggs W. R. 1978. Red light-inhibited mesocotyl elongation in maize seedlings: I. the auxin hypothesis. *Plant Physiol* 61:534–537. <https://doi.org/10.1104/pp.61.4.534>
- Vieito E., Cordovi E., González P.J., Funes F., Fernández J.L., Fonseca E. 2001. Fertilización nitrogenada y momento de cosecha de semilla en *Brachiaria humidicola* Stapf. *Pastos Forrajes* 24: 229-234.
- Vilela A.R. 1983. Épocas de colheita, produção e qualidade de sementes de capim gordura. *Rev. Bras. Sem.* 5(2): 9-22.
- White J.G.H. 1990. Herbage seed production. En Langer RHH (Ed.) *Pastures; their Ecology and Management*. Oxford University Press. pp. 370-408.
- Zhang G. H., Lin J. R., Wu M. G., Cao L. Y., Cheng S. H. 2005. Analysis on germinating dynamic source of rice (*Oryza sativa*). *Chinese J Rice Sci* 19:59–62. <https://doi.org/10.1360/aps040074>
- Zhang H. W., Ma P., Zhao Z. N., Zhao G. W., Tian B. H., Wang J. H. 2012. Mapping QTL controlling maize deep-seeding tolerance-related traits and confirmation of a major QTL for mesocotyl length. *Theor Appl Genet.* 124:223–32.
- Zhan J., Lu X., Liu H., Zhao Q., Ye G. 2020. Mesocotyl elongation, an essential trait for dry-seeded rice (*Oryza sativa* L.): a review of physiological and genetic basis. *Planta* 251:27 <https://doi.org/10.1007/s00425-019-03322-z>
- Zhongnan N., Norton M. R. 2009. Stress tolerance and persistence of perennial grasses: the role of the summer dormancy trait in temperate Australia. *Crop Sci.* 49:2405-2411.
- Zhou L., Wang J., Yi Q., Wang Y., Zhu Y., Zhang Z. 2006. Quantitative trait loci for seedling vigor in rice under field conditions. *Field Crops Res* 100:294–301. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.08.003>

ANEXOS

Anexo 1.1 Análisis de varianza para largo de Cs en seis variedades de pasto banderita *Bouteloua curtipendula*, clasificadas por tamaño de Cs.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	117.57	11	10.69	257.46	<0.0001
Variedad	60.78	5	12.16	292.81	<0.0001
Tamaño	44.81	1	44.81	1079.40	<0.0001
variedad*tamaño	11.98	5	2.40	57.72	<0.0001
Error	148.96	3588	0.04		
Total	266.53	3599			

Anexo 1.2 Análisis de varianza para ancho de Cs en seis variedades de pasto banderita *Bouteloua curtipendula*, clasificadas por tamaño de Cs.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	17.46	11	1.59	332.89	<0.0001
Variedad	7.85	5	1.57	329.02	<0.0001
Tamaño	6.12	1	6.12	1282.63	<0.0001
variedad*tamaño	3.50	5	0.70	146.80	<0.0001
Error	17.11	3588	4.8E-03		
Total	34.58	3599			

Anexo 1.3 Análisis de varianza para grosor de Cs en seis variedades de pasto banderita *Bouteloua curtipendula*, clasificadas por tamaño de Cs.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	10.55	11	0.96	220.73	<0.0001
Variedad	3.70	5	0.74	170.35	<0.0001
Tamaño	3.11	1	3.11	715.87	<0.0001
variedad*tamaño	3.74	5	0.75	172.09	<0.0001
Error	15.59	3588	4.3E-03		
Total	26.14	3599			

Anexo 1.4 Análisis de varianza para P1000S en seis variedades de pasto banderita *Bouteloua curtipendula*, clasificadas por tamaño de Cs.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	4.4E-03	11	4.0E-04	85.37	<0.0001
Variedad	3.2E-03	5	6.4E-04	136.85	<0.0001
Tamaño	1.0E-03	1	1.0E-03	219.27	<0.0001
variedad*tamaño	1.7E-04	5	3.3E-05	7.11	<0.0001
Error	2.2E-04	48	4.7E-06		
Total	4.6E-03	59			

Anexo 1.5 Análisis de varianza para porcentaje de viabilidad en seis variedades de pasto banderita *Bouteloua curtipendula*, clasificadas por tamaño de Cs.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	1473.22	11	133.93	7.26	<0.0001
Variedad	1072.56	5	214.51	11.63	<0.0001
Tamaño	169.00	1	169.00	9.16	0.0058
variedad*tamaño	231.67	5	46.33	2.51	0.0577
Error	442.67	24	18.44		
Total	1915.89	35			

Anexo 1.6 Análisis de varianza para porcentaje de germinación total (normales y anormales) en seis variedades de pasto banderita *Bouteloua curtipendula*, clasificadas por tamaño de Cs.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	2264.89	11	205.90	4.84	0.0006
Variedad	1654.22	5	330.84	7.77	0.0002
Tamaño	36.00	1	36.00	0.85	0.3669
variedad*tamaño	574.67	5	114.93	2.70	0.0450
Error	1021.33	24	42.56		
Total	3286.22	35			

Anexo 1.7 Análisis de varianza para elongación de mesocótilo en seis variedades de pasto banderita *Bouteloua curtipendula*, clasificadas por tamaño de Cs y del día 5 al 25 día después de emergencia.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	27112.32	59	459.53	39.97	<0.0001
Variedad	8967.00	5	1793.40	155.99	<0.0001
Tamaño	6.03	1	6.03	0.52	0.4692
Dde	3368.55	4	842.14	73.25	<0.0001
variedad*tamaño	2618.79	5	523.76	45.56	<0.0001
variedad*dde	9336.86	20	466.84	40.61	<0.0001
Tam*dde	434.69	4	108.67	9.45	<0.0001
variedad*tamaño*dde	2380.39	20	119.02	10.35	<0.0001
Error	20004.86	1740	11.50		
Total	47117.17	1799			

Anexo 1.8 Análisis de varianza para elongación de coleótilo en seis variedades de pasto banderita *Bouteloua curtipendula*, clasificadas por tamaño de Cs y del día 5 al 25 día después de emergencia.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	2630.40	59	44.58	27.56	<0.0001
Variedad	1174.46	5	234.89	145.22	<0.0001
Tamaño	12.55	1	12.55	7.76	0.0054
Dde	282.72	4	70.68	43.70	<0.0001
variedad*tamaño	169.80	5	33.96	21.00	<0.0001
variedad*dde	842.01	20	42.10	26.03	<0.0001
Tam*dde	14.73	4	3.68	2.28	0.0589
variedad*tamaño*dde	134.13	20	6.71	4.15	<0.0001
Error	2814.44	1740	1.62		
Total	5444.84	1799			

Anexo 1.9 Análisis de varianza para elongación de hoja en seis variedades de pasto banderita *Bouteloua curtipendula*, clasificadas por tamaño de Cs y del día 5 al 25 día después de emergencia.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	473214.53	59	8020.59	113.30	<0.0001
Variedad	38983.10	5	7796.62	110.14	<0.0001
Tamaño	22955.63	1	22955.63	324.28	<0.0001
Dde	361531.53	4	90382.88	1276.79	<0.0001
variedad*tamaño	477.27	5	95.45	1.35	0.2409
variedad*dde	22264.96	20	1113.25	15.73	<0.0001
Tam*dde	3107.17	4	776.79	10.97	<0.0001
variedad*tamaño*dde	23894.87	20	1194.74	16.88	<0.0001
Error	186883.01	2640	70.79		
Total	660097.54	2699			

Anexo 1.10 Análisis de varianza para elongación de raíz en seis variedades de pasto banderita *Bouteloua curtipendula*, clasificadas por tamaño de Cs y del día 5 al 25 día después de emergencia.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	358868.75	59	6082.52	56.38	<0.0001
Variedad	63715.75	5	12743.15	118.12	<0.0001
Tamaño	16131.11	1	16131.11	149.52	<0.0001
Dde	238206.45	4	59551.61	552.00	<0.0001
variedad*tamaño	6255.60	5	1251.12	11.60	<0.0001
variedad*dde	16150.85	20	807.54	7.49	<0.0001
Tam*dde	3086.93	4	771.73	7.15	<0.0001
variedad*tamaño*dde	15322.06	20	766.10	7.10	<0.0001
Error	284811.46	2640	107.88		
Total	643680.21	2699			

Anexo 1.11 Análisis de varianza para peso seco de hoja en seis variedades de pasto banderita *Bouteloua curtipendula*, clasificadas por tamaño de Cs y del día 5 al 25 día después de emergencia.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	0.04	59	6.9E-04	92.29	<0.0001
Variedad	0.01	5	1.1E-03	142.52	<0.0001
Tamaño	1.7E-04	1	1.7E-04	22.89	<0.0001
Dde	0.03	4	0.01	1023.27	<0.0001
variedad*tamaño	1.1E-03	5	2.2E-04	29.29	<0.0001
variedad*dde	2.5E-03	20	1.2E-04	16.66	<0.0001
tamaño*dde	1.3E-04	4	3.2E-05	4.29	0.0028
variedad*tamaño*dde	8.9E-04	20	4.5E-05	6.00	<0.0001
Error	8.9E-04	120	7.4E-06		
Total	0.04	179			

Anexo 1.12 Análisis de varianza para peso seco de raíz en seis variedades de pasto banderita *Bouteloua curtipendula*, clasificadas por tamaño de Cs y del día 5 al 25 día después de emergencia.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	0.015	59	2.5E-04	52.090	<0.0001
Variedad	0.004	5	0.001	149.917	<0.0001
Tamaño	7.1E-05	1	7.1E-05	14.694	0.0002
Dde	0.009	4	0.002	483.483	<0.0001
variedad*tamaño	3.5E-04	5	7.1E-05	14.644	<0.0001
variedad*dde	0.001	20	3.4E-05	7.065	<0.0001
Tam*dde	8.0E-05	4	2.0E-05	4.162	0.0034
variedad*tamaño*dde	0.001	20	3.5E-05	7.198	<0.0001
Error	0.001	120	4.8E-06		
Total	0.015	179			

Anexo 2.1 Análisis de varianza para Cs viables y vigorosos a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en cariósides de *Setaria macrostachya* Kunth.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	96647.78	71	1361.24	58.25	<0.0001
Corte	176.78	2	88.39	3.78	0.0243
Concentración	3680.44	2	1840.22	78.74	<0.0001
h	86771.33	7	12395.90	530.41	<0.0001
corte*conc	331.56	4	82.89	3.55	0.0079
corte*h	915.67	14	65.40	2.80	0.0007
conc*h	3057.33	14	218.38	9.34	<0.0001
corte*conc*h	1714.67	28	61.24	2.62	0.0007
Error	5048.00	216	23.37		
Total	101695.78	287			

Anexo 2.2 Análisis de varianza para Cs Viables vigor medio a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en cariósides de *Setaria macrostachya* Kunth.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	20025.28	71	282.05	10.16	<0.0001
Corte	2796.44	2	1398.22	50.37	<0.0001
Concentración	2324.78	2	1162.39	41.87	<0.0001
h	7174.61	7	1024.94	36.92	<0.0001
corte*conc	2605.56	4	651.39	23.47	<0.0001
corte*h	720.89	14	51.49	1.85	0.0327
conc*h	3067.22	14	219.09	7.89	<0.0001
corte*conc*h	1335.78	28	47.71	1.72	0.0175
Error	5996.00	216	27.76		
Total	26021.28	287			

Anexo 2.3 Análisis de varianza para Cs no viables a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en cariósides de *Setaria macrostachya* Kunth.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	138627.50	71	1952.50	41.86	<0.0001
Corte	4171.00	2	2085.50	44.71	<0.0001
Concentración	11846.33	2	5923.17	126.98	<0.0001
h	105555.50	7	15079.36		<0.0001
corte*conc	4070.67	4	1017.67		<0.0001
corte*h	1799.67	14	128.55		0.0009
conc*h	6841.67	14	488.69		<0.0001
corte*conc*h	4342.67	28	155.10		<0.0001
Error	10076.00	216	46.65		
Total	148703.50	287			

Anexo 2.4 Análisis de varianza para Cs viables y vigorosos a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en cariósides de Punta Blanca *Digitaria californica* (Benth.) Henrard.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	49969.28	71	703.79	25.87	<0.0001
Corte	926.78	2	463.39	17.03	<0.0001
Concentración	5974.11	2	2987.06	109.80	<0.0001
H	36292.83	7	5184.69	190.59	<0.0001
corte*conc	1822.89	4	455.72	16.75	<0.0001
corte*h	715.00	14	51.07	1.88	0.0301
conc*h	2587.67	14	184.83	6.79	<0.0001
corte*conc*h	1650.00	28	58.93	2.17	<0.0001
Error	5876.00	216	27.20		
Total	55845.28	287			

Anexo 2.5 Análisis de varianza para Cs Viables vigor medio a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en cariósides de Punta Blanca *Digitaria californica* (Benth.) Henrard.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	20018.44	71	281.95	11.08	<0.0001
Corte	3.44	2	1.72	0.07	0.9346
Concentración	1542.11	2	771.06	30.30	<0.0001
H	12502.00	7	1786.00	70.19	<0.0001
corte*conc	382.89	4	95.72	3.76	0.0056
corte*h	1083.67	14	77.40	3.04	0.0003
conc*h	2254.33	14	161.02	6.33	<0.0001
corte*conc*h	2250.00	28	80.36	3.16	<0.0001
Error	5496.00	216	25.44		
Total	25514.44	287			

Anexo 2.6 Análisis de varianza para Cs no viables a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en cariósides de Punta Blanca *Digitaria californica* (Benth.) Henrard.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	16563.94	71	233.29	7.82	<0.0001
Corte	821.44	2	410.72	13.77	<0.0001
Concentración	2695.11	2	1347.56	45.17	<0.0001
h	6961.28	7	994.47	33.33	<0.0001
corte*conc	1177.89	4	294.47	9.87	<0.0001
corte*h	1149.22	14	82.09	2.75	0.0009
conc*h	1731.56	14	123.68	4.15	<0.0001
corte*conc*h	2027.44	28	72.41	2.43	0.0002
Error	6444.00	216	29.83		
Total	23007.94	287			

Anexo 2.7 Análisis de varianza para Cs viables y vigorosos a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en cariósides de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	70321.78	71	990.45	36.99	<0.0001
Corte	17751.44	2	8875.72	331.46	<0.0001
Concentración	6804.78	2	3402.39	127.06	<0.0001
H	1006.22	7	143.75	5.37	<0.0001
corte*conc	19463.56	4	4865.89	181.71	<0.0001
corte*h	12324.11	14	880.29	32.87	<0.0001
conc*h	9372.11	14	669.44	25.00	<0.0001
corte*conc*h	3599.56	28	128.56	4.80	<0.0001
Error	5784.00	216	26.78		
Total	76105.78	287			

Anexo 2.8 Análisis de varianza para Cs Viables vigor medio a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en cariósides de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	15118.61	71	212.94	9.84	<0.0001
Corte	2383.44	2	1191.72	55.05	<0.0001
Concentración	6280.44	2	3140.22	145.06	<0.0001
H	1505.28	7	215.04	9.93	<0.0001
corte*conc	1769.22	4	442.31	20.43	<0.0001
corte*h	1187.22	14	84.80	3.92	<0.0001
conc*h	364.89	14	26.06	1.20	0.2739
corte*conc*h	1628.11	28	58.15	2.69	<0.0001
Error	4676.00	216	21.65		
Total	19794.61	287			

Anexo 2.9 Análisis de varianza para Cs no viables a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en cariósides de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	90979.50	71	1281.40	30.44	<0.0001
Corte	28299.00	2	14149.50	336.15	<0.0001
Concentración	26030.33	2	13015.17	309.20	<0.0001
h	3839.94	7	548.56	13.03	<0.0001
corte*conc	12676.67	4	3169.17	75.29	<0.0001
corte*h	8680.56	14	620.04	14.73	<0.0001
conc*h	7282.56	14	520.18	12.36	<0.0001
corte*conc*h	4170.44	28	148.94	3.54	<0.0001
Error	9092.00	216	42.09		
Total	100071.50	287			

Anexo 2.10 Análisis de varianza para Cs viables y vigorosos a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en cariósides de Gigante *Leptochloa dubia* Kunth.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	79860.44	71	1124.79	39.09	<0.0001
Corte	24325.44	2	12162.72	422.64	<0.0001
Concentración	7141.78	2	3570.89	124.08	<0.0001
H	38964.44	7	5566.35	193.43	<0.0001
corte*conc	1630.22	4	407.56	14.16	<0.0001
corte*h	3029.22	14	216.37	7.52	<0.0001
conc*h	1412.89	14	100.92	3.51	<0.0001
corte*conc*h	3356.44	28	119.87	4.17	<0.0001
Error	6216.00	216	28.78		
Total	86076.44	287			

Anexo 2.11 Análisis de varianza para Cs Viables vigor medio a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en cariósides de Gigante *Leptochloa dubia* Kunth.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	17358.61	71	244.49	8.51	<0.0001
Corte	4621.78	2	2310.89	80.46	<0.0001
Concentración	1399.11	2	699.56	24.36	<0.0001
H	5304.39	7	757.77	26.38	<0.0001
corte*conc	744.22	4	186.06	6.48	0.0001
corte*h	939.11	14	67.08	2.34	0.0051
conc*h	1404.44	14	100.32	3.49	<0.0001
corte*conc*h	2945.56	28	105.20	3.66	<0.0001
Error	6204.00	216	28.72		
Total	23562.61	287			

Anexo 2.12 Análisis de varianza para Cs no viables a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en carióspsides de Gigante *Leptochloa dubia* Kunth.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	41390.61	71	582.97	15.59	<0.0001
Corte	7907.44	2	3953.72	105.75	<0.0001
Concentración	3949.78	2	1974.89	52.82	<0.0001
H	19423.50	7	2774.79	74.21	<0.0001
corte*conc	678.89	4	169.72	4.54	<0.0001
corte*h	2670.33	14	190.74	5.10	<0.0001
conc*h	2377.33	14	169.81	4.54	<0.0001
corte*conc*h	4383.33	28	156.55	4.19	<0.0001
Error	8076.00	216	37.39		
Total	49466.61	287			

Anexo 2.13 Análisis de varianza para Cs viables y vigorosos a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en carióspsides de Buffel *Pennisetum ciliare* (L.) Link (= *Cenchrus ciliaris* L.).

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	148095.50	71	2085.85	87.25	<0.0001
Corte	125032.33	2	62516.17	2614.93	<0.0001
Concentración	449.33	2	224.67	9.40	0.0001
H	11142.61	7	1591.80	66.58	<0.0001
corte*conc	3037.33	4	759.33	31.76	<0.0001
corte*h	6477.89	14	462.71	19.35	<0.0001
conc*h	759.56	14	54.25	2.27	0.0066
corte*conc*h	1196.44	28	42.73	1.79	0.0117
Error	5164.00	216	23.91		
Total	153259.50	287			

Anexo 2.14 Análisis de varianza para Cs Viables vigor medio a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en carióspsides de Buffel *Pennisetum ciliare* (L.) Link (= *Cenchrus ciliaris* L.).

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	29194.61	71	411.19	20.09	<0.0001
Corte	14728.44	2	7364.22	359.88	<0.0001
Concentración	2317.44	2	1158.72	56.63	<0.0001
H	2570.61	7	367.23	17.95	<0.0001
corte*conc	3210.22	4	802.56	39.22	<0.0001
corte*h	3615.56	14	258.25	12.62	<0.0001
conc*h	1431.89	14	102.28	5.00	<0.0001
corte*conc*h	1320.44	28	47.16	2.30	0.0004
Error	4420.00	216	20.46		
Total	33614.61	287			

Anexo 2.15 Análisis de varianza para Cs no viables a diferente concentración de tetrazolio, corte (o no) del eje embrionario y tiempo de imbibición, en carióspsides de Buffel *Pennisetum ciliare* (L.) Link (= *Cenchrus ciliaris* L.).

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	244338.44	71	3441.39	96.89	<0.0001
Corte	224703.44	2	112351.72	3163.19	<0.0001
Concentración	4451.44	2	2225.72	62.66	<0.0001
H	4487.78	7	641.11	18.05	<0.0001
corte*conc	3646.56	4	911.64	25.67	<0.0001
corte*h	1979.22	14	141.37	3.98	<0.0001
conc*h	2716.56	14	194.04	5.46	<0.0001

corce*conc*h	2353.44	28	84.05	2.37	0.0003
Error	7672.00	216	35.52		
Total	252010.44	287			

Anexo 2.16 Análisis de varianza para porcentaje de germinación en cariósido normales de cuatro gramíneas nativas y una exótica de zonas áridas, sometidas a dos pruebas de vigor.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	36526.50	9	4058.50	145.81	<0.0001
Especie	32039.00	4	8009.75	287.78	<0.0001
Enveje	2340.90	1	2340.90	84.10	<0.0001
Especie*Enveje	2146.60	4	536.65	19.28	<0.0001
Error	835.00	30	27.83		
Total	37361.50	39			

Anexo 2.17 Análisis de varianza para porcentaje de germinación en cariósido de anormales cuatro gramíneas nativas y una exótica de zonas áridas, sometidas a dos pruebas de vigor.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3774.40	9	419.38	10.03	<0.0001
Especie	2069.40	4	517.35	12.38	<0.0001
Enveje	518.40	1	518.40	12.40	0.0014
Especie*Enveje	1186.60	4	296.65	7.10	0.0004
Error	1254.00	30	41.80		
Total	5028.40	39			

Anexo 2.18 Análisis de varianza para porcentaje de viabilidad radícula en cariósido de cuatro gramíneas nativas y una exótica de zonas áridas, sometidas a dos pruebas de vigor.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	45636.90	9	5070.77	272.13	<0.0001
Especie	44348.40	4	11087.10	595.01	<0.0001
Enveje	656.10	1	656.10	35.21	<0.0001
Especie*Enveje	632.40	4	158.10	8.48	<0.0001
Error	559.00	30	18.63		
Total	46195.90	39			

Anexo 2.19 Análisis de varianza para longitud de plúmula en cariósido de cuatro gramíneas nativas y una exótica de zonas áridas, sometidas a dos pruebas de vigor.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	65665.25	9	7296.14	208.35	<0.0001
Especie	54284.34	4	13571.08	387.55	<0.0001
Enveje	3032.65	1	3032.65	86.60	<0.0001
Especie*Enveje	8348.26	4	2087.06	59.60	<0.0001
Error	13656.97	390	35.02		
Total	79322.21	399			

Anexo 2.20 Análisis de varianza para longitud de radícula en cariósido de cuatro gramíneas nativas y una exótica de zonas áridas, sometidas a dos pruebas de vigor.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	34973.98	9	3886.00	97.95	<0.0001
Especie	32185.76	4	8046.44	202.82	<0.0001
Enveje	790.26	1	790.26	19.92	<0.0001
Especie*Enveje	1997.96	4	499.49	12.59	<0.0001
Error	15472.37	390	39.67		
Total	50446.34	399			

Anexo 3.1 Porcentaje de viabilidad de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., clasificadas por tamaño de Cs.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	1473.22	11	133.93	7.26	<0.0001
Variedad	1072.56	5	214.51	11.63	<0.0001
Tamaño	169.00	1	169.00	9.16	0.0058
variedad*tamaño	231.67	5	46.33	2.51	0.0577
Error	442.67	24	18.44		
Total	1915.89	35			

Anexo 3.2 Análisis de varianza para porcentaje de germinación total (normales y anormales) en seis variedades de pasto banderita *Bouteloua curtipendula*, clasificadas por tamaño de Cs.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	2264.89	11	205.90	4.84	0.0006
Variedad	1654.22	5	330.84	7.77	0.0002
Tamaño	36.00	1	36.00	0.85	0.3669
variedad*tamaño	574.67	5	114.93	2.70	0.0450
Error	1021.33	24	42.56		
Total	3286.22	35			

Anexo 3.3 Análisis de varianza para elongación de mesocótilo (mm) en plántulas de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., a diferente profundidad de siembra

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	427426.24	255	1676.18	122.72	<0.0001
Var	72827.07	5	14565.41	1066.35	<0.0001
Tam	4.13	1	4.13	0.30	0.5826
Ps	267880.74	4	66970.19	4902.96	<0.0001
Dde	10868.47	5	2173.69	159.14	<0.0001
var*tam	3795.85	5	759.17	55.58	<0.0001
var*ps	25234.90	17	1484.41	108.67	<0.0001
var*dde	22737.55	25	909.50	66.59	<0.0001
tam*ps	738.93	4	184.73	13.52	<0.0001
tam*dde	1150.46	5	230.09	16.85	<0.0001
ps*dde	2638.61	19	138.87	10.17	<0.0001
var*tam*ps	4455.81	18	247.55	18.12	<0.0001
var*tam*dde	2759.56	25	110.38	8.08	<0.0001
var*ps*dde	8726.40	60	145.44	10.65	<0.0001
tam*ps*dde	767.40	15	51.16	3.75	<0.0001
var*tam*ps*dde	2840.35	47	60.43	4.42	<0.0001
Error	71997.31	5271	13.66		
Total	499423.55	5526			

Anexo 3.4 Análisis de varianza para elongación de coleóptilo (mm) en plántulas de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., a diferente profundidad de siembra

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	1986.06	255	7.79	5.63	<0.0001
Var	546.69	5	109.34	79.03	<0.0001
Tam	0.33	1	0.33	0.24	0.6275
Ps	96.90	4	24.23	17.51	<0.0001
Dde	300.13	5	60.03	43.39	<0.0001
var*tam	27.08	5	5.42	3.92	0.0015
var*ps	63.52	17	3.74	2.70	0.0002
var*dde	337.38	25	13.50	9.75	<0.0001
tam*ps	9.80	4	2.45	1.77	0.1317
tam*dde	16.22	5	3.24	2.35	0.0389
ps*dde	87.13	19	4.59	3.31	<0.0001
var*tam*ps	40.44	18	2.25	1.62	0.0460
var*tam*dde	99.11	25	3.96	2.87	<0.0001
var*ps*dde	206.23	60	3.44	2.48	<0.0001
tam*ps*dde	46.32	15	3.09	2.23	0.0041
var*tam*ps*dde	108.79	47	2.31	1.67	0.0028
Error	7292.02	5271	1.38		
Total	9278.08	5526			

Anexo 3.5 Análisis de varianza para longitud de hoja (cm) en plántulas de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., a diferente profundidad de siembra en condiciones de invernadero.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	1468570.48	179	8204.30	2.81	<0.0001
Var	171141.14	5	34228.23	11.72	<0.0001
Tam	31663.61	1	31663.61	10.84	0.0010
Ps	2849.06	2	1424.53	0.49	0.6141
Dde	721886.59	4	180471.65	61.78	<0.0001
var*tam	24804.72	5	4960.94	1.70	0.1313
var*ps	18871.70	10	1887.17	0.65	0.7751
var*dde	119626.85	20	5981.34	2.05	0.0039
tam*ps	2856.67	2	1428.33	0.49	0.6133
tam*dde	28847.09	4	7211.77	2.47	0.0427
ps*dde	13277.05	8	1659.63	0.57	0.8048
var*tam*ps	16155.32	10	1615.53	0.55	0.8529
var*tam*dde	134490.47	20	6724.52	2.30	0.0008
var*ps*dde	60270.94	40	1506.77	0.52	0.9951
tam*ps*dde	13741.24	8	1717.66	0.59	0.7886
var*tam*ps*dde	63204.12	40	1580.10	0.54	0.9920
Error	14955443.37	5120	2920.99		
Total	16424013.86	5299			

Anexo 3.6 Análisis de varianza para longitud de raíz (cm) en plántulas de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., a diferente profundidad de siembra en condiciones de invernadero.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	766251.59	179	4280.74	42.27	<0.0001
Var	71662.58	5	14332.52	141.53	<0.0001
Tam	50238.12	1	50238.12	496.10	<0.0001
Ps	8428.91	2	4214.45	41.62	<0.0001
Dde	447073.93	4	111768.48	1103.72	<0.0001
var*tam	35357.14	5	7071.43	69.83	<0.0001
var*ps	9862.01	10	986.20	9.74	<0.0001
var*dde	47488.53	20	2374.43	23.45	<0.0001
tam*ps	7492.99	2	3746.49	37.00	<0.0001
tam*dde	10090.21	4	2522.55	24.91	<0.0001
ps*dde	1134.43	8	141.80	1.40	0.1908
var*tam*ps	12265.09	10	1226.51	12.11	<0.0001
var*tam*dde	29028.77	20	1451.44	14.33	<0.0001
var*ps*dde	4512.55	40	112.81	1.11	0.2868
tam*ps*dde	1370.06	8	171.26	1.69	0.0952
var*tam*ps*dde	4654.00	40	116.35	1.15	0.2401
Error	518478.65	5120	101.27		
Total	1284730.23	5299			

Anexo 3.7 Análisis de varianza para área foliar (cm²) en plántulas de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) a diferente profundidad de siembra en condiciones de invernadero.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	117.47	179	0.66	37.64	<0.0001
Var	8.63	5	1.73	99.06	<0.0001
Tam	5.49	1	5.49	315.07	<0.0001
Ps	12.52	2	6.26	359.23	<0.0001
Dde	69.65	4	17.41	998.78	<0.0001
var*tam	0.49	5	0.10	5.64	<0.0001
var*ps	2.05	10	0.21	11.77	<0.0001
var*dde	2.42	20	0.12	6.95	<0.0001
tam*ps	1.08	2	0.54	31.01	<0.0001
tam*dde	0.59	4	0.15	8.40	<0.0001
ps*dde	2.67	8	0.33	19.11	<0.0001
var*tam*ps	1.92	10	0.19	11.03	<0.0001
var*tam*dde	3.19	20	0.16	9.14	<0.0001
var*ps*dde	2.44	40	0.06	3.49	<0.0001
tam*ps*dde	1.67	8	0.21	11.94	<0.0001
var*tam*ps*dde	2.66	40	0.07	3.82	<0.0001
Error	25.10	1440	0.02		
Total	142.57	1619			

Anexo 3.8 Análisis de varianza para área radicular (cm²) en plántulas de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) a diferente profundidad de siembra en condiciones de invernadero

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	28.85	179	0.16	26.59	<0.0001
Var	2.56	5	0.51	84.41	<0.0001
Tam	1.82	1	1.82	300.69	<0.0001
Ps	4.72	2	2.36	389.72	<0.0001
Dde	12.45	4	3.11	513.49	<0.0001
var*tam	0.31	5	0.06	10.23	<0.0001
var*ps	0.61	10	0.06	10.10	<0.0001
var*dde	1.48	20	0.07	12.18	<0.0001
tam*ps	0.31	2	0.16	25.99	<0.0001
tam*dde	0.66	4	0.17	27.28	<0.0001
ps*dde	0.16	8	0.02	3.21	0.0013
var*tam*ps	0.92	10	0.02	15.11	<0.0001
var*tam*dde	0.69	20	0.03	5.69	<0.0001
var*ps*dde	0.62	40	0.02	2.57	<0.0001
tam*ps*dde	0.27	8	0.03	5.60	<0.0001
var*tam*ps*dde	1.27	40	0.03	5.23	<0.0001
Error	8.73	1440	0.01		
Total	37.57	1619			

Anexo 3.9 Análisis de varianza para biomasa total (mg MS) de cinco plántulas de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., a diferentes profundidades de siembra, en condiciones de invernadero.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	2.90	323	0.01	5.13	<0.0001
Var	0.14	5	0.03	15.74	<0.0001
Tam	3.6E-04	1	3.6E-04	0.21	0.6486
Ps	0.05	2	0.03	15.10	<0.0001
Dde	1.55	8	0.19	111.10	<0.0001
var*tam	0.06	5	0.01	6.32	<0.0001
var*ps	0.03	10	2.9E-03	1.67	0.0851
var*dde	0.22	40	0.01	3.14	<0.0001
tam*ps	0.01	2	2.5E-03	1.46	0.2341
tam*dde	0.02	8	2.6E-03	1.47	0.1650
ps*dde	0.05	16	3.4E-03	1.96	0.0137
var*tam*ps	0.02	10	2.4E-03	1.39	0.1795
var*tam*dde	0.19	40	4.8E-03	2.77	<0.0001
var*ps*dde	0.24	80	3.0E-03	1.70	0.0003
tam*ps*dde	0.06	16	4.0E-03	2.29	0.0029
var*tam*ps*dde	0.25	80	3.1E-03	1.79	0.0001
Error	1.13	648	1.7E-03		
Total	4.03	971			

Anexo 3.10 Análisis de varianza para biomasa de hoja (mg MS) de cinco plántulas de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., a diferentes profundidades de siembra, en condiciones de invernadero.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	1.81	323	0.01	3.32	<0.0001
Var	0.07	5	0.01	7.79	<0.0001
Tam	2.5E-05	1	2.5E-05	0.01	0.9029
Ps	0.02	2	0.01	5.65	0.0037
Dde	0.72	8	0.09	53.67	<0.0001
var*tam	0.04	5	0.01	5.16	0.0001
var*ps	0.02	10	2.1E-03	1.24	0.2648
var*dde	0.16	40	4.0E-03	2.40	<0.0001
tam*ps	4.5E-03	2	2.3E-03	1.35	0.2595
tam*dde	0.02	8	2.9E-03	1.75	0.0843
ps*dde	0.05	16	3.0E-03	1.79	0.0284
var*tam*ps	0.02	10	2.2E-03	1.31	0.2200
var*tam*dde	0.13	40	3.3E-03	1.98	0.0004
var*ps*dde	0.24	80	3.0E-03	1.79	0.0001
tam*ps*dde	0.06	16	3.5E-03	2.06	0.0085
var*tam*ps*dde	0.25	80	3.1E-03	1.82	<0.0001
Error	1.09	648	1.7E-03		
Total	2.90	971			

Anexo 3.11 Análisis de varianza para biomasa raíz (mg MS), de cinco plántulas de seis variedades de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., a diferentes profundidades de siembra, en condiciones de invernadero.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	0.26	323	8.1E-04	9.00	<0.0001
Var	0.01	5	2.8E-03	31.43	<0.0001
Tam	5.9E-04	1	5.9E-04	6.53	0.0108
Ps	0.01	2	4.8E-03	53.14	<0.0001
Dde	0.16	8	0.02	229.36	<0.0001
var*tam	0.01	5	1.5E-03	16.53	<0.0001
var*ps	4.0E-03	10	4.0E-04	4.48	<0.0001
var*dde	0.02	40	4.3E-04	4.80	<0.0001
tam*ps	5.8E-05	2	2.9E-05	0.32	0.7231
tam*dde	1.4E-03	8	1.7E-04	1.89	0.0584
ps*dde	1.8E-03	16	1.1E-04	1.27	0.2073
var*tam*ps	1.4E-03	10	1.4E-04	1.58	0.1083
var*tam*dde	0.02	40	5.2E-04	5.74	<0.0001
var*ps*dde	0.01	80	1.2E-04	1.28	0.0585
tam*ps*dde	1.4E-03	16	8.5E-05	0.94	0.5206
var*tam*ps*dde	0.01	80	9.2E-05	1.02	0.4323
Error	0.06	648	9.0E-05		
Total	0.32	971			

Anexo 4.1 Análisis de varianza para diámetro de corona (cm) de acuerdo a distintos tipos de marcadores morfológicos en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	99378.50	8	12422.31	3.66	0.0052
Marcador morfológico	99378.50	8	12422.31	3.66	0.0052
Error	91594.25	27	3392.38		
Total	190972.75	35			

Anexo 4.2 Análisis de varianza para densidad de tallos de acuerdo a distintos tipos de marcadores morfológicos en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	119364.22	8	14920.53	2.99	0.0155
Marcador morfológico	119364.22	8	14920.53	2.99	0.0155
Error	134730.75	27	4990.03		
Total	254094.97	35			

Anexo 4.3 Análisis de varianza para longitud de la inflorescencia (cm) de acuerdo a distintos tipos de marcadores morfológicos en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	140.83	8	17.60	1.90	0.1022
Marcador morfológico	140.83	8	17.60	1.90	0.1022
Error	250.57	27	9.28		
Total	391.40	35			

Anexo 4.4 Análisis de varianza para porcentaje de viabilidad para CsCh de acuerdo a distintos tipos de marcadores morfológicos en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	5629.00	7	804.14	29.35	<0.0001
Tallo	5308.20	3	1769.40	64.58	<0.0001
Espiguilla	320.80	4	80.20	2.93	0.0326
tallo*espiguilla	0.00	0	0.00	sd	Sd
Error	1096.00	40	27.40		
Total	6725.00	47			

Anexo 4.5 Análisis de varianza para porcentaje de viabilidad para CsG de acuerdo a distintos tipos de marcadores morfológicos en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	2404.44	7	343.49	13.27	<0.0001
Tallo	1812.53	3	604.18	23.34	<0.0001
Espiguilla	591.91	4	147.98	5.72	0.0010
tallo*espiguilla	0.00	0	0.00	sd	sd
Error	1035.56	40	25.89		
Total	3440.00	47			

Anexo 4.6 Análisis de varianza para porcentaje de germinación para para CsCh de acuerdo a distintos tipos de marcadores morfológicos en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	7809.44	7	1115.63	41.80	<0.0001
Tallo	7465.00	3	2488.33	93.23	<0.0001
Espiguilla	344.44	4	86.11	3.23	0.0219
tallo*espiguilla	0.00	0	0.00	sd	sd
Error	1067.56	40	26.69		
Total	8877.00	47			

Anexo 4.7 Análisis de varianza para porcentaje de germinación para para CsG de acuerdo a distintos tipos de marcadores morfológicos en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	1986.78	7	283.83	6.71	<.0001
Tallo	1649.00	3	549.67	12.99	<.0001
Espiguilla	337.78	4	84.44	2.00	0.0326
tallo*espiguilla	0.00	0	0.00	sd	sd
Error	1692.89	40	42.32		
Total	3679.67	47			

Anexo 4.8 Análisis de varianza para peso (g) de espiguillas en semilla colectada a partir del día 20 después de antesis hasta el día 34.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	14	0.73309831	0.05236417	1368.40	<.0001
Error	30	0.00114800	0.00003827		
Total	44	0.73424631			

Anexo 4.9 Análisis de varianza para peso (g) de cariósides chicas en semilla colectada a partir del día 20 después de antesis hasta el día 34.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	14	0.00847947	0.00060568	59.12	<.0001
Error	30	0.00030733	0.00001024		
Total	44	0.00878680			

Anexo 4.10 Análisis de varianza para peso (g) de cariósides grandes en semilla colectada a partir del día 20 después de antesis hasta el día 34.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	14	0.00757578	0.00054113	442.74	<.0001
Error	30	0.00003667	0.00000122		
Total	44	0.00761244			

Anexo 4.11 Análisis de varianza para porcentajes de viabilidad en CsCh en semilla colectada a partir del día 20 después de antesis hasta el día 34.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	14	5946.311111	424.736508	16.59	<.0001
Error	30	768.000000	25.600000		
Total	44	6714.311111			

Anexo 4.12 Análisis de varianza para porcentajes de viabilidad en CsG en semilla colectada a partir del día 20 después de antesis hasta el día 34.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	14	2569.244444	183.517460	8.19	<.0001
Error	30	672.000000	22.400000		
Total	44	3241.244444			

Anexo 4.13 Análisis de varianza para porcentajes de germinación en CsCh en semilla colectada a partir del día 20 después de antesis hasta el día 34.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	14	7076.977778	505.498413	21.54	<.0001
Error	30	704.000000	23.466667		
Total	44	7780.977778			

Anexo 4.14 Análisis de varianza para porcentajes de germinación en CsG en semilla colectada a partir del día 20 después de antesis hasta el día 34.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	14	2524.444444	180.317460	5.34	<.0001
Error	30	1013.333333	33.777778		
Total	44	3537.777778			

Anexo 4.15 Análisis de varianza para porcentaje de Cs enteros obtenidos por dos distintos métodos de limpieza.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	1	2056.36	2056.36	146.51	<.0001
Error	8	112.29	14.04		
Total	9	2168.64			

Anexo 4.16 Análisis de varianza para porcentaje de Cs rotos obtenidos por dos distintos métodos de limpieza.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	1	1814.409000	1814.409000	108.61	<.0001
Error	8	133.640000	1814.409000		
Total	9	1948.049000			

Anexo 4.17 Análisis de varianza para porcentaje de Cs con daño en embrión obtenidos por dos distintos métodos de limpieza.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	1	7172.273172	7172.273172	218.15	<.0001
Error	8	263.025894	32.878237		
Total	9	7435.299067			

Anexo 4.18 Análisis de varianza para porcentaje de Cs con daño en endospermo obtenidos por dos distintos métodos de limpieza.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	1	7172.273172	7172.273172	218.15	<.0001
Error	8	263.025894	32.878237		
Total	9	7435.299067			

Anexo 4.19 Análisis de varianza para número de coronas por m² en parcelas de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con diferentes números de corte.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	2.550	0.850	1.10	0.3792
Error	16	12.400	0.775		
Total	19	14.950			

Anexo 4.20 Análisis de varianza para área promedio por corona en parcelas de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con diferentes números de corte.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	89918.1962	29972.7321	12.72	<.0001
Error	196	461756.5988	2355.9010		
Total	199	551674.7950			

Anexo 4.21 Análisis de varianza para número de tallos totales en parcelas de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con diferentes números de corte.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	28156.20000	9385.4000	1.62	0.2249
Error	16	92884.0000	5805.2500		
Total	19	121040.2000			

Anexo 4.22 Análisis de varianza para número de tallos vegetativos en parcelas de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con diferentes números de corte.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	10430.55000	3476.85000	2.79	0.0743
Error	16	19952.40000	1247.02500		
Total	19	30382.95000			

Anexo 4.23 Análisis de varianza para número de tallos florales en parcelas de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con diferentes números de corte.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	3347.40000	1115.80000	0.54	0.6590
Error	16	32801.60000	2050.10000		
Total	19	36149.00000			

Anexo 4.24 Análisis de varianza para número de tallos en embuche en parcelas de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con diferentes números de corte.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	1152.150000	384.050000	1.02	0.4111
Error	16	6041.600000	377.600000		
Total	19	7193.750000			

Anexo 4.25 Análisis de varianza para gramos de espiguilla/m² en parcelas de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., con diferentes números de corte.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	83549.7088	27849.9029	0.57	0.6459
Error	16	788596.7405	49287.2963		
Total	19	872146.4493			

Anexo 4.26 Análisis de varianza para rendimiento de semillas en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., número de ramillas por unidad de tallo floral.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	0.21996539	0.07332180	8.76	<.0001
Error	96	0.80309480	0.00836557		
Total	96	1.02306019			

Anexo 4.27 Análisis de varianza para rendimiento en gramos de espiguilla de semillas en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., por número de ramillas por unidad de tallo floral en la sección basal del pedúnculo floral.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	82.910000	27.636667	1.93	0.1297
Error	96	1373.680000	14.309167		
Total	99	1456.590000			

Anexo 4.28 Análisis de varianza para rendimiento en gramos de espiguilla de semillas en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., por número de ramillas por unidad de tallo floral en la sección central del pedúnculo floral.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	1.36087819	0.45362606	127.79	<.0001
Error	96	0.34076720	0.00354966		
Total	99	1.70164539			

Anexo 4.29 Análisis de varianza para rendimiento en gramos de espiguilla de semillas en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., por número de ramillas por unidad de tallo floral en la sección apical del pedúnculo floral.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	3634.76000	1211.58667	15.76	<.0001
Error	96	7380.24000	76.87750		
Total	99	11015.00000			

Anexo 4.30 Análisis de varianza para rendimiento en gramos de espiguilla de semillas en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., por número de ramillas por unidad de tallo floral.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	3634.59000	1211.53000	15.73	<.0001
Error	96	7393.60000	77.01667		
Total	99	11028.19000			

Anexo 4.31 Análisis de varianza para rendimiento en gramos de Cs de semillas en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., por número de ramillas por unidad de tallo floral.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	0.00599803	0.00199934	124.47	<.0001
Error	96	0.00154208	0.00001606		
Total	99	0.00754011			

Anexo 4.32 Análisis de varianza para rendimiento en gramos de CsG de semillas en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., por número de ramillas por unidad de tallo floral.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	0.00151107	0.00050369	119.03	<.0001
Error	96	0.00040624	0.00000423		
Total	99	0.00191731			

Anexo 4.33 Análisis de varianza para rendimiento en gramos de CsCh de semillas en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., por número de ramillas por unidad de tallo floral.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	0.00045283	0.00015094	132.02	<.0001
Error	96	0.00010976	0.00000114		
Total	99	0.00056259			

Anexo 4.34 Análisis de varianza para rendimiento de semillas en espiguilla *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., en sección basal del pedúnculo floral.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	0.00151651	0.00050550	8.68	<.0001
Error	96	0.00559320	0.00005826		
Total	99	0.00710971			

Anexo 4.35 Análisis de varianza para rendimiento de semillas en espiguilla *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., en sección central del pedúnculo floral.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	0.00026120	0.00008707	7.81	0.0001
Error	96	0.00107080	0.00001115		
Total	99	0.00133200			

Anexo 4.36 Análisis de varianza para rendimiento de semillas en espiguilla *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., en sección apical del pedúnculo floral.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	0.00005635	0.00001878	8.19	<.0001
Error	96	0.00022024	0.00000229		
Total	99	0.00027659			

Anexo 4.37 Análisis de varianza para rendimiento de semillas en Cs de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., en sección basal del pedúnculo floral.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	125.0000000	41.6666667	Infin	<.0001
Error	96	0.0000000	0.0000000		
Total	99	125.0000000			

Anexo 4.38 Análisis de varianza para rendimiento de semillas en Cs de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., en sección central del pedúnculo floral.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	55.6300000	18.5433333	7.16	0.0002
Error	96	248.4800000	2.5883333		
Total	99	304.1100000			

Anexo 4.39 Análisis de varianza para rendimiento de semillas en Cs de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., en sección apical del pedúnculo floral.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	140.040000	46.680000	3.02	0.0336
Error	96	1484.800000	15.466667		
Total	99	1624.840000			

Anexo 4.40 Análisis de varianza para P1000S de espiguillas de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., provenientes de parcelas con diferentes números de corte.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	1.92360280	0.64120093	189.40	<.0001
Error	56	0.18958520	0.00338545		
Total	59	2.11318800			

Anexo 4.41 Análisis de varianza para P1000S de CsG de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., provenientes de parcelas con diferentes números de corte.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	0.01265658	0.00421886	66.96	<.0001
Error	56	0.00352840	0.00006301		
Total	59	0.01618498			

Anexo 4.42 Análisis de varianza para P1000S de CsCh de *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., provenientes de parcelas con diferentes números de corte.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	0.00417607	0.00139202	17.79	<.0001
Error	56	0.00438267	0.00007826		
Total	59	0.00855873			

Anexo 4.43 Análisis de varianza para porcentaje de viabilidad en CsCh en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., provenientes de parcelas con diferentes números de corte.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	248.2666667	82.7555556	7.36	0.0003
Error	56	629.3333333	11.2380952		
Total	59	877.6000000			

Anexo 4.44 Análisis de varianza para porcentaje de viabilidad en CsG en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., provenientes de parcelas con diferentes números de corte.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	91.7333333	30.5777778	2.13	0.1068
Error	56	804.2666667	14.3619048		
Total	59	896.0000000			

Anexo 4.45 Análisis de varianza para porcentaje de germinación en CsCh en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., provenientes de parcelas con diferentes números de corte.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	1073.866667	357.955556	40.33	<.0001
Error	56	497.066667	8.876190		
Total	59	1570.933333			

Anexo 4.46 Análisis de varianza para porcentaje de germinación en CsG en *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr., provenientes de parcelas con diferentes números de corte.

FV	SC	GL	CM	F	p- valor
Modelo	3	257.0666667	85.6888889	7.26	0.0003
Error	56	661.3333333	11.8095238		
Total	59	918.4000000			