



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

**MÉTODOS DE ESCARIFICACIÓN Y PRUEBA DE
ENVEJECIMIENTO ACELERADO EN SEMILLAS DE *Brachiaria*
brizantha CV. INSURGENTE**

HERNÁNDEZ FLORES EDGAR

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2010

La presente tesis, titulada: **Métodos de escarificación y prueba de envejecimiento acelerado en semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente**, realizada por el alumno: **Hernández Flores Edgar**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

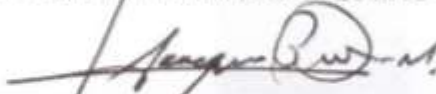
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. ADRIAN RAYMUNDO QUERO CARRILLO

DIRECTOR DE TESIS



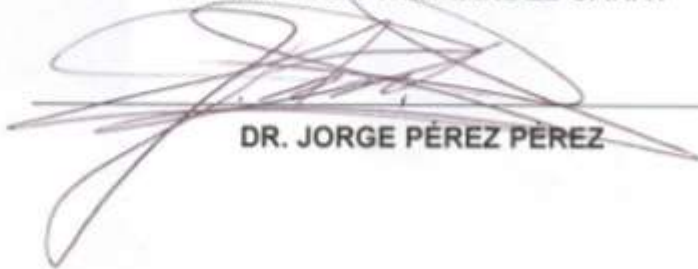
DR. BERTIN MAURILIO JOAQUÍN TORRES

ASESOR



DR. ALFONSO HERNÁNDEZ GARAY

ASESOR



DR. JORGE PÉREZ PÉREZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, 15 de Abril de 2010.

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo de México, que mediante el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) han financiado parte de mi formación profesional.

Al Colegio de Postgraduados por darme la invaluable oportunidad de realizar mis estudios de maestría y en especial, a los profesores de forrajes de la Especialidad en Ganadería del Instituto de Recursos Genéticos y Productividad (IREGEP).

Especial agradecimiento al Dr. Alfonso Hernández Garay, a quien agradezco su confianza, dedicación y respaldo durante mi formación profesional.

Sincero agradecimiento a mi consejero, el Dr. Adrián Raymundo Quero Carrillo, a quien agradezco su paciencia, humildad y su total voluntad en graduar a un profesionista preparado para beneficio de la ganadería de nuestro país.

Mérito especial al Dr. Bertín Maurilio Joaquín Torres, por ser parte fundamental en la realización del presente trabajo de investigación. Su participación y dirección; sin duda merecen, mi más sincero agradecimiento.

Al Dr. Jorge Pérez Pérez, agradezco su voluntad para sumarse y dedicar parte de su valioso tiempo en la culminación del proyecto emprendido.

Al personal y maestros del área a de semillas, en especial al Dr. Adrián Livera, por su valioso apoyo y sabios consejos en la realización de los diferentes experimentos.

DEDICATORIA

A Díos por haberme regalado la vida y una gran familia

A mis padres: Esteban Hernández Córdova e Isabel Flores Correa, a quienes expreso mi gratitud y mi agradecimiento.

A mis hermanos: Omar, Benjamín y Melitón, con todo mi aprecio, admiración y respeto a estos tres grandes amigos.

A mi esposa: Laura Flores Aguilar, con todo mi amor y cariño.

A mis hijos: Bryan Oswaldo Hernández Flores y Abril Hernández Flores, ellos son mi razón de vivir,... mi todo.

“El presente trabajo de investigación tiene especial dedicatoria a todos los hombres y mujeres que día a día entregan su tiempo, esfuerzo y conocimiento en beneficio de los productores agropecuarios, buscando siempre tener un México Mejor”.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Origen y características botánicas de <i>Brachiaria brizantha</i>	4
2.2. Características agronómicas de <i>Brachiaria brizantha</i>	5
2.3. Características zootécnicas de <i>Brachiaria brizantha</i>	7
2.4. Importancia de la calidad de la semilla	7
2.4.1. Calidad física	8
2.4.2. Calidad fisiológica	9
2.4.3. Calidad genética.....	9
2.4.4. Calidad sanitaria.....	10
2.5. Factores que afectan la calidad de la semilla.....	11
2.5.1. Edad de la semilla.....	11
2.5.2. Tamaño de la semilla	11
2.5.3. Condiciones de almacenamiento	12
2.5.4. Manejo del cultivo	13
2.5.5. Dormancia de la semilla.....	13
2.5.6. Tipos de dormancia en semillas	15
2.6. Tratamientos de escarificación para romper dormancia.....	16
2.6.1. Escarificación mecánica	17
2.6.2. Escarificación química.....	17
2.7. Calidad fisiológica de la semilla	19
2.7.1. Germinación.....	19
2.7.2. Viabilidad	20
2.7.3. Vigor	21
2.7.4. Prueba de envejecimiento acelerado	23
2.8. Conclusiones de la revisión de literatura	25
III. EVALUACION DE METODOS DE ESCARIFICACION PARA ROMPER DORMANCIA EN SEMILLA DE <i>Brachiaria brizantha</i> CV. INSURGENTE.....	28
RESUMEN	28
ABSTRACT	29
3.1. INTRODUCCION	30

3.1.1. Objetivo.....	32
3.1.2. Hipotesis.....	32
3.2. MATERIALES Y METODOS	32
3.2.1. Localización del área experimental.....	32
3.2.2. Material genético utilizado	32
3.2.3. Tratamientos y diseño experimental	33
3.2.4. Desarrollo del experimento.....	34
3.2.5. Variables evaluadas	35
3.2.6. Análisis estadístico	35
3.3. RESULTADOS Y DISCUSION	35
3.3.1. Efecto del método de escarificación en la germinación de la semilla a los 4, 5 y 6 meses.	35
3.3.2. Efecto del método de escarificación en la germinación de la semilla a 2, 3, 4, 5 y 6 meses	37
3.4. CONCLUSIONES	41
3.5. RECOMENDACIONES	41
IV. PRUEBA DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO PARA EVALUAR EL VIGOR EN SEMILLAS DE PASTO <i>Brachiaria brizantha</i> CV. INSURGENTE	42
RESUMEN	42
ABSTRACT	43
4.1.- INTRODUCCION	44
4.1.1. Objetivo.....	46
4.1.2. Hipótesis.....	46
4.2. MATERIALES Y METODOS	46
4.2.1. Localización del área experimental.....	46
4.2.2. Material genético empleado	47
4.2.3. Tratamientos y diseño experimental	47
4.2.4. Desarrollo del experimento.....	48
4.2.5. Variables evaluadas	48
4.2.6. Análisis estadístico	49
4.3. RESULTADOS Y DISCUSION	49
4.3.1. Efecto de la temperatura.....	49
4.3.2. Efecto del periodo de envejecimiento.....	51
4.3.3. Efecto de la interacción temperatura x periodo.....	53
4.4. CONCLUSIONES	57
4.5. RECOMENDACIONES	57
V. CONCLUSIÓN GENERAL	58
VI. LITERATURA CITADA	59

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Calidad física y fisiológica inicial de dos lotes de semilla de <i>Brachiaria brizantha</i> CV. Insurgente, utilizados en los tratamientos de escarificación para romper dormancia	33
Cuadro 2. Tratamientos de escarificación evaluados en semilla de <i>Brachiaria brizantha</i> CV. Insurgente	34
Cuadro 3. Evaluación de tratamientos de escarificación sobre el porcentaje de germinación de semilla de <i>Brachiaria brizantha</i> CV. Insurgente, a diferentes meses de almacenamiento. Lote 1	36
Cuadro 4. Evaluación de tratamientos de escarificación sobre el porcentaje de germinación de semilla de <i>Brachiaria brizantha</i> CV. Insurgente, a diferentes meses de almacenamiento. Lote 2.	37
Cuadro 5. Calidad física y fisiológica inicial de dos lotes de semilla de <i>Brachiaria brizantha</i> CV. Insurgente, utilizados en los tratamientos de envejecimiento acelerado	50
Cuadro 6. Porcentaje de germinación de dos lotes semilla de <i>Brachiaria brizantha</i> CV. Insurgente, a diferentes niveles de temperatura	50
Cuadro 7. Porcentaje de germinación de dos lotes semilla de <i>Brachiaria brizantha</i> CV. Insurgente, a diferentes periodos de envejecimiento acelerado	52
Cuadro 8. Porcentaje de germinación de dos lotes de semilla de <i>Brachiaria brizantha</i> CV. Insurgente a diferentes niveles de temperatura y periodos de envejecimiento acelerado	54

Métodos de escarificación y prueba de envejecimiento acelerado en semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente

RESUMEN

Se realizaron dos experimentos, utilizando dos lotes de semilla cosechados en septiembre (lote 1) y diciembre (lote 2) del 2007 en el Campo Experimental de la Universidad del Papaloapan, Loma Bonita, Oaxaca y se les realizaron dos experimentos

EXPERIMENTO 1

Evaluación de métodos de escarificación para romper dormancia en semilla de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente

El objetivo fue evaluar métodos de escarificación para mejorar la germinación de las semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente. Los tratamientos evaluados fueron: T1=control; T2=remoción de glumas, lema y palea del cariósido; T3=inmersión de cariósidos en ácido giberélico (AG₃) a 300 ppm por cinco minutos; T4=inmersión de cariósidos en AG₃ a 400 ppm por cinco minutos; T5=inmersión de espiguillas en ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado por diez minutos; T6=inmersión de espiguillas en H₂SO₄ concentrado por cinco minutos + inmersión en AG₃ a 300 ppm por cinco minutos; y T7=inmersión de espiguillas en H₂SO₄ concentrado por cinco minutos + inmersión en AG₃ a 400 ppm por cinco minutos. Se utilizó un diseño de completamente al azar, con cuatro repeticiones de 100 semillas por tratamiento. Se evaluó el porcentaje de germinación de la semilla a 4, 5 y 6 meses (lote 1) y 2, 3, 4, 5 y 6 meses (lote 2) de haber sido cosechada, mediante una prueba de germinación estándar. Se encontraron diferencias entre tratamientos ($P<0.01$) para ambos lotes de semilla, donde los mayores valores de germinación, se obtuvieron con los tratamientos T4, T3 y T2. Se concluye que todos los tratamientos de escarificación evaluados incrementaron la germinación de las semillas de pasto Insurgente, en comparación con el control, y los mejores tratamientos fueron la inmersión del cariósido en solución de AG₃ a 300 y 400 ppm durante cinco minutos, así como la remoción de estructuras que envuelven al cariósido.

EXPERIMENTO 2

Prueba de envejecimiento acelerado para evaluar el vigor en semilla de pasto *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente

El objetivo fue evaluar la prueba de envejecimiento acelerado en la determinación del vigor de semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente. Las semillas se sometieron a seis temperaturas (40, 41, 42, 43, 44 y 45 °C) y siete periodos (24, 36, 48, 60, 72, 84 y 96 h) de envejecimiento acelerado y 100 % de humedad relativa. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de tratamientos, con cuatro repeticiones. El vigor de la semilla varió entre niveles de temperatura ($P < 0.001$). Para el lote 1 el mayor valor de germinación (28.9 %) se obtuvo a 40 °C, valor que fue similar ($P > 0.05$) al obtenido a 41 °C (24.7 %), pero diferente y superior a los demás niveles ($P < 0.05$). Un comportamiento similar al anterior se observó para el lote 2, donde el valor más altos de germinación (50.1 %), se obtuvo a 40 °C. El periodo de envejecimiento tuvo efecto en el vigor de la semilla ($P < 0.001$). Para el lote 1, el valor mayor de germinación (40.6 %) se obtuvo a 48 h, valor que fue similar ($P > 0.05$) al obtenido a 36 h (34.7 %), pero diferente y superior a los obtenidos en los demás periodos; mientras que para el lote 2, el valor mayor (63 %) se obtuvo a 60 h. La interacción fue significativa para ambos lotes de semilla ($P < 0.001$); en el lote 1, la mayor germinación se presentó a 40 °C/48 h y 40 °C/60 h, con valores de 46 y 47 %, respectivamente; mientras que para el lote 2, el mayor valor (69.2 %) se obtuvo a 40 °C/60 h. Se concluye que la prueba de envejecimiento acelerado detectó diferencias entre lotes de semilla de *B. brizantha* cv. Insurgente, y la combinación 40 °C/48 h y 40 °C /60 h de envejecimiento acelerado fueron los tratamientos más efectivos para evaluar el vigor de lotes de semillas de calidad inferior y superior, respectivamente.

PALABRAS CLAVE: *Brachiaria brizantha*, Pasto insurgente, Tratamientos de escarificación, Dormancia, Germinación, Vigor, Prueba de envejecimiento acelerado.

ABSTRACT

Two experiments were realized, making use of two seed lots according to their harvesting date: September 2007 (stock 1) and December 2007 (stock 2). Evaluated seed was produced at the University of Papaloapan's Experimental Station, located at Loma Bonita city, Oaxaca, México.

EXPERIMENT 1

Evaluation of scarification methods to break dormancy of *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente seed

This study was developed in order to evaluate different scarification methods to improve *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente seed germination. Scarification treatments included: T1= placebo; T2= lemma, palea and glume elimination; T3= whole spikelet immersion in Giberellic acid during five minutes (AG₃, 300ppm); seed immersion in Giberellic acid during five minutes (AG₃, 400ppm); whole spikelets immersion in concentrated sulfuric acid (H₂SO₄), during ten minutes; T6= whole spikelets immersion in concentrated sulfuric acid (H₂SO₄), during five minutes + immersion in Giberellic acid during five minutes (AG₃, 300ppm); and T7= whole spikelets immersion in concentrated sulfuric acid (H₂SO₄) during five minutes + immersion in Giberellic acid during five minutes (AG₃, 400ppm). Data was analyzed using a completely randomized design with four replications of 100 seeds per treatment. Germination percentage was evaluated for seed with four, five and six months to harvest date (stock 1) and two, three, four, five, and six months to harvest date (stock 2), using a standard germination test. Germination differences among treatments were detected ($P < 0.01$) for both seed stocks and the higher germination values were obtained for T4, T3 and T2, respectively. All scarification procedures increased seed germination for Insurgente grass with respect to the placebo. Best germination occurred using AG₃ to 300 and 400 ppm concentrations during five minutes, as well as accessory spikelet parts removing.

EXPERIMENT 2

Seed aging test to evaluate vigor of *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente seed

In order to evaluate seed vigour for *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente, seed aging procedures were evaluated for two seed lots with different starting values of both physical and physiological qualities and harvesting dates (September 28, lot 1; december 21st, lot 2) during the year 2007. Seed lots were treated using six different temperature regimes: 40, 41, 42, 43, 44 y 45 °Celsius during each of seven time periods of time: 24, 36, 48, 60, 72, 84 y 96 h as accelerated aging times and a humidity of 100 %. Data was analysed through a Complete Random Design under a factorial arrangement and four repetitions. Seed vigour levels showed differences among temperature levels ($P < 0.001$). Seed lot 1 showed the higher germination percentage (28.9%) with 40°C, similar ($P > 0.05$) to the observed for 41°C (24.7%), but different and superior to the rest of treatments ($P < 0.05$). A similar behavior was observed for seed lot 2, showing a germination value of 50.1% at 40°C. The aging period had an effect on seed vigour ($P < 0.001$). Seed lot one showed a 40.6% germination value at 48h, similar value ($P > 0.05$) to the 36h treatment (34.7%), but different and superior to all remaining periods. However, for seed lot 2, the highest value (63%) was achieved for the 60h period. Significant interaction for both seed lots ($P < 0.001$); for seed lot 1, highest germination values were observed at 40 °C/60 h showing values of 46% and 47%, respectively; by the other hand, seed lot 2, showed the highest germination value (69.2%) for 40°C during 60h. The accelerated aging seed test evaluated showed germination percentages differences between seed lots for *B. brizantha* cv. Insurgente seed, and the combination 40 °C/48h as well as 40°C/60h as vigour test, were the most effective treatments for testing seed vigour and differentiate seed quality within this species.

KEY WORDS: *Brachiaria brizantha*, Insurgente grass, Seed Scarification, Seed Dormancy, Seed Germination, Seed vigour, Accelerated aging test.

I. INTRODUCCIÓN

El análisis de la calidad de las semillas minimiza los riesgos inherentes al utilizarlas. En la actualidad es necesario realizar controles de calidad por medio de métodos útiles y confiables para determinar las principales características de una semilla de alta calidad; tales como pureza, germinación, vigor y sanidad.

El pasto *Brachiaria brizantha* es una especie originaria de África tropical. En México fue introducida con el nombre de Insurgente, demostrando una serie de características agronómicas deseables, que la ubican como una de las especies forrajeras que mayores contribuciones e impacto ha tenido en la productividad de la ganadería extensiva del trópico mexicano (Peralta, 1990). Sin embargo, la semilla de *B. brizantha* presenta dormancia (Meschede *et al.*, 2004), siendo ésta, la causa principal del poco éxito obtenido en el establecimiento de las praderas. Para solucionar este problema es necesario el uso de tratamientos de escarificación (García y Cícero, 1992).

La dormancia es el estado en el cual, las semillas a pesar de tener las condiciones normales del medio ambiente para su germinación, no lo hacen, debido a mecanismos físicos y fisiológicos de la semilla (Copeland y McDonald, 1992). Esta característica es el factor más importante que afecta la germinación de las semillas del género *Brachiaria*, y en consecuencia, limita el buen establecimiento de las praderas.

Las causas principales de la latencia en semillas de gramíneas son la presencia de embriones inmaduros (Hopkinson *et al.*, 1998), impermeabilidad de la cubierta de la semilla al agua y gases, requerimientos especiales de temperatura y luz, presencia de inhibidores y restricciones mecánicas del embrión para el crecimiento y desarrollo o exersión y extensión de la radícula en la germinación. Sin embargo, la dormancia de las semillas se elimina de manera natural con el almacenamiento entre tres a ocho meses (Enríquez y Quero, 2006), dependiendo de las condiciones climáticas del lugar donde se almacenan. De ahí que, si la semilla de esta especie, se utiliza para el establecimiento de praderas, inmediatamente después de la cosecha, es posible que

tenga baja o nula germinación, y por tanto, se fracase en el establecimiento de la pradera. Sin embargo, esta limitante de las semillas, se puede mejorar de manera artificial mediante el empleo de métodos de escarificación previos a la siembra (García y Cícero, 1992).

La germinación es la prueba más común y aceptada para evaluar la calidad fisiológica de las semillas; sin embargo, no es la más adecuada para garantizar el establecimiento de la semilla en el campo, por lo que se han sugerido otras pruebas adicionales, tal es el caso del vigor de la semilla (Delouche y Caldwell, 1962). En consecuencia, las pruebas de vigor constituyen una herramienta cada vez más utilizada en la determinación de la calidad fisiológica de los lotes de semillas. De ahí que empresas comerciales e instituciones oficiales de semillas han incluido éstas pruebas en sus programas internos de control de calidad para garantizar la calidad de las semillas destinadas a comercialización.

Se ha señalado que la calidad fisiológica de la semilla está relacionada directamente con la capacidad que tiene para emerger bajo condiciones de campo. Por tanto, es importante utilizar semillas de alta calidad fisiológica para asegurar una emergencia satisfactoria de plántulas vigorosas (Bhering *et al.*, 2003). Al respecto, la prueba de germinación es el procedimiento más ampliamente usado y aceptado para evaluar la calidad fisiológica de un lote de semillas. Sin embargo, debido a que esta prueba se realiza bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y sustrato, en la práctica, no es la más adecuada para garantizar el establecimiento de la semilla en el campo, donde las condiciones no siempre son favorables (Copeland y McDonald, 2001), por lo que se han sugerido otras pruebas adicionales, tal es el caso del vigor de la semilla (Delouche y Caldwell, 1962).

El objetivo principal de la prueba de vigor es diferenciar aquellos lotes que a pesar de tener una viabilidad similar, presentan distinta capacidad para germinar y emerger. Por tanto, aquellos lotes que presentan mayor vigor, tendrán mayor tolerancia a condiciones adversas que los de menor vigor (Carambula, 1984). A diferencia de la

prueba de germinación estándar, una prueba de vigor provee información adicional que permite diferenciar lotes de semilla (ISTA, 2005). De ahí que las pruebas de vigor constituyen una herramienta actualmente utilizadas en la determinación de la calidad fisiológica de los lotes de semilla.

Existen varias pruebas para evaluar el vigor de lotes de semilla, tales como la prueba de frío, conductibilidad eléctrica, primer conteo en prueba de germinación, velocidad de crecimiento y la prueba de envejecimiento acelerado. Sin embargo, la prueba de envejecimiento acelerado es considerada como una de las más eficientes para la evaluar el vigor de semillas, dentro de las disponibles en la actualidad (Bittencourt y Vieira, 2006).

Derivado de lo antes señalado, el presente trabajo de investigación pretendió estudiar el efecto de diversos métodos de escarificación sobre la germinación de semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente y evaluar la prueba de envejecimiento acelerado, con la finalidad de determinar la temperatura y periodo de envejecimiento óptimo para medir el vigor de las mismas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen y características botánicas de *Brachiaria brizantha*

Brachiaria brizantha es una gramínea perenne que pertenece a la Familia Poaceae y tribu Paniceae. Originaria de África tropical y se encuentra distribuida en regiones con precipitaciones superiores a los 800 mm año⁻¹ (Cuesta y Pérez, 1987). Forma macollos gruesos que pueden alcanzar hasta 2 metros de altura, posee hojas erectas lanceoladas de hasta 50 cm de longitud, levemente pilosas de color verde intenso y provistas de tricomas blancos (Papalotla, 2002; Enríquez y Quero, 2006). Se caracteriza por presentar tallo herbáceo postrado en la base, nudos prominentes y glabros; presenta rizomas cortos y abundantes. Florece todos los años, presenta flor hermafrodita o masculina con 1 a 3 estambres, la inflorescencia es una panícula de 40 cm de longitud con cuatro a seis racimos equidistantes a lo largo del eje de 10 a 20 cm de largo, cada uno con 55 a 70 espiguillas alternas (INIFAP, 1989; Papalotla, 2002). Es una especie apomíctica y tetraploide ($2n=36$). Necesita de días largos para florecer, realizando esta acción reproductiva durante la época de lluvias (agosto–septiembre), produciendo la semilla en los meses de septiembre y octubre (Enríquez y Quero, 2006).

B. brizantha cv. Insurgente, se originó del cultivar IRI-822 originario de Zimbawe de la Grassland Research Station en Marondera e introducido a la región de Ibirarema en Sau Paulo, Brasil con el número BRA-0000591 y liberado por EMBRAPA con el nombre de Marandú. Esta registrado en el CIAT con el número de accesión 6294. En México fue distribuido por la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT), evaluado y liberado por el INIFAP en 1989, con el nombre de Insurgente. Loch y Ferguson (1999) señalan que a *B. brizantha* cv. Insurgente se le conoce con varios nombres. En México se le conoce como Insurgente, en Colombia como pasto La Libertad, en Cuba como Brizantha, en Venezuela como Gigante y en Costa Rica como Diamantes 1.

2.2. Características agronómicas de *Brachiaria brizantha*

La especie *B. brizantha*, crece bien en regiones tropicales, desde el nivel del mar hasta los 1800 m de altitud. Se desarrolla bien en diferentes tipos de suelos, desde arenosos hasta arcillosos, de baja fertilidad, con buen drenaje y tolera bien las sequías prolongadas (Gutiérrez *et al.*, 1990). Se adapta bien en suelos de mediana y alta fertilidad, responde bien a la aplicación de fertilizantes. Tolerancia suelos con pH bajo y con ligera toxicidad por aluminio. Para un mejor éxito se requieren precipitaciones superiores a los 700 mm por año y alturas entre los 0 y 1800 msnm (Papalotla, 2002). Para su establecimiento se recomiendan de 6 a 10 kg de semilla por hectárea, dependiendo de su valor cultural y de las condiciones del terreno; se recomienda una profundidad de siembra de 2 cm (Papalotla, 2002). La época de siembra es durante la estación lluviosa, al voleo o en surcos separados a 60 cm. Se recomienda una separación entre plantas de 30 cm. Germina de los 4 a 20 días (Papalotla, 2002a). La utilización de *B. brizantha* como forraje para corte o pastoreo puede realizarse a los tres meses después de la siembra y cuando el pasto se encuentre establecido y cubriendo la totalidad de la superficie del suelo. En pastoreo soporta una carga animal de 2 a 3 UA por año.

Botrel *et al.* (1990), al evaluar el efecto de la aplicación de tres dosis de N (0, 75 y 150 kg ha⁻¹) sobre el contenido de proteína cruda (PC) en la época lluviosa en cinco accesiones de *Brachiaria*, encontraron promedios de 7.6, 10.6 y 13.4 % de PC, respectivamente, para cada dosis de N. En otro estudio, Cuadrado *et al.* (2000) determinaron que el porcentaje de proteína en época seca fue de 9.2 % para *B. decumbens* (Chontalpo), 8.2 % en *B. brizantha* 26110 y 9.3 % en *B. brizantha* (Insurgente). Asimismo, Navarro y Vásquez (1997), evaluando en *B. brizantha* el efecto de diferentes dosis de nitrógeno (0, 37.5, 75, 112.5 y 150 kg de N ha⁻¹) sobre el contenido de PC, encontraron que la proteína aumentó a medida que se incrementó la dosis de nitrógeno (6.6, 7.2, 9.9, 8.5 y 9.3 %, respectivamente). La misma tendencia se observó sobre la cantidad de MS producida (0.82, 1.33, 2.12, 2.61 y 3.04 t MS ha⁻¹) por efecto de las dosis de nitrógeno señaladas.

B. brizantha se considera una gramínea de alta producción de forraje con buena calidad durante todo el año, ideal para heno y ensilaje y excelente palatabilidad y digestibilidad. Es resistente a mosca pinta o salvazo. Buena capacidad de carga, de 2 a 3 animales por hectárea. Produce 50 ton ha⁻¹ año⁻¹ de materia verde y de 15-20 ton de MS (Papalotla, 2002a).

La producción de forraje del género *Brachiaria* es variable y depende de la especie, del suelo, precipitación y manejo. Estudios realizados en el trópico húmedo de México durante la época de lluvias, indican que *B. brizantha* incrementa la producción de materia seca al aumentar la edad de corte, obteniendo 739 y 8,876 kg de MS ha⁻¹ a la tercera y doceava semana, respectivamente. En diferentes regiones de México, para tres 3 accesiones de *B. brizantha* se encontró un rendimiento promedio anual de 1,370 y de 4,840 kg de MS para la época de mínima y máxima precipitación, respectivamente (CIAT, 2002). Ibrahim (1994), reporta en *B. brizantha* una producción de forraje de 22.5 ton ha⁻¹ año⁻¹ en asociación con leguminosas en la zona húmeda de Costa Rica. De acuerdo con Enríquez y Romero (2002), *B. brizantha* alcanza una altura de 21 y 85 cm en la época de sequía y lluvias, respectivamente. Estos mismo autores señalaron que *B. brizantha* superó en altura a *B. decumbens* (34 vs 16 cm) y a *B. humidicola* (31 vs 16 cm) en las dos épocas mencionadas.

En *B. brizantha* se reportan rendimientos de semilla total y semilla pura de 135 y 42 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente (Azcorra y Lara del Río, 2003). En Brasil, para esta misma especie, se reportan rendimientos comerciales de semilla pura de 1,000 kg por hectárea, recolectando la semilla del suelo. Mientras que en Iguala, Gro., bajo el método de cosecha manual de tallos, produjo un rendimiento promedio de 78 kg de semilla pura por hectárea (Peralta, 1990). En Isla, Ver., los ecotipos 16549 y 6387 de *B. brizantha* presentaron rendimientos de semilla de 139 y 151 kg ha⁻¹, respectivamente (Enríquez *et al.*, 2005).

La semilla cosechada es fértil y presenta latencia que se pierde durante el periodo de almacenamiento de tres a ocho meses o por medio de tratamientos de escarificación

con ácido sulfúrico u otras sustancias escarificantes (Enríquez y Quero, 2006). La semilla de *B. brizantha* y *B. decumbens* mejoran sus porcentajes de germinación, si se recolectan directamente del suelo, en comparación con la cosecha directa de la espiga (Filho, 1998). El género *Brachiaria* presenta bajos rendimientos de semilla llena, lo que representa una limitante para su uso. Tiene el problema de caída de sus semillas y la presencia de embriones inmaduros (Hopkinson *et al.*, 1998).

2.3. Características zootécnicas de *Brachiaria brizantha*

Los niveles de proteína cruda en *Brachiaria*, varía entre especies y edad de rebrote, alcanzándose los máximos valores cuando las plantas están más tiernas, disminuyendo conforme madura la planta. En *B. brizantha* cv. Insurgente, se reporta 4.5 % de proteína en tallos y 7.1 % en hojas; mientras que para *B. brizantha* cv. Toledo, 3.8 % en tallos y 5.8 % en hojas (CIAT, 2001).

B. brizantha tiene alta digestibilidad de la materia seca, alta proteína cruda y alta relación hoja:tallo. Al estudiar el efecto del corte a 3 y 6 semanas en pasto Insurgente se encontraron valores de digestibilidad entre 57 y 60 % (INIFAP, 1989; Villareal, 1994). En asociación con leguminosas se reporta una DIVMS entre 63.8 y 64.4 %, dependiendo de la leguminosa con la cual se asocie, con un contenido de proteína cruda entre 11 y 13 % (Ibrahim, 1994). Por ser *B. brizantha* de porte erecto, se puede asociar con soya (*Glycine* sp.), Kudzú (*Pueraria phaseoloides*), *Centrosema pubescens* y *Stylosanthes guianensis* (Vallejos, 1988). Se ha señalado que *B. Brizantha* más suplementación con bloques nutricionales, permite GDP de 0.751 kg, cargas animales de 3.1 UA ha⁻¹ y una productividad animal de 848 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Domínguez, 2000; Uribe, 2000).

2.4. Importancia de la calidad de la semilla

La calidad en semillas de gramíneas se refiere al grado de pureza de una muestra y a la viabilidad de las mismas. La pureza indica la cantidad de semilla pura que hay en una muestra (una semilla pura es una espiguilla con cariósido). La viabilidad muestra

si la semilla está viva. La calidad de las semillas en plantas forrajeras tropicales está sujeta a numerosas variables que pueden afectar desde el porcentaje de germinación hasta la presencia de enfermedades producidas por hongos y bacterias (Osechas, 2007).

La calidad de la semilla representa un factor indiscutible en el establecimiento de praderas. De acuerdo con Benítez (1975), para evaluar la calidad de la semilla, se determina la pureza física, germinación y latencia. Existen diversos factores que determinan la calidad de la semilla. Estos son: la contaminación en el campo con el polen de variedades afines, las condiciones bióticas durante la precosecha, la forma de cosecha, el secado de las semillas, la forma de efectuar el acondicionamiento, las condiciones del almacenamiento, la edad de la semilla, la uniformidad del lote de las semillas y la selección del suelo para la siembra (Delouche, 1971).

2.4.1. Calidad física

La pureza física es una característica que refleja la composición física de un lote de semillas. Este análisis permite determinar la cantidad de semilla pura, semillas de otras especies y materiales inertes, generalmente presentes en una muestra (Papalotla, 2002). En las semillas de plantas forrajeras las impurezas más comunes son las semillas vacías o vanas (Papalotla, 2002). Boonman (1979), señala que el rendimiento de semilla de pastos se debe expresar en semilla pura y no como semilla cruda o bruta, ya que un alto rendimiento de semilla bruta puede ser bajo por la falta de pureza.

De acuerdo con Remy *et al.* (1983), para alcanzar un buen establecimiento en campo, es determinante que la semilla presente el más alto nivel de pureza y de germinación. El análisis de pureza se realiza para determinar distintos componentes que constituyen una determinada muestra y, por consiguiente, el análisis de pureza refleja la composición física de un lote de semilla. Para ello se separa la muestra en los siguientes componentes: semilla pura, semilla de otras plantas cultivadas, semilla de

maleza y materia inerte. La pureza física refleja no solo el grado de limpieza del cultivo, sino también el grado de eficiencia del procesamiento (Carambula, 1984; ISTA, 2005).

2.4.2. Calidad fisiológica

La capacidad germinativa y el vigor son los principales atributos involucrados dentro del componente de calidad fisiológica en semillas. El concepto de vigor en semillas es un tanto complejo, sin embargo, en forma general se podría decir que, es el potencial biológico de la semilla que favorece un establecimiento rápido y uniforme bajo condiciones incluso desfavorables de campo. En tanto que la germinación, es el proceso fisiológico mediante el cual emergen y se desarrollan a partir del embrión aquellas estructuras esenciales, para la formación de una planta normal bajo condiciones favorables.

La semilla presenta su más alto nivel de vigor y potencial germinativo cuando alcanza la madurez fisiológica. En este estado, la semilla tiene el máximo peso seco y el embrión ha completado su desarrollo. A partir de este momento, se inicia el proceso de deterioro de la semilla en forma continua e irreversible, hasta perder su capacidad germinativa.

La calidad fisiológica depende de múltiples factores, tales como el retraso en la cosecha si las condiciones ambientales no son favorables, deficiencias en el desarrollo de los cultivos, retrasos en el secado de la semilla, daños mecánicos durante la recolección y trilla o en el procesamiento y el almacenamiento bajo condiciones desfavorables (Quiróz y Carrillo, 2004).

2.4.3. Calidad genética

En todo sistema de producción agrícola, debe considerarse el material genético que ofrezca la mejor respuesta productiva. Se ha indicado que una semilla de buena calidad por sí misma no garantiza un comportamiento satisfactorio en el campo, si no tiene a su vez el componente genético adecuado para responder ante determinada

condición. La situación inversa también se cumple cuando una variedad con determinado potencial genético, no logrará expresarse a plenitud si la semilla que contiene la información genética de esa variedad, no reúne ciertas condiciones mínimas de calidad (Quiroz y Carrillo, 2004).

El valor genético de una semilla estará determinado por su productividad, adaptabilidad, resistencia y calidad. Por tanto, el valor genético es el cúmulo de información determinada por el genotipo de una variedad que define la resistencia o tolerancia a plagas, adaptación a ambientes específicos, potencial de rendimiento, hábito de crecimiento, ciclo vegetativo, calidad industrial, entre otras.

2.4.4. Calidad sanitaria

Las semillas pueden ser un medio ideal para el transporte de patógenos de origen viral, bacterial o fungoso e inclusive de nematodos, que afectan la germinación, y consecuentemente, la emergencia y población de plantas, o bien causar problemas patológicos en los cultivos una vez establecidos. Igualmente, pueden diseminar enfermedades en determinadas regiones donde estaban ausentes (Quiroz y Carrillo, 2004).

La semilla es un medio de diseminación muy efectivo para determinados patógenos y su transmisión a la plántula puede provocar problemas agronómicos serios; de ahí que, la utilización de semilla de buena calidad sanitaria proveniente de variedades resistentes o tolerantes, constituye el método más económico y eficiente para su combate. La utilización de terrenos nuevos o libres de plagas y enfermedades, la zonificación, épocas de siembra adecuadas, la eliminación de plantas enfermas, el control fitosanitario y el mismo tratamiento de la semilla, constituyen prácticas recomendables para la producción de semilla sana.

2.5. Factores que afectan la calidad de la semilla

2.5.1. Edad de la semilla

Azcorra y Lara del Río (2003), al estudiar el efecto del tiempo de almacenamiento en la germinación de las semillas en diferentes especies y cultivares de gramíneas forrajeras encontraron para *B. brizantha* valores de 2, 3 y 48 % de germinación a los 0, 3.5 y 6.5 meses de almacenamiento respectivamente, para Llanero 13, 46 y 75 %; en Guinea común 14, 19 y 14 %, para Mombasa 5, 13 y 58 % y para Tanzania 2, 6 y 12 %. En otro estudio, Zulay (1996) encontró en semillas de *B. dictyoneura* latencia absoluta durante los 2 primeros meses después de cosecha. Sin embargo, para el tercer mes de almacenamiento comienza muy lentamente la germinación de la semilla (2 %) y para el cuarto mes esta sigue aumentando levemente y para el quinto mes ocurre un incremento violento en el proceso germinativo de la semilla.

Se ha señalado que la calidad de las semillas disminuye con el transcurso del tiempo y la tasa de deterioro depende de las condiciones ambientales durante el almacenamiento y el tiempo en que éstas permanecen almacenadas. El primer componente de la calidad que muestra señales de deterioro es el vigor de las semillas, seguido por una reducción en la germinación o de la producción de plántulas normales, y finalmente la muerte de las semillas (Ferguson, 1995).

2.5.2. Tamaño de la semilla

La expresión de la calidad fisiológica de las semillas de diversas especies depende fundamentalmente de su tamaño. Se ha observado que el desarrollo inicial está gobernado por la cantidad de reservas, tamaño del embrión, cantidad de proteína y eficiencia de los sistemas enzimáticos que le confieren mayor velocidad de crecimiento (Chan y Moreno, 1992). Estos mismos autores, en semillas de sorgo encontraron el 76 % de germinación en semillas grandes; mientras que, en semillas pequeñas el valor fue del 58 % de germinación.

Perry (1980), observó que semillas de mayor tamaño produjeron raíces más grandes, en comparación con las semillas pequeñas, o bien, que las plantas provenientes de semillas grandes, fueron más vigorosas que las plántulas provenientes de semillas pequeñas dentro de la misma variedad, y también que al incrementarse el tamaño de la semilla se mejoró la germinación y por tanto la emergencia. Resultados similares encontró Corral (1985), al observar diferencias significativas entre genotipos por tamaño de semilla. Los estudios determinaron una tendencia hacia un menor porcentaje de germinación conforme la semilla es más pequeña.

2.5.3. Condiciones de almacenamiento

Existe escasa información sobre el comportamiento de las semillas de pastos tropicales durante su almacenamiento. Por lo general, es común almacenar las semillas al medio ambiente. Al respecto, ciertas especies tropicales pueden mantener la viabilidad durante largo tiempo en condiciones de almacenamiento al medio ambiente, mientras que otras especies sufren un deterioro rápido, necesitando de condiciones controladas de temperatura y humedad relativa.

Las condiciones de almacenamiento que mantienen la viabilidad de las semillas, son aquellas que reducen la respiración y otros procesos metabólicos sin dañar el embrión. Contrariamente, la viabilidad de las semillas se ve afectada principalmente por el contenido de humedad de la semilla, la temperatura y las condiciones ambientales de almacenamiento. Se ha señalado que la temperatura de almacenamiento y la humedad relativa del ambiente son los factores más importantes que afectan el mantenimiento de la calidad de la semilla. En general, la viabilidad y el vigor de la semilla se reducen cuando la temperatura y el contenido de humedad de la semilla se incrementan (Cordero y Oliveros, 1983). Al disminuir la temperatura de almacenamiento, la longevidad se incrementa de manera proporcional, prolongando la vida de las semillas.

La humedad relativa del ambiente y el contenido de humedad de la semilla alcanzan diferentes equilibrios durante el período de almacenamiento y por consiguiente, a mayor contenido de humedad, los procesos de deterioro se pueden incrementar

(Cordero y Oliveros, 1983). Por tanto, los ambientes que favorecen un mayor tiempo de almacenamiento son aquellos que mantienen baja la humedad relativa, pues permiten que las semillas alcancen un equilibrio higroscópico con un contenido menor de humedad, ya que contenidos bajos de humedad determinan una actividad metabólica menor y por tanto un mayor potencial de almacenamiento (Palma *et al.*, 2000).

2.5.4. Manejo del cultivo

El manejo del cultivo, en gramíneas forrajeras tropicales es de alta importancia, ya que el rendimiento y calidad de la semilla, está directamente relacionado por el número de inflorescencias, por la cantidad y peso de las espiguillas. Además de lo anterior, hay que considerar que la floración es heterogénea y las semillas maduran irregularmente. Por ello, es fundamental la utilización de prácticas agronómicas, tales como la fertilización, densidades de siembra y cosecha en el momento adecuado. Al respecto, Joaquín (2009), encontró que el mayor rendimiento de semilla en *B. brizantha* cv. Insurgente, se obtiene cuando se utiliza una distancia de 25 x 25 cm entre plantas. Asimismo, encontró para este mismo cultivar que el momento óptimo de cosecha es a los 24 días después de la antesis.

La calidad de la semilla se ve afectada por la falta de uniformidad de la floración. Además porque la semilla, al madurar, se desprende con facilidad de la inflorescencia. Las condiciones climáticas y la fertilización con nitrógeno, son factores importantes que afectan la calidad de la semilla. Asimismo, el estrés ambiental en el cultivo de plantas reduce la germinación y vigor aún en semillas sanas, es decir, libres de patógenos y de daño físico. La sequía en la etapa de formación de la semilla, disminuye el tamaño y capacidad de germinación de la misma (Egli *et al.*, 2005).

2.5.5. Dormancia de la semilla

La dormancia o latencia es el estado, en el cual, las semillas a pesar de tener las condiciones normales del medio ambiente para su germinación, no lo hacen, debido a

mecanismos físicos y fisiológicos internos en la semilla (Copeland y McDonald, 1992). Asimismo, Carambula (1984), señaló que la dormancia constituye un estado que presentan las semillas, en el cual no germinan mientras sus embriones no sufran una serie de cambios fisiológicos y químicos previos. Entre los métodos para interrumpir la latencia en semillas pueden citarse los siguientes: pre-refrigeración, diferentes combinaciones de temperatura, solución de nitrato al 0.2%, ácido giberélico, prelavado y presecado, ácido sulfúrico, entre otros (Faria *et al.*, 1996).

Las causas de la latencia en gramíneas son múltiples y variadas. Enríquez y Quero (2006), citan como principales causas, la impermeabilidad de la cubierta de la semilla al agua y gases, inmadurez del embrión, requerimientos especiales de temperatura y luz, presencia de inhibidores y restricciones mecánicas del embrión para el crecimiento y desarrollo o exersión y extensión de la radícula en la germinación.

En algunos pastos, las estructuras de la espiguilla que están unidas al cariósipide pueden contener inhibidores para la germinación (Bogdan, 1997). Por tanto, el buen establecimiento de pastizales mediante el uso de semilla sexual está supeditado a la presencia o ausencia de latencia en las semillas. La gran mayoría de las semillas del género *Brachiaria* manifiestan latencia absoluta al momento de cosecha. Se ha indicado que las condiciones de almacenamiento de la semilla influyen en la duración del estado de latencia, el cual varía según la especie y puede durar desde unos meses hasta más de 1 año (Flores *et al.*, 1998). Al respecto, Bogdan (1997) reportó que la mejor germinación en algunos pastos tropicales ocurre entre 6 y 12 meses después de efectuada la cosecha.

Los pastos que presentan dormancia en sus semillas incluyen a Señal, Insurgente, Chetumal, Isleño, Llanero y Privilegio. Por tanto, si la semilla de estas especies, se utiliza para el establecimiento de praderas inmediatamente después de la cosecha, es posible que se tenga baja o nula germinación y con ello se fracase en el establecimiento de la pradera (Enríquez y Quero, 2006). En un estudio sobre latencia

de semillas, Enríquez et al.1998, encontraron que las semillas de *B. brizantha* cv. Insurgente tuvieron un periodo de latencia que osciló entre tres y siete meses.

2.5.6. Tipos de dormancia en semillas

Vieira *et al.*, (1998), al evaluar diversos tratamientos de escarificación en cariósides (sin gluma, lema y palea) en *B. brizantha* cv. Marandú, encontraron que los tratamientos evaluados siempre fueron superiores al testigo, concluyendo que la dormancia no es solo por las estructuras duras de la semilla, si no que existe otro mecanismo de dormancia atribuido a la presencia de sustancias inhibidoras de la germinación presentes en el embrión o por la ausencia de sustancias promotoras o reguladores del crecimiento.

La latencia también denominada por varios autores como dormancia, dormición, letargo, reposo o vida latente se clasifica en los siguientes tipos:

Dormancia física. Se manifiesta cuando al final de las pruebas de germinación, queda una cantidad de semillas cuyo volumen y dureza no se modifican. La impermeabilidad es adquirida al final de la maduración durante la desecación. Este tipo de latencia se pierde cuando el agua penetra a la semilla de manera natural, cuando hay fluctuaciones de temperatura y humedad en el suelo, abrasión, ataque de microorganismos, etc. De manera artificial se elimina con agua caliente, ácido sulfúrico y escarificación mecánica al raspar, quebrar o perforar las cubiertas.

Dormancia química. Esta dormancia se debe a que la germinación es bloqueada por sustancias inhibidoras del crecimiento que se encuentran en la cubierta de la semilla. De ahí que para que las semillas germinen es necesario eliminar las sustancias inhibidoras presentes, por medio de la separación de las cubiertas o lavado con agua corriente.

Dormancia mecánica. Esta dormancia es causada por la dureza de la testa o cubierta de la semilla y el endospermo cuyos tejidos oponen resistencia mecánica al crecimiento del embrión. Este efecto se elimina en forma natural por los ciclos de remojo y secado de la semilla. De manera artificial, se elimina por medio de la escarificación mecánica y química, mediante el empleo de ácido sulfúrico.

Dormancia fisiológica. Las causas de esta dormancia se debe al bloqueo metabólico en el embrión, ocasionado por la baja permeabilidad de la cubierta a los gases, baja actividad enzimática, producción de coenzimas y ácidos nucleicos, lo cual impide el crecimiento del embrión no permitiendo atravesar la cubierta. Este tipo de latencia en forma natural se elimina por estímulos ambientales, los cuales producen un indicador metabólico para la síntesis de promotores hormonales. De manera artificial se elimina con la estratificación mejor conocida como enfriamiento húmedo.

Dormancia morfológica. Esta dormancia es ocasionada por la presencia de embriones rudimentarios, es decir, por embriones que no se han desarrollado completamente. Esta dormancia se elimina por medio de la estratificación cálida, a través del empleo de temperatura y humedad adecuada y con aplicaciones de ácido giberélico.

2.6. Tratamientos de escarificación para romper dormancia

Las semillas de plantas forrajeras tanto gramíneas como leguminosas, sobre todo del área tropical presentan baja germinación. Esta característica es un factor que limita el buen establecimiento de las praderas. Sin embargo, esta limitante de las semillas se puede mejorar mediante el empleo de tratamientos de escarificación previos a la siembra. Los tratamientos de escarificación que se utilizan para romper la dormancia de las semillas se clasifican en físicos y químicos. A continuación se describen los métodos más conocidos y utilizados según Nikolaeva, citado por Camacho (2002).

2.6.1. Escarificación mecánica

Consiste en raspar, quebrar o perforar las cubiertas de la semilla, ya sea en forma manual o con aparatos. En forma manual, en lotes pequeños, se pueden usar lijas, tenazas, martillos o agujas. Este método es sencillo y efectivo que implica pocos riesgos, a excepción de que las semillas quedan expuestas al ataque de patógenos.

2.6.2. Escarificación química

En este método de escarificación se utilizan diversas sustancias químicas, las cuales coadyuvan a incrementar los porcentajes de germinación. Principalmente se utilizan sustancias causticas, como el ácido sulfúrico y sustancias hormonales como el ácido giberelico. Cuando se utiliza ácido sulfúrico, las semillas se sumergen en el ácido en recipientes resistentes y la duración del tratamiento depende de la especie vegetal. Posteriormente se drena el ácido y las semillas se lavan en agua corriente. En gramíneas, el ácido sulfúrico disuelve las glumas, lema y palea del cariósido y debilita la estructura de los tegumentos permitiendo el intercambio de agua y oxígeno necesarios para el proceso de germinación. Sin embargo, es un método muy riesgoso. Cuando se utilizan sustancias hormonales, generalmente se utilizan las giberelinas, citoninas, benziladenina y etileno. La dosis de los tratamientos hormonales se realiza en partes por millón (ppm) y la concentración depende de la especie de planta, estado de las cubiertas, método de aplicación, duración del tratamiento, temperatura y combinación de hormonas. El momento culminante es cuando la hormona entra al embrión. Entre las limitantes del uso de las sustancias hormonales, están el alto costo y dificultad para adquirirlas, además es necesario romper las cubiertas de las semillas para facilitar su penetración al embrión.

El ácido sulfúrico es uno de los métodos químicos más utilizado en semillas de especies forrajeras tropicales, ya que disuelve, agrieta y debilita las cubiertas de la espiguilla, lo cual permite la entrada de agua e intercambio de gases, facilita la expansión del embrión y la salida de la radícula (Ramos, 1975). Su uso se extiende a niveles comerciales ya que disuelve por completo la lema y palea del cariósido y

debilita la estructura de los tegumentos permitiendo el intercambio de agua y oxígeno necesarios en el proceso de germinación (Zulay *et al.*, 1998).

Meschede *et al.* (2004), evaluaron diversos tratamientos para romper dormancia en tres lotes de semilla de *B. brizantha* cv. Marandú. Ellos encontraron que la remoción de glumas del cariósido presentó los mejores resultados de germinación en los tres lotes de semillas con un promedio de 60.3 %. El tratamiento con ácido sulfúrico fue el segundo mejor tratamiento; sin embargo, este tratamiento tuvo un efecto negativo en la semilla de baja calidad; mientras que el tratamiento con nitrato de potasio fue el que menos efecto positivo tuvo sobre la germinación, con un valor de 43 %.

En otro estudio, García y Cícero (1992), evaluaron el efecto de diversos tratamientos de escarificación sobre la germinación de semillas de *B. brizantha*. El estudio reveló que el ácido sulfúrico solo y combinado con nitrato de potasio presentó los mejores resultados, con valores promedio de 33 y 17 %, respectivamente. Asimismo, Faria *et al.* (1996), reportaron para semillas de *B. brizantha* porcentajes de germinación de 22.67 y 4.0 % de germinación cuando se escarificaron con ácido sulfúrico durante 5 y 10 minutos, respectivamente. Estos mismos autores reportaron que con nitrato de potasio al 0.2 %, se obtuvo una germinación de 37.33 %, disminuyendo este valor a 25.33 % cuando se combinó el nitrato de potasio con ácido sulfúrico por 5 minutos.

Por otro lado, Martins y Da Silva (2003), al evaluar el efecto del ácido sulfúrico sobre la eliminación de la dormancia en semillas de *B. brizantha* cv. Marandú de 0 y 6 meses de almacenamiento, obtuvieron valores de 63.5 y 80.5 % de germinación a los 0 y 6 meses de almacenamiento respectivamente, en comparación con el testigo que presentó 48 y 74 % de emergencia a los 0 y 6 meses de almacenamiento, respectivamente. Asimismo, Usberti y Martins (2007), al evaluar el efecto de la inmersión de las semillas de *B. brizantha* cv. Marandú en ácido sulfúrico durante 15 minutos, sobre la eliminación de la dormancia, encontraron que el ácido sulfúrico mejoró la germinación, en comparación con la semilla sin tratar, con valores de germinación de 64 % en semilla escarificada y de 50 % en semilla sin escarificar.

2.7. Calidad fisiológica de la semilla

2.7.1. Germinación

Existen pruebas sencillas para el análisis de la calidad de las semillas y fáciles de realizar directamente. Una de ellas es la prueba de germinación. La germinación es definida como la emergencia y el desenvolvimiento de las estructuras esenciales del embrión, las cuales son la manifestación de su capacidad para dar origen a una plántula normal, en condiciones ambientales favorables. La germinación se expresa en porcentaje y número de semillas que producirán plántulas normales (Papalotla, 2002).

Para Peretti (1994), la germinación es la reanudación de las actividades de crecimiento del embrión, suspendidas o disminuidas al momento de alcanzar la semilla su madurez fisiológica. Moreno (1984), define la germinación como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, y que manifiestan la capacidad de la semilla para producir una plántula normal bajo condiciones favorables. Mientras que Copeland y McDonald (1992), definen a la germinación como la reactivación de los procesos fisiológicos del embrión, mediante una serie de reacciones metabólicas que sufren las semillas después de la imbibición.

Para que se inicie la germinación, la semilla tiene que absorber agua e hincharse, conociéndose este proceso como imbibición. Después de la imbibición, la vaina de la radícula conocida como coleorriza, rompe la cubierta de la semilla, la lema y otras estructuras. La coleorriza desarrolla numerosos pelos absorbentes que aceleran la absorción de agua. Posteriormente la radícula o raíces primarias rompen la vaina. Para el segundo o tercer día después de iniciada la germinación aparece el coleóptilo que es la primera estructura que protegerá a la primera hoja verdadera (Bogdan, 1997). Para que la semilla germine requiere de cierto intervalo de temperaturas. La temperatura mínima en semillas de pastos tropicales varía de 15 a 20 °C, con una óptima de 25 a 35 °C.

La presencia de lema y palea duras que envuelven al cariósido de algunas gramíneas forrajeras tropicales impide la absorción de agua ocasionando una lenta germinación (Jiménez, 1990). Esta característica es el factor más importante que afecta la germinación de las semillas del género *Brachiaria*, ya que la presencia de estructuras duras e inhibidores son causas de latencia, fenómeno frecuente que afecta la germinación de las semillas de especies forrajeras tropicales. La semilla del género *Brachiaria* tiene una palea coriácea unida al cariósido, lo cual dificulta su germinación (Quero *et al.*, 2007).

La prueba de germinación estándar se efectúa en el laboratorio bajo condiciones controladas de temperatura, luz, humedad, tiempo; condiciones que son favorables para que las semillas expresen su más alto poder de germinación. Existen diversos métodos para realizar la prueba de germinación; sin embargo, el más utilizado es el conocido como “entre papel” recomendado por la International Seed Testing Association (ISTA, 2005), el cual consiste en extender toallas de papel previamente humedecidas con agua destilada sobre una superficie plana, y sobre las cuales se colocan las semillas. Posteriormente se cubren con otras toallas húmedas y se doblan para formar un rollo, el cual se pone a germinar, acomodándolo de forma vertical en bolsas de plástico. Las bolsas con los rollos se colocan en germinadoras con ambiente controlado. Posteriormente, se realizan dos o tres conteos de plántulas. Para el conteo de plántulas se deben tomar ciertas consideraciones: plántulas normales, plántulas anormales, semillas duras, semillas latentes y semillas muertas.

2.7.2. Viabilidad

La viabilidad de las semillas es el período de tiempo durante el cual las semillas conservan su capacidad para germinar. Es un período variable y depende del tipo de semilla y de las condiciones de almacenamiento. Una semilla viable es aquella que presenta viables los tejidos necesarios para dar una plántula normal.

La viabilidad de las semillas puede ser determinada a través de la prueba topográfica de tetrazolio. Esta prueba bioquímica puede ser usada para realizar una rápida valoración de la viabilidad de la semilla. Si una semilla manifiesta que sus tejidos están teñidos adecuadamente, significa que la semilla es viable y pone en evidencia el potencial para producir una plántula normal. La prueba topográfica de tetrazolio se basa en el principio de respiración de la semilla, semillas viables al momento de respirar liberan enzimas dehidrogenasas, que al contacto de la sal de tetrazolio que es incolora, el tejido toma una coloración rojo carmín. Por tanto semillas con coloración rojo carmín son semillas viables y semillas blancas corresponden a semillas no viables.

2.7.3. Vigor

La calidad fisiológica de la semilla está relacionada directamente con la capacidad que tiene para emerger bajo condiciones de campo. En este sentido, la prueba de germinación es la más común y aceptada para evaluar la calidad fisiológica de la semilla, sin embargo, no es adecuada para conocer su potencial de establecimiento en el campo (Delouche y Caldwell, 1962). De ahí que con el fin de superar este inconveniente, surge el concepto de vigor de semillas, definido como aquellas propiedades de las semillas que determinan su potencial para una emergencia rápida y uniforme, bajo un amplio rango de condiciones de campo (AOSA, 1983).

La ISTA (2005) define al vigor como la suma total de aquellas propiedades de la semilla o lote de semillas que se manifiestan durante su germinación y emergencia de la plántula. Las semillas que se comportan pobremente son denominadas semillas de bajo vigor. Para Perry (1980), el vigor es un factor importante en la calidad de la semilla, por lo que últimamente, se exige esta característica en la comercialización de la misma.

El vigor de las semillas es de gran valor para predecir el comportamiento de un lote de semillas cuando las condiciones del medio ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia de las plántulas (Moreno, 1984). Las semillas que muestran un buen comportamiento son consideradas de alto vigor, y aquellas que presentan un

pobre comportamiento son llamadas semillas de bajo vigor (ISTA, 2005). Por tanto, el objetivo principal de la prueba de vigor es diferenciar aquellos lotes que a pesar de tener una viabilidad similar, presentan distinta capacidad para germinar y emerger. Aquellos lotes que presentan mayor vigor, tendrán mayor tolerancia a condiciones adversas que los de menor vigor (Carambula, 1984). Asimismo, ciertos lotes de semillas que presenten altos porcentajes de germinación o germinaciones similares pueden presentar un comportamiento diferente cuando son sembrados en condiciones idénticas en el campo. De ahí que es necesario evaluar el vigor de las semillas (Salinas *et al.*, 2001).

El grado de vigor estará dado por la constitución genética del lote de semillas, condiciones ambientales que hubo durante su período de desarrollo en la planta madre, características del almacenamiento y por las condiciones de estrés ambiental que ocurran en el campo, en el año en que las semillas son sembradas (Copeland y McDonald, 1992). La prueba de vigor es más sensible a la pérdida de calidad de las semillas que la prueba de germinación estándar, porque hace que se manifiesten las diferencias potenciales de los lotes. Sin embargo, sus resultados no necesariamente ofrecen un pronóstico de la emergencia; sino, más bien, dan la oportunidad al consumidor de determinar si un lote de semillas es superior a otro.

La variabilidad del vigor en las semillas está determinada por la constitución genética, condiciones ambientales durante el desarrollo fisiológico, condiciones de almacenaje (Copeland y McDonald, 1992), nutrición de la planta, estado de madurez de la semilla al momento de la cosecha, tamaño, peso, daño físico, deterioro, envejecimiento y patógenos (Moreno, 1984). Una prueba de vigor, para ser considerada como sistema de evaluación eficiente de lotes de semillas, deben presentar las características siguientes (Benett, 2002):

1. Presentar un índice de mayor sensibilidad que una prueba de germinación estándar, en relación con la calidad de las semillas.

2. Proporcionar una calificación consistente del comportamiento de los lotes de semillas y su correlación con el comportamiento de campo.
3. Ser objetiva, rápida, simple y económica.
4. Ser reproducible e interpretable.

Las pruebas de vigor más utilizadas y con mayor futuro son la de envejecimiento acelerado y la de frío.

2.7.4. Prueba de envejecimiento acelerado

Es una de las pruebas de vigor indirectas más prometedoras. En esta prueba la semilla es almacenada por periodos variables, de acuerdo con la especie, en condiciones ambientales adversas de temperatura y humedad relativa, para posteriormente ser germinada (Carambula, 1984). Esta prueba fue desarrollada en la Universidad Estatal de Mississippi por el Dr. James C. Delouche (Moreno, 1984).

El deterioro por envejecimiento sufrido en las semillas empieza por la degradación de las membranas celulares y pérdida subsiguiente de la permeabilidad, posteriormente disminuye la producción de energía y se reducen los procesos de respiración y biosíntesis. Estos efectos influyen en la reducción del crecimiento y desarrollo de las plántulas, aumentando la susceptibilidad a microorganismos, porcentaje de plántulas anormales y la pérdida de germinación (Delouche, 1969).

La metodología recomienda el uso de cámaras de envejecimiento en cuyo interior se colocan las semillas que deben ser envejecidas. Posteriormente estas semillas se someten a una prueba de germinación estándar.

Para el envejecimiento acelerado se pueden usar recipientes de vidrio o de plástico, con tapa no metálica. Su forma puede variar, pero se recomiendan las rectangulares o cuadradas que alojan una cantidad elevada de semillas. La altura de dichos recipientes

puede variar, siempre y cuando sea suficiente para almacenar la cantidad de agua necesaria para alcanzar la saturación de vapor. Al interior de las cajas se coloca una malla de metal o plástico a una altura mayor a 2 cm sobre el nivel del agua (Peretti, 1994). Las semillas se colocan sobre la malla de manera uniforme. Posteriormente se cierra la caja con su tapa y se lleva a una estufa a 40 °C durante 72 h cuando se utilizan semillas de soya o 45 °C durante 48 h en trigo. En maíz se recomiendan 96 h a 42 °C (Peretti, 1994).

La prueba de envejecimiento acelerado donde las semillas son expuestas a condiciones de altas temperaturas (41 a 45 °C) y humedad relativa cercana al 100 % tiene como objetivo estimular su deterioro.

Zelener *et al.* (1990), al evaluar diferentes condiciones de envejecimiento acelerado en semillas de girasol, concluyeron que los tratamientos a 42 °C por 72 y 96 horas, se correlacionaron positivamente con la emergencia en campo.

Alizaga *et al.* (1994), encontró que la prueba de envejecimiento acelerado fue la que mejor diferenció los niveles de vigor de las semillas de frijol común y la que mejor se correlacionó con la emergencia en campo. Sin embargo, Vilela *et al.* (2005), encontraron que la prueba de envejecimiento acelerado empleando periodos de envejecimiento de 48, 72 y 96 h y temperatura de 41 °C no permitió diferenciar los lotes de semilla de pepino.

Meschede *et al.* (2004), al evaluar el vigor de tres lotes comerciales de semilla de *B. brizantha*, con diferente calidad inicial (baja, media y buena), encontraron que los mejores resultados se obtuvieron a 43 °C durante 48 horas para los lotes de media y buena calidad y 43 °C por 12 a 36 horas para el lote de baja calidad. En otro estudio, Fernandes *et al.* (2004) encontraron que el procedimiento más eficiente para monitorear el comportamiento de semillas de *B. brizantha* durante el almacenamiento es el de envejecimiento acelerado a 43 °C por 48 h, con 100 % de humedad relativa. En semillas de *B. decumbens* se ha verificado que temperaturas de 43 °C y humedad

relativa de 100 % durante 36 y 60 h, es adecuada para estimar el vigor de las semillas almacenadas por ocho meses.

Contreras y Barros (2005), al evaluar la correlación de diferentes pruebas de vigor de ocho lotes de semilla de lechuga, con la emergencia de plántulas en distintas condiciones de siembra, encontraron que con la prueba de envejecimiento acelerado, utilizando 40 °C por 72 h tuvo una correlación de 0.66 cuando la emergencia se realizó en bandejas “speedling” bajo sombra y de 0.69 cuando la emergencia fue en invernadero. Asimismo, Avendaño *et al.* (2006), al evaluar diferentes pruebas de vigor de cuatro y tres lotes de semillas de zanahoria y brócoli, respectivamente, encontraron que la prueba de envejecimiento acelerado en la semilla de brócoli, fue la que presentó la correlación positiva más alta, con un valor de 0.82. Mientras que para zanahoria fue la segunda mejor prueba con una correlación de 0.42, concluyendo que esta prueba representa una herramienta útil para predecir el comportamiento de la semilla de hortalizas en campo. Sin embargo, la prueba de envejecimiento acelerado no proporciona un valor absoluto del vigor, sino simplemente registros de germinación (porcentaje de plántulas normales) después de un período de estrés en condiciones de alta temperatura y humedad. De ahí que cuando los resultados se comparan con los de la prueba de germinación estándar, se pueden encontrar niveles similares de germinación.

2.8. Conclusiones de la revisión de literatura

Brachiaria brizanta es una gramínea perenne originaria de África tropical que pertenece a la familia Poaceae y tribu Paniceae, que se encuentra en regiones con precipitaciones superiores a los 800 mm año⁻¹. A *B. brizantha* cv. Marandú se le conoce con varios nombres. En México se le conoce como Insurgente, en Colombia como pasto La Libertad, en Cuba como Brizantha, en Venezuela como Gigante y en Costa Rica como Diamantes 1.

Para su establecimiento se recomiendan de 6 a 10 kg, a una profundidad de siembra de 2 cm, al voleo o en surco (Papalotla, 2002). Se reportan para esta especie producciones de forraje de 50 toneladas de materia verde y de 15 a 20 ton de MS, soportando cargas animales de 2 a 3 UA por hectárea.

Su semilla es fértil, presentando latencia que se pierde durante el periodo de almacenamiento de tres a ocho meses o por medio de tratamientos de escarificación con ácido sulfúrico u otras sustancias abrasivas (Enríquez y Quero, 2006).

La dormancia o latencia es el estado en el cual, las semillas a pesar de tener las condiciones normales del medio ambiente para su germinación, no lo hacen, debido a mecanismos físicos y fisiológicos internos de la semilla (Copeland y McDonald, 1992).

Las causas de la dormancia en gramíneas son múltiples y variadas. Enríquez y Quero (2006), citan como principales causas, la impermeabilidad de la cubierta de la semilla al agua y gases, inmadurez del embrión, requerimientos especiales de temperatura y luz, presencia de inhibidores y restricciones mecánicas del embrión para el crecimiento y desarrollo o exersion y extensión de la radícula en la germinación.

La dormancia o latencia se clasifica en dormancia, física, química, mecánica, fisiológica y morfológica.

Entre los métodos para interrumpir la latencia en semillas pueden citarse los siguientes: pre – refrigeración, diferentes combinaciones de temperatura, solución de nitrato al 0.2%, ácido giberelico, prelavado y presecado, ácido sulfúrico, entre otros (Faria *et al.*, 1996).

De forma general, existen dos tratamientos de escarificación para romper la dormancia. Uno de ellos es la escarificación mecánica que consiste en raspar, quebrar o perforar las cubiertas de la semilla, ya sea en forma manual o con aparatos. El otro tratamiento es el químico, que consiste en la utilización de diversas sustancias químicas, las cuales

coadyuvan a incrementar los porcentajes de germinación. Principalmente se utilizan sustancias escarificantes como el ácido sulfúrico y sustancias hormonales como el ácido giberélico.

Otro de los aspectos importantes de las semillas, es la calidad fisiológica, la cual esta relacionada directamente con la capacidad que tiene la semilla para emerger bajo condiciones de campo. En este sentido, la prueba de germinación es la más común y aceptada; sin embargo, no es la adecuada para conocer su potencial de establecimiento en el campo. De ahí que con la el fin de superar este inconveniente, surge el concepto de vigor, el cual se define como aquellas propiedades de las semillas que determinan su potencial para una emergencia rápida y uniforme, bajo un amplio rango de condiciones en campo (AOSA, 1983).

El vigor de las semillas es de gran valor para predecir el comportamiento de un lote de semillas cuando las condiciones del medio ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia de las plántulas (Moreno, 1984). Las semillas que muestran un buen comportamiento son consideradas de alto vigor, y aquellas que presentan un pobre comportamiento son llamadas semillas de bajo vigor (ISTA, 2005).

El objetivo principal de la prueba de vigor es diferenciar aquellos lotes que a pesar de tener una viabilidad similar, presentan distinta capacidad para germinar y emerger. Aquellos lotes que presentan mayor vigor, tendrán mayor tolerancia a condiciones adversas que los de menor vigor (Carambula, 1984). La prueba de vigor mas utilizada es la de envejecimiento acelerado, la cual consiste en almacenar la semilla por periodos variables, de acuerdo con la especie, en condiciones ambientales adversas de temperatura y humedad relativa, para posteriormente ser germinada (Carambula, 1984)

III. EVALUACION DE METODOS DE ESCARIFICACION PARA ROMPER DORMANCIA EN SEMILLA DE *Brachiaria brizantha* CV. INSURGENTE

RESUMEN

El objetivo fue evaluar métodos de escarificación para mejorar la germinación de las semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente. Se utilizaron dos lotes de semilla cosechados en septiembre (lote 1) y diciembre (lote 2) del 2007 en el Campo Experimental de la Universidad del Papaloapan, Loma Bonita, Oaxaca. Los tratamientos evaluados fueron: T1=control; T2=remoción de glumas, lema y palea del cariósido; T3=inmersión de cariósidos en ácido giberelico (AG₃) a 300 ppm por cinco minutos; T4=inmersión de cariósidos en AG₃ a 400 ppm por cinco minutos; T5=inmersión de espiguillas en ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado por diez minutos; T6=inmersión de espiguillas en H₂SO₄ concentrado por cinco minutos + inmersión en AG₃ a 300 ppm por cinco minutos; y T7= inmersión de espiguillas en H₂SO₄ concentrado por cinco minutos + inmersión en AG₃ a 400 ppm por cinco minutos. Se utilizó un diseño de completamente al azar, con cuatro repeticiones de 100 semillas por tratamiento. Se evaluó el porcentaje de germinación de la semilla a 4, 5 y 6 meses (lote 1) y 2, 3, 4, 5 y 6 meses (lote 2) de haber sido cosechada, mediante una prueba de germinación estándar. Se encontraron diferencias entre tratamientos ($P<0.01$) para ambos lotes de semilla, donde los mayores valores de germinación, se obtuvieron con los tratamientos T4, T3 y T2. Se concluye que todos los tratamientos de escarificación evaluados incrementaron la germinación de las semillas de pasto Insurgente, en comparación con el control, y los mejores tratamientos fueron la inmersión del cariósido en solución de AG₃ a 300 y 400 ppm durante cinco minutos, así como la remoción de estructuras que envuelven al cariósido.

PALABRAS CLAVE: *Brachiaria brizantha*, Pasto insurgente, Tratamientos de escarificación, Dormancia, Germinación.

EVALUATION OF SCARIFICATION METHODS TO BREAK DORMANCY OF *Brachiaria brizantha* CV. INSURGENTE SEED

ABSTRACT

This study was developed in order to evaluate different scarification methods to improve *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente seed germination. Two seed lots were studied in accordance to their harvesting date: September 2007 (stock 1) and December 2007 (stock 2). Evaluated seed was produced at the University of Papaloapan's Experimental Station, located at Loma Bonita city, Oaxaca, México. Scarification treatments included: T1= placebo; T2= lemma, palea and glume elimination; T3= whole spikelet immersion in Giberellic acid during five minutes (AG₃, 300ppm); seed immersion in Giberellic acid during five minutes (AG₃, 400ppm); whole spikelets immersion in concentrated sulfuric acid (H₂SO₄), during ten minutes; T6= whole spikelets immersion in concentrated sulfuric acid (H₂SO₄), during five minutes + immersion in Giberellic acid during five minutes (AG₃, 300ppm); and T7= whole spikelets immersion in concentrated sulfuric acid (H₂SO₄) during five minutes + immersion in Giberellic acid during five minutes (AG₃, 400ppm). Data was analyzed using a completely randomized design with four replications of 100 seeds per treatment. Germination percentage was evaluated for seed with four, five and six month to harvest date (stock 1) and two, three, four, five, and six months to harvest date (stock 2), using a standard germination test. Germination differences among treatments were detected ($P<0.01$) for both seed stocks and the higher germination values were obtained for T4, T3 and T2, respectively. All scarification procedures increased seed germination for Insurgente grass with respect to the placebo. Best germination occurred using AG₃ to 300 and 400 ppm concentrations during five minutes, as well as accessory spikelet parts removing.

KEY WORDS: *Brachiaria brizantha*, Insurgente grass, Seed Scarification, Seed Dormancy, Seed Germination.

3.1. INTRODUCCION

Brachiaria brizantha, es una planta perenne originaria de África tropical perteneciente a la familia de las gramíneas. En México fue introducida con el nombre de Insurgente y debido a su alto rendimiento de forraje de buena calidad y excelente aceptación por el ganado, es una de las especies forrajeras ampliamente utilizada por los ganaderos de las áreas tropicales (Peralta, 1990). Sin embargo, la baja disponibilidad de semilla y deficiente calidad, son los factores que han limitado la expansión y renovación de las áreas cultivadas de esta especie forrajera; además de lo anterior, la presencia de dormancia de la semilla (García y Cícero, 1992), es otro factor del poco éxito obtenido en el establecimiento de las praderas.

La dormancia es el estado en el cual, las semillas a pesar de tener las condiciones normales del medio ambiente para su germinación, no lo hacen, debido a mecanismos físicos y fisiológicos de la semilla (Copeland y McDonald, 1992). Esta característica es el factor más importante que afecta la germinación de las semillas del género *Brachiaria*, y en consecuencia, limita el buen establecimiento de las praderas. Las causas principales de la latencia en semillas de gramíneas son la presencia de embriones inmaduros (Hopkinson *et al.*, 1998), impermeabilidad de la cubierta de la semilla al agua y gases, requerimientos especiales de temperatura y luz, presencia de inhibidores y restricciones mecánicas del embrión para el crecimiento y desarrollo o exersión y extensión de la radícula en la germinación. Sin embargo, la dormancia de las semillas se elimina de manera natural con el almacenamiento entre tres a ocho meses (Enríquez y Quero, 2006), dependiendo de las condiciones climáticas del lugar donde se almacenan. De ahí que, si la semilla de esta especie, se utiliza para el establecimiento de praderas, inmediatamente después de la cosecha, es posible que tenga baja o nula germinación, y por tanto, se fracase en el establecimiento de la pradera (Enríquez y Quero, 2006). Sin embargo, esta limitante de las semillas, se puede mejorar de manera artificial mediante el empleo de métodos de escarificación previos a la siembra (Faria *et al.*, 1996).

Entre los métodos para interrumpir la latencia en semillas se encuentran los siguientes: pre-refrigeración, diferentes combinaciones de temperatura, solución de nitrato al 0,2%, ácido giberelico, prelavado y presecado, ácido sulfúrico, entre otros (Faria *et al.*, 1996).

El ácido sulfúrico es uno de los métodos químicos más recomendado para la ruptura de la dormancia en semillas de especies forrajeras tropicales. Al respecto, varios estudios mostraron la efectividad del ácido sulfúrico en mejorar las germinación se semillas de *B. brizantha* (Martins y Da Silva, 2003; Usberti y Martins, 2007), ya que disuelve, agrieta y debilita las cubiertas de la espiguilla, lo cual permite la entrada de agua e intercambio de gases necesarios para el proceso de germinación, con lo que se facilita la expansión del embrión y la salida de la radícula (Ramos, 1975; Zulay *et al.*, 1998). Sin embargo, en la práctica el uso de este tratamiento es limitado, ya que presenta riesgos de seguridad durante su aplicación.

Otros investigadores (Meschede *et al.*, 2004) encontraron que la remoción de glumas del cariósido presentó los mejores resultados de germinación en tres lotes de semillas de *B. brizantha* cv. Marandú, con un promedio de 60.3 %. En este sentido se ha indicado que la presencia de lema y palea coriácea unida al cariósido e inhibidores, son causa de latencia de las semillas del género *Brachiaria*, lo cual dificulta su germinación (Quero *et al.*, 2007).

Las sustancias hormonales como el ácido giberelico también se han recomendado para mejorar la germinación de semillas de gramíneas forrajeras. Sin embargo, aún falta más información sobre estrategias para romper dormancia e incrementar los porcentajes de germinación de semillas de especies forrajeras y con ello coadyuvar al desarrollo de la producción de semillas forrajeras en nuestro país. Por tanto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar tratamientos de escarificación para mejorar la germinación de semillas de *Brachiaria brizanta* cv. Insurgente.

3.1.1. Objetivo

Evaluar tratamientos de escarificación para mejorar la germinación de las semillas de *Brachiaria brizanta* cv. Insurgente.

3.1.2. Hipotesis

La escarificación permite incrementar los porcentajes de germinación de las semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente.

3.2. MATERIALES Y METODOS

3.2.1. Localización del área experimental

El estudio se realizó en el laboratorio de análisis de semillas del Instituto de Recursos Genéticos y Productividad (IREGEP) del Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo.

3.2.2. Material genético utilizado

Se utilizaron dos lotes de semilla de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente, cosechados el 28 de septiembre (lote 1) y 21 de diciembre (lote 2) del 2007, en la misma pradera, en el Campo Experimental de la Universidad del Papaloapan, Loma Bonita, Oaxaca.

La cosecha de semilla se realizó en forma manual, utilizando la técnica tradicional para gramíneas tropicales (INIFAP, 1989), que consiste en cortar todas las inflorescencias presentes y posteriormente, someterlas a un proceso de sudado natural, el cual incrementa la madurez de las semillas y facilita el desprendimiento de las mismas. Para simular el proceso de sudado, las inflorescencias cosechadas se colocaron sobre un plástico en el mismo terreno, las cuales se cubrieron con material vegetal que quedó después de haber cortado las inflorescencias. El periodo de sudado fue de cuatro días.

Posteriormente, se realizó la sacudida de las inflorescencias, limpieza y secado de la semilla en forma natural. La semilla obtenida se envasó en bolsa de papel y se almacenó en condiciones ambientales de laboratorio, en Motencillo, Texcoco, Estado de México.

Al inicio del estudio, se determinó la calidad física y fisiológica de ambos lotes de semilla, en términos de pureza física, peso de 1,000 semillas y viabilidad mediante la prueba de tetrazolio (Cuadro 1).

Cuadro 1. Calidad física y fisiológica inicial de dos lotes de semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente, utilizados en los tratamientos de escarificación para romper dormancia

Fuente de semilla ¹	Semilla pura (%)	Peso de 1000 semillas (g)	Viabilidad (%)
Lote 1	7.7	6.7	87
Lote 2	17.4	7.4	95

¹El lote 1 se cosechó el 28 de septiembre y el lote 2 el 21 de diciembre de 2007, en la misma pradera, en el Campo Experimental de la Universidad del Papaloapan, Loma Bonita, Oaxaca.

3.2.3. Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron siete tratamientos de escarificación manual y química, con ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado y ácido giberelico (AG₃), los cuales se describen en Cuadro 2.

Se utilizó un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones de 100 semillas por tratamiento.

Cuadro 2. Tratamientos de escarificación evaluados en semillas de *Brachiaria brizantha* CV. Insurgente

Tratamientos	Descripción
T1	Espiguillas conteniendo sus estructuras y sin ningún tratamiento de escarificación.
T2	Remoción de las estructuras (gluma, lema y palea) que envuelven al cariósido.
T3	Inmersión de cariósidos en AG ₃ a una concentración de 300 ppm, durante cinco minutos.
T4	Inmersión de cariósidos en AG ₃ a una concentración de 400 ppm, durante cinco minutos.
T5	Inmersión de espiguillas en H ₂ SO ₄ concentrado (98%), durante 5 minutos.
T6	Inmersión de espiguillas en H ₂ SO ₄ concentrado (98%) durante cinco minutos + inmersión en AG ₃ a una concentración de 300 ppm, durante cinco minutos.
T7	Inmersión de espiguillas en H ₂ SO ₄ concentrado (98%), durante cinco minutos + inmersión en AG ₃ a una concentración de 400 ppm, durante cinco minutos.

3.2.4. Desarrollo del experimento

Posterior a la aplicación de los tratamientos de escarificación, se evaluó el porcentaje de germinación de la semilla a 4, 5 y 6 meses (lote 1) y 2, 3, 4, 5 y 6 meses (lote 2) de haber sido cosechada, mediante una prueba de germinación estándar. Las semillas se colocaron en cajas sandwicheras 14 x 14 x 5.5 cm, con tapa, provistas de papel absorbente y colocadas dentro de una cámara germinadora a una temperatura de 25 ± 1 °C, 8 y 16 horas luz y oscuridad, respectivamente y humedad relativa del 100 %, durante 21 días (ISTA, 2005). Las semillas y material utilizado en la prueba de germinación, se desinfectó con cloro al 5 %, durante cinco minutos y posteriormente, se enjuagó con agua destilada (Meschede *et al.*, 2004). En los tratamientos donde se

utilizó ácido sulfúrico, después del periodo de inmersión de las semillas, éstas se lavaron en agua corriente, durante cinco minutos, con la finalidad de retirar los residuos de ácido sulfúrico (García y Cícero, 1992).

3.2.5. Variables evaluadas

Se evaluó el porcentaje de germinación. Para ello se realizaron tres conteos a los 7, 14 y 21 días. En cada conteo se cuantificó el número de plántulas normales, anormales y semillas muertas de acuerdo a la metodología de la ISTA (2005). El porcentaje de germinación se estimó a partir de las plántulas normales. Se consideró una plántula normal aquella que contaba con todas sus estructuras y las plántulas anormales fueron aquellas que carecían de radícula, parte aérea o presentaron alguna deformación.

3.2.6. Análisis estadístico

Los datos obtenidos, se sometieron a un análisis de varianza para probar diferencias entre tratamientos, con base en el 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 (SAS, 1998). Todos los valores se transformaron previamente a arco seno $\sqrt{\%/100}$ y posteriormente fueron retransformados para su discusión.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.3.1. Efecto del método de escarificación en la germinación de la semilla a los 4, 5 y 6 meses.

El Cuadro 3, muestra los porcentajes de germinación de la semilla obtenidos en los diferentes tratamientos de escarificación para el lote 1 a los 4, 5 y 6 meses de almacenamiento. Se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.01$) a los cuatro meses de almacenamiento, donde el mayor valor de germinación (58.1 %) se

obtuvo con el tratamiento T4, valor que fue similar ($P>0.05$) a los obtenidos con los tratamientos T3 y T2 (55.0 y 52.0 %, respectivamente), pero diferente y superior ($P<0.05$) al tratamiento T1 (control), el cual presentó un valor de germinación de 11.5 %. Un comportamiento similar al anterior, se observó a los 5 y 6 meses de almacenamiento, donde los valores más altos se obtuvieron con los tratamientos T4, T3 y T2. Se observó un incremento en el porcentaje de germinación conforme se aumentó el tiempo de almacenamiento de la semilla, independientemente del tratamiento de escarificación, donde los mayores valores (80.4 y 76.3 %) se registraron a los seis meses, con los tratamientos T4 y T3, respectivamente.

Cuadro 3. Evaluación de tratamientos de escarificación sobre el porcentaje de germinación de semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente, a diferentes meses de almacenamiento. Lote 1

Tratamientos ¹	Meses de almacenamiento		
	4	5	6
T1	11.5 ^d	21.9 ^e	22.8 ^d
T2	52.0 ^{ab}	63.1 ^{bc}	65.1 ^{bc}
T3	55.0 ^{ab}	71.1 ^{ab}	76.3 ^{ab}
T4	58.1 ^a	77.3 ^a	80.4 ^a
T5	26.7 ^c	46.0 ^d	57.0 ^c
T6	35.0 ^c	54.0 ^{cd}	60.1 ^c
T7	40.9 ^{bc}	58.1 ^{bcd}	61.1 ^{bc}

¹ T1=control; T2=remoción de glumas, lema y palea del cariósido; T3=inmersión de cariósidos en AG₃ (300 ppm) por cinco minutos; T4=inmersión de cariósidos en AG₃ (400 ppm) por cinco minutos; T5=inmersión de espiguillas en H₂SO₄ por diez minutos; T6=inmersión de espiguillas en H₂SO₄ por cinco minutos + inmersión en AG₃ (300 ppm) por cinco minutos; y T7= inmersión de espiguillas en H₂SO₄ por cinco minutos + inmersión en AG₃ (400 ppm) por cinco minutos.

abcde Literales diferentes en cada columna, indican diferencia significativa ($P<0.05$).

3.3.2. Efecto del método de escarificación en la germinación de la semilla a 2, 3, 4, 5 y 6 meses

El Cuadro 4, muestra los porcentajes de germinación de la semilla obtenidos en los diferentes tratamientos de escarificación para el lote 2 a los 2, 3, 4, 5 y 6 meses de almacenamiento. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($P<0.01$) a los dos meses de almacenamiento, donde el mayor valor de germinación (55.6 %) se obtuvo con el tratamiento T4, valor que fue similar ($P>0.05$) a los obtenidos con los tratamientos T3 y T2 (51.0 y 46.0 %, respectivamente), pero diferente y superior ($P<0.05$) a los demás tratamientos y control, el cual presentó un valor de germinación de 3.0 %.

Cuadro 4. Evaluación de tratamientos de escarificación sobre el porcentaje de germinación de semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente, a diferentes meses de almacenamiento. Lote 2.

Tratamientos ¹	Meses de almacenamiento				
	2	3	4	5	6
T1	3.0 ^e	17.6 ^c	22.9 ^d	27.0 ^d	33.9 ^c
T2	46.0 ^{abc}	73.3 ^a	77.2 ^{ab}	84.4 ^{abc}	86.4 ^{ab}
T3	51.0 ^{ab}	75.2 ^a	82.3 ^a	87.6 ^{ab}	92.4 ^a
T4	55.6 ^a	80.4 ^a	89.7 ^a	91.2 ^a	92.5 ^a
T5	19.9 ^d	28.9 ^{bc}	52.0 ^c	70.1 ^c	75.3 ^b
T6	30.9 ^{cd}	30.9 ^{bc}	57.1 ^c	75.3 ^{bc}	76.2 ^b
T7	35.9 ^{bcd}	40.9 ^b	66.2 ^{bc}	82.2 ^{abc}	81.7 ^{ab}

¹ T1=control; T2=remoción de glumas, lema y palea del cariósido; T3=inmersión de cariósidos en AG₃ (300 ppm) por cinco minutos; T4=inmersión de cariósidos en AG₃ (400 ppm) por cinco minutos; T5=inmersión de espiguillas en H₂SO₄ por diez minutos; T6=inmersión de espiguillas en H₂SO₄ por cinco minutos + inmersión en AG₃ (300 ppm) por cinco minutos; y T7= inmersión de espiguillas en H₂SO₄ por cinco minutos + inmersión en AG₃ (400 ppm) por cinco minutos.

abc Literales diferentes en cada columna, indican diferencia significativa ($P<0.05$).

Un comportamiento similar al anterior, se observó a los 3, 4, 5 y 6 meses de almacenamiento, donde los valores más altos de germinación se obtuvieron con los tratamientos T4, T3 y T2. Al igual que en el lote 1, se observó un incremento en el porcentaje de germinación, independientemente del tratamiento de escarificación, conforme se aumentó el tiempo de almacenamiento de la semilla, donde los valores más altos (92.5, 92.4 y 86.4 %) se registraron a los seis meses, con los tratamientos T4, T3 y T2, respectivamente.

Los resultados encontrados en este estudio indican que todos los tratamientos de escarificación evaluados, independientemente del lote, incrementaron el porcentaje de germinación de las semillas de pasto Insurgente, en comparación con el control y, los mejores tratamientos de escarificación fueron la remoción manual de las estructuras que envuelven al cariósido y la inmersión del cariósido en solución de ácido giberelico en una concentración de 300 y 400 ppm, durante cinco minutos. El incremento del porcentaje de germinación de las semillas al remover sus estructuras que la envuelven y la inmersión de las cariósidos en solución de ácido giberelico se debió a que al remover las glumas, lema y palea de las espiguillas, se eliminan las sustancias inhibitoras de la germinación contenidas en dichas estructuras, además, se facilitó la entrada de agua y oxígeno necesarios en el proceso de germinación (Zulay *et al.*, 1998); asimismo se facilitó la penetración del ácido giberelico al embrión de la semilla promoviendo su crecimiento y, en consecuencia, una mayor germinación. Resultados similares fueron reportados por otros investigadores (Meschede *et al.*, 2004), quienes al evaluar diversos tratamientos para romper dormancia en tres lotes de semilla de *B. brizantha* cv. Marandú, encontraron que la remoción de las glumas fue el tratamiento que presentó los mayores valores de germinación, con un promedio de 60 %. Esta misma respuesta fue reportada por otros autores (Vieira *et al.*, 1998), quienes al evaluar diferentes tratamientos de escarificación en cariósidos de *B. brizantha* cv. Insurgente, encontraron que los tratamientos evaluados siempre fueron superiores al control. Otros autores (Faria *et al.*, 1996; Martins y Da Silva, 2003; Usberti y Martins, 2007), para esta misma especie de pasto, reportaron que la inmersión de las semillas en ácido sulfúrico durante 5 a 15 minutos mejoró la germinación de las semillas, en

comparación con el control, en más de 30 %, ya que el ácido disuelve por completo la lema y palea del cariósido, agrieta y debilita las cubiertas de la espiguilla, lo cual permite la entrada de agua e intercambio de gases, facilita la expansión del embrión y salida de la radícula. Se ha indicado que, en semillas del género *Brachiaria*, la presencia de lema y palea coriácea unida al cariósido dificulta la germinación (Quero *et al.*, 2007), ya que impide la absorción de agua ocasionando una lenta germinación (Jiménez, 1990).

En este estudio se observó, en ambos lotes de semilla, que las diferencias en los porcentajes de germinación obtenidos con los diferentes tratamientos de escarificación, en comparación con el control, fueron más amplias a los 2 (lote 1) y 4 (lote 2) meses de almacenamiento de la semilla, lo que indica la efectividad de los tratamientos de escarificación evaluados en aumentar la germinación de las semillas recién cosechadas de *B. brizantha* cv. Insurgente. La efectividad de los tratamientos de escarificación fue menor a medida que se aumentó el periodo de almacenamiento de la semilla. Por ejemplo, para el lote 1, con el mejor tratamiento de escarificación, el cual consistió en la inmersión del cariósido en solución de ácido giberélico en una concentración de 400 ppm, de los cuatro a cinco meses de almacenamiento, se obtuvo un incremento de la germinación de 33 %, mientras que de los cinco a seis meses el aumento fue tan solo de 4 %. Un comportamiento similar al anterior, se observó para el lote 2, donde de los dos a tres meses de almacenamiento, el incremento de la germinación fue de 179 %, mientras que de los cinco a seis meses, el aumento fue de 1 %.

Asimismo, los bajos porcentajes de germinación (11.5 y 3 %) obtenidos con el tratamiento control a los cuatro meses (lote 1) y a los dos meses (lote 2), respectivamente, corroboran la alta dormancia de la semilla en esta especie forrajera. Al respecto, se ha indicado que las semillas de *B. brizantha* presentan una alta dormancia (Humphreys y Riveros, 1986; García y Cícero, 1992; Enríquez y Quero, 2006; Azcorra y Lara, 2003), la cual se elimina en forma natural durante el almacenamiento de tres a ocho meses, o bien, de manera artificial mediante la

aplicación de tratamientos de escarificación mecánica y química (Enríquez y Quero, 2006). Otros investigadores (Azcorra y Lara, 2003), al evaluar el efecto del tiempo de almacenamiento en la germinación de las semillas de *B. brizantha* encontraron valores de germinación de 2, 3 y 48 % a los 0, 3.5 y 6.5 meses de almacenamiento. La baja germinación de las semillas en los primeros meses, después de ser cosechadas, se debe a que ésta es bloqueada por sustancias inhibitoras del crecimiento que se encuentran en la cubierta de la semilla.

Otros autores (Vieira *et al.*, 1998), indicaron que la dormancia no es solo por las estructuras duras de la semilla, si no que existe otro mecanismo de dormancia atribuido a la presencia de sustancias inhibitoras de la germinación presentes en el embrión, o bien, por la ausencia de sustancias promotoras del crecimiento, lo que implica que para que las semillas germinen es necesario eliminar las sustancias inhibitoras presentes, por medio de la separación manual de las cubiertas o mediante el uso de sustancias químicas como el ácido sulfúrico y sustancias promotoras del crecimiento como el ácido giberélico.

En el presente estudio, se observó una menor germinación en el lote 1, en comparación con el lote 2; por ejemplo, para el lote 1, las semillas sin tratamiento de escarificación a los cuatro meses de almacenamiento presentaron una germinación de 11.5 %, mientras que para el lote 2 en el mismo periodo de almacenamiento la germinación fue de 22.9 %. Asimismo, para el lote 1, con el mejor tratamiento de escarificación (inmersión del cariósipide en solución de ácido giberélico en una concentración de 400 ppm) a los cuatro meses de almacenamiento se obtuvo una germinación de 58.1 %; mientras que para el lote 2, a cuatro meses de almacenamiento la germinación fue de 89.7 %. La mayor respuesta de los tratamientos de escarificación en los porcentajes de germinación de la semilla del lote 2, en comparación al lote 1, se atribuyó a la mejor calidad física y fisiológica de las semillas. Se ha indicado que la baja germinación de las semillas recién cosechadas se debe a la presencia de embriones que no se han desarrollado completamente (Hopkinson *et al.*, 1998; Enríquez y Quero, 2006).

3.4. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se concluye que todos los tratamientos de escarificación evaluados mejoraron la germinación de las semillas del pasto Insurgente, donde los mayores valores se obtuvieron con la eliminación de las estructuras florales (glumas, lema y palea) y la inmersión de las cariósides en solución de ácido giberélico en una concentración de 300 y 400 ppm, durante 5 minutos. La respuesta positiva de los tratamientos de escarificación, en aumentar el porcentaje de germinación de las semillas, se atribuyó a la eliminación de las sustancias inhibitoras de la germinación, presentes en las estructuras que envuelven a la semilla y por la promoción del crecimiento del embrión por efecto del ácido giberélico.

3.5. RECOMENDACIONES

Se sugiere continuar con este estudio en ésta y otras especies, con la finalidad de determinar con mayor precisión el mejor método de escarificación en semillas del género *Brachiaria*. Así mismo, evaluar diferentes niveles de concentración de ácido giberélico y diversos tiempos de inmersión de las espiguillas en el ácido sulfúrico.

IV. PRUEBA DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO PARA EVALUAR EL VIGOR EN SEMILLAS DE PASTO *Brachiaria brizantha* CV. INSURGENTE

RESUMEN

El objetivo fue evaluar la prueba de envejecimiento acelerado en la determinación del vigor de semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente. Se utilizaron dos lotes de semilla, con diferente calidad física y fisiológica inicial, cosechados el 28 de septiembre (lote 1) y 21 de diciembre (lote 2) de 2007. Las semillas se sometieron a seis temperaturas (40, 41, 42, 43, 44 y 45 °C) y siete periodos (24, 36, 48, 60, 72, 84 y 96 h) de envejecimiento acelerado y 100 % de humedad relativa. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de tratamientos, con cuatro repeticiones. El vigor de la semilla varió entre niveles de temperatura ($P < 0.001$). Para el lote 1 el mayor valor de germinación (28.9 %) se obtuvo a 40 °C, valor que fue similar ($P > 0.05$) al obtenido a 41 °C (24.7 %), pero diferente y superior a los demás niveles ($P < 0.05$). Un comportamiento similar al anterior se observó para el lote 2, donde el valor más altos de germinación (50.1 %), se obtuvo a 40 °C. El periodo de envejecimiento tuvo efecto en el vigor de la semilla ($P < 0.001$). Para el lote 1, el valor mayor de germinación (40.6 %) se obtuvo a 48 h, valor que fue similar ($P > 0.05$) al obtenido a 36 h (34.7 %), pero diferente y superior a los obtenidos en los demás periodos; mientras que para el lote 2, el valor mayor (63 %) se obtuvo a 60 h. La interacción fue significativa para ambos lotes de semilla ($P < 0.001$); en el lote 1, la mayor germinación se presentó a 40 °C/48 h y 40 °C/60 h, con valores de 46 y 47 %, respectivamente; mientras que para el lote 2, el mayor valor (69.2 %) se obtuvo a 40 °C/60 h. Se concluye que la prueba de envejecimiento acelerado detectó diferencias entre lotes de semilla de *B. brizantha* CV. Insurgente, y la combinación 40 °C/48 h y 40 °C /60 h de envejecimiento acelerado fueron los tratamientos más efectivos para evaluar el vigor de lotes de semillas de calidad inferior y superior, respectivamente.

PALABRAS CLAVE: *Brachiaria brizantha*, Pasto Insurgente, Vigor, Prueba de envejecimiento acelerado, Germinación.

**SEED AGING TEST TO EVALUATE VIGOR OF *Brachiaria brizantha* CV.
INSURGENTE SEED**

ABSTRACT

In order to evaluate seed vigour for *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente, seed aging procedures were evaluated for two seed lots with different starting values of both physical and physiological qualities and harvesting dates (September 28, lot 1; december 21st, lot 2) during the year 2007. Seed lots were treated using six different temperature regimes: 40, 41, 42, 43, 44 y 45 °Celsius during each of seven time periods of time: 24, 36, 48, 60, 72, 84 y 96 h as accelerated aging times and a humidity of 100 %. Data was analysed through a Complete Random Design under a factorial arrangement and four repetitions. Seed vigour levels showed differences among temperature levels ($P < 0.001$). Seed lot 1 showed the higher germination percentage (28.9%) with 40°C, similar ($P > 0.05$) to the observed for 41°C (24.7%), but different and superior to the rest of treatments ($P < 0.05$). A similar behavior was observed for seed lot 2, showing a germination value of 50.1% at 40°C. The aging period had an effect on seed vigour ($P < 0.001$). Seed lot one showed a 40.6% germination value at 48h, similar value ($P > 0.05$) to the 36h treatment (34.7%), but different and superior to all remaining periods. However, for seed lot 2, the highest value (63%) was achieved for the 60h period. Significant interaction for both seed lots ($P < 0.001$); for seed lot 1, highest germination values were observed at 40 °C/60 h showing values of 46% and 47%, respectively; by the other hand, seed lot 2, showed the highest germination value (69.2%) for 40°C during 60h. The accelerated aging seed test evaluated showed germination percentages differences between seed lots for *B. brizantha* cv. Insurgente seed, and the combination 40 °C/48h as well as 40°C/60h as vigour test, were the most effective treatments for testing seed vigour and differentiate seed quality within this species.

KEY WORDS: *Brachiaria brizantha*, Insurgente, Seed vigour, Accelerated aging test, Seed germination.

4.1.- INTRODUCCION

Brachiaria brizantha, es una planta perenne originaria de África tropical perteneciente a la familia de las gramíneas. En México fue introducida con el nombre de Insurgente y debido a su alto rendimiento de forraje de buena calidad y excelente aceptación por el ganado, es una de las especies forrajeras ampliamente utilizada por los ganaderos de las áreas tropicales (Peralta, 1990). Sin embargo, la baja disponibilidad de semilla y deficiente calidad, son los factores que han limitado la expansión y renovación de las áreas cultivadas de esta especie forrajera. Esta especie forrajera se propaga por material vegetativo y por semilla botánica, la propagación por material vegetativo es cara y laboriosa, de ahí que la siembra por semilla botánica es el método de propagación más utilizado, donde la calidad de la semilla representa un factor indiscutible a considerar en el establecimiento de praderas.

Se ha señalado que la calidad fisiológica de la semilla está relacionada directamente con la capacidad que tiene para emerger bajo condiciones de campo. Por tanto, es importante utilizar semillas de alta calidad fisiológica para asegurar una emergencia satisfactoria de plántulas vigorosas (Bhering *et al.*, 2003). Al respecto, la prueba de germinación es el procedimiento más ampliamente usado y aceptado para evaluar la calidad fisiológica de un lote de semillas. Sin embargo, debido a que esta prueba se realiza bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y sustrato, en la práctica, no es la más adecuada para garantizar el establecimiento de la semilla en el campo, donde las condiciones no siempre son favorables (Copeland y McDonald, 2001), por lo que se han sugerido otras pruebas adicionales, tal es el caso del vigor de la semilla (Delouche y Caldwell, 1962).

El vigor se define como la suma de aquellas propiedades de la semilla que determina el nivel de actividad y comportamiento de la semilla durante la germinación y la emergencia de la plántula en el campo (AOSA, 1983; ISTA 2005). El objetivo principal de la prueba de vigor es diferenciar aquellos lotes que a pesar de tener una viabilidad similar, presentan distinta capacidad para germinar y emerger. Por tanto, aquellos lotes

que presentan mayor vigor, tendrán mayor tolerancia a condiciones adversas que los de menor vigor (Carambula, 1984). A diferencia de la prueba de germinación estándar, una prueba de vigor provee información adicional que permite diferenciar lotes de semillas (ISTA, 2005). De ahí que las pruebas de vigor constituyen una herramienta actualmente utilizadas en la determinación de la calidad fisiológica de los lotes de semillas.

Existen varias pruebas para evaluar el vigor de lotes de semilla, tales como la prueba de frío, conductibilidad eléctrica, primer conteo de en prueba de germinación, velocidad de crecimiento y la prueba de envejecimiento acelerado. Sin embargo, la prueba de envejecimiento acelerado es considerada como una de las más eficientes para la evaluar el vigor de semillas, dentro de las disponibles en la actualidad (Bittencourt y Vieira, 2006). En esta prueba las semillas son expuestas a condiciones de temperatura elevada (41 a 45 °C) y humedad relativa del 100 % por un periodo específico, según la especie, con el objetivo de aumentar la tasa de deterioro de las semillas al ser sometidas a tales condiciones y posteriormente medir el vigor mediante el porcentaje de germinación (Carambula, 1984), en tal situación, las semillas más vigorosas deterioran más lentamente que las menos vigorosas, presentando diferencias de viabilidad y germinación (Torres, 2004). Al respecto, varios estudios recomiendan periodos de envejecimiento acelerado para evaluar el vigor en semillas de diferentes cultivos. Por ejemplo, en soya, el periodo de envejecimiento acelerado recomendado es 40 °C/72 h (Salinas *et al.*, 2001), en trigo 43 °C/48 h (Lima *et al.*, 2006), en maíz 42 °C/96 h (Peretti, 1994), en lechuga 40 °C/72 h (Contreras y Barros, 2005) y en girasol 42 °C/72 y 96 h (Zelener *et al.*, 1990).

En semillas de pastos tropicales, no existe un consenso entre los investigadores en cuanto a las condiciones de temperatura y periodo de exposición de las semillas para la prueba de envejecimiento acelerado. Al respecto, para *B. decumbens* se ha indicado que 43 °C/36 y 60 h y humedad relativa de 100 %, es lo adecuado para estimar el vigor de las semillas almacenadas durante ocho meses. Mientras que para la especie *B. brizantha* se recomienda el uso de 43 °C/48 h, con 100 % de humedad relativa

(Fernandes *et al.*, 2004). También en *B. brizantha*, otros investigadores (Meschede *et al.*, 2004) al evaluar el vigor de tres lotes comerciales de semilla, con diferente calidad inicial, encontraron que los mejores resultados se obtuvieron a 43 °C/48 horas para lotes de media y buena calidad y 43 °C/12 a 36 horas para los de baja calidad. En *Panicum maximum*, 43 °C/36 horas y humedad relativa del 100 % es lo recomendado para detectar diferencias de vigor entre lotes de semillas (Usberti, 1982).

Con base en lo anterior, se puede afirmar que la temperatura y tiempo de exposición a las condiciones de envejecimiento para evaluar el vigor de semillas en pastos tropicales aún no están bien establecidos. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo determinar la mejor temperatura y periodo de envejecimiento acelerado para evaluar el vigor de semillas de *B. brizantha* cv. Insurgente.

4.1.1. Objetivo

Evaluar la prueba de vigor de envejecimiento acelerado en la determinación de la calidad de las semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente.

4.1.2. Hipótesis

La prueba de envejecimiento acelerado es un método confiable para evaluar el vigor de la semilla de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente.

4.2. MATERIALES Y METODOS

4.2.1. Localización del área experimental

El estudio se realizó en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Instituto de Recursos Genéticos y Productividad (IREGEP) del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México.

4.2.2. Material genético empleado

Se utilizaron dos lotes de semilla de *B. brizantha* cv. Insurgente, con diferente madurez fisiológica, cosechados el 28 de septiembre (lote 1) y 21 de diciembre (lote 2) del 2007, en el Campo Experimental de la Universidad del Papaloapan, Loma Bonita, Oaxaca.

La cosecha de semilla se realizó en forma manual, utilizando la técnica tradicional para gramíneas tropicales (Ferguson, 1978), que consiste en cortar todas las inflorescencias presentes y posteriormente, someterlas a un proceso de sudado natural, el cual incrementa la madurez de las semillas y facilita el desprendimiento de las mismas. Para simular el proceso de sudado, las inflorescencias cosechadas se colocaron sobre un plástico en el mismo terreno, las cuales se cubrieron con material vegetal que quedó después de haber cortado las inflorescencias. El periodo de sudado fue de cuatro días. Posteriormente, se realizó la sacudida de las inflorescencias, limpieza y secado de la semilla en forma natural. La semilla obtenida se envasó en bolsa de papel Kraft y se almacenó en condiciones ambientales de laboratorio, durante seis meses en Motencillo, Texcoco, Estado de México. Al terminó del periodo de almacenamiento, se determinó la calidad física y fisiológica de los dos lotes de semilla, en términos de pureza física, peso de 1,000 semillas, viabilidad mediante la prueba de tetrazolio y porcentaje de germinación (Cuadro 1). En la prueba de envejecimiento acelerado se utilizó semilla pura y escarificada con ácido sulfúrico concentrado, durante 10 minutos. Después del periodo de inmersión de las semillas en ácido sulfúrico, éstas se lavaron en agua corriente, durante cinco minutos, con la finalidad de retirar los residuos de ácido sulfúrico (García y Cicero, 1992). Las semillas y material utilizado, se desinfectaron con cloro al 5 %, durante cinco minutos y posteriormente, se enjuagó con agua destilada (Meschede *et al.*, 2004).

4.2.3. Tratamientos y diseño experimental

En ambos lotes de semilla, se evaluaron seis temperaturas (40, 41, 42, 43, 44 y 45 °C) y siete periodos de exposición (24, 36, 48, 60, 72, 84 y 96 h) de envejecimiento. Se

utilizó un diseño experimental completamente al azar, con arreglo factorial de tratamientos.

4.2.4. Desarrollo del experimento

El envejecimiento acelerado se realizó empleando el método “Gerbox” adaptado y descrito por Perry (1990), el cual consiste en exponer las semillas a una temperatura elevada y una humedad relativa aproximada del 100 % por un tiempo determinado. Para ello, 200 semillas por tratamiento, se colocaron sobre una malla de acero inoxidable en el interior de una caja de plástico, a la cual se le adicionaron 100 ml de agua destilada, se taparon y se colocaron dentro de una estufa de secado a las temperaturas y periodos de envejecimiento previamente indicados. Posterior al periodo de envejecimiento, se evaluó el porcentaje de germinación de la semilla, mediante una prueba de germinación estándar, utilizando cuatro repeticiones de 50 semillas por tratamiento. Para determinar el porcentaje de germinación, las semillas se colocaron en cajas sandwicheras 14 x 14 x 5.5 cm, con tapa, provistas de papel absorbente y colocadas dentro de una cámara germinadora a una temperatura constante de 25 ± 1 °C, a 8 y 16 horas luz y oscuridad, respectivamente y humedad relativa del 100 %, contabilizando el número de plantas normales en tres conteos, durante 21 días (ISTA, 2005).

4.2.5. Variables evaluadas

Se evaluó el porcentaje de germinación. Para ello se realizaron tres conteos a los 7, 14 y 21 días. En cada conteo se cuantificó el número de plántulas normales, anormales y semillas muertas de acuerdo a la metodología de la ISTA (2005). El porcentaje de germinación se estimó a partir de las plántulas normales. Se consideró una plántula normal aquella que contaba con todas sus estructuras y las plántulas anormales fueron aquellas que carecían de radícula, parte aérea o presentaron alguna deformación.

4.2.6. Análisis estadístico

Los datos obtenidos, se sometieron a un análisis de varianza para probar diferencias entre tratamientos, con base en el diseño experimental completamente al azar en arreglo factorial 6 x 7 (seis temperaturas y siete periodos de envejecimiento). La comparación de medias de los tratamientos se efectuó mediante la prueba de Tukey, con un nivel de significancia de 5 % (SAS, 1998). Todos los valores se transformaron previamente a arco seno $\sqrt{\%/100}$ para su análisis y posteriormente fueron retransformados para su discusión.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSION

4.3.1. Efecto de la temperatura

La calidad física en términos de semilla pura y peso de 1,000 semillas fue mayor en el lote 2, con valores de 17.4 % y 7.4 g, respectivamente, en comparación con la del lote 1, donde los valores de estos mismos parámetros fueron 7.7 % y 6.7 g, respectivamente.

Un comportamiento similar al anterior se observó en la calidad fisiológica, en términos de viabilidad y porcentaje de germinación de la semilla, donde los mayores valores (95 y 33.9 %, respectivamente) se obtuvieron con el lote 2, en comparación con el lote 1, el cual presentó valores de 87 y 22.8 %, respectivamente (Cuadro 5). Estos datos no se analizaron estadísticamente, sirviendo solo para la caracterización de la calidad de los lotes de semilla previo a la realización de la prueba de envejecimiento acelerado.

Cuadro 5. Calidad física y fisiológica inicial de dos lotes de semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente, utilizados en los tratamientos de envejecimiento acelerado

Fuente de semilla	Semilla pura (%)	Peso de 1000 semillas (g)	Viabilidad (%)	Germinación (%)
Lote 1	7.7	6.7	87	22.8
Lote 2	17.4	7.4	95	33.9

En el Cuadro 6 se presentan los porcentajes de germinación obtenidos en el lote 1 y 2, en los diferentes niveles evaluados de temperatura. En ambos lotes de semilla, el porcentaje de germinación varió entre los niveles de temperatura ($P < 0.001$). Para el lote 1, el mayor valor de germinación (28.9 %) se obtuvo con el nivel de 40 °C, valor que fue similar ($P > 0.05$) al obtenido con 41 °C (24.7 %), pero diferente y superior a los demás niveles ($P < 0.05$). Un comportamiento similar al anterior se observó para el lote 2, donde los valores más altos de germinación (50.1 y 46.9 %), se obtuvieron con los niveles de 40 y 41 °C, respectivamente. En ambos lotes de semilla, se observó que los valores de germinación disminuyeron conforme se aumentó el nivel de temperatura.

Cuadro 6. Porcentaje de germinación de dos lotes semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente, a diferentes niveles de temperatura

Temperatura (°C)	Fuente de semilla	
	Lote 1	Lote 2
40	28.9 ^a	50.1 ^a
41	24.7 ^{ab}	46.9 ^a
42	21.5 ^{bc}	40.4 ^b
43	21.3 ^{bc}	38.7 ^b
44	19.0 ^c	31.1 ^c
45	18.3 ^c	26.0 ^d

abcd Literales diferentes en cada columna, indican diferencia significativa ($P < 0.05$).

Los resultados obtenidos en este estudio indican que las temperaturas 40 y 41 °C fueron las que mejor estimaron el comportamiento del vigor de los lotes de semillas, ya que con estas temperaturas se registraron los mayores porcentajes de germinación. La disminución de la germinación conforme se aumentaron los niveles de temperatura de envejecimiento acelerado, se atribuyó a que al incrementar la temperatura se aceleran los procesos fisiológicos de la semilla, con lo que aumenta su deterioro, y en consecuencia una disminución del vigor. Al respecto, se ha indicado que el deterioro de las semillas por efecto del envejecimiento empieza por la degradación de las membranas celulares y pérdida subsiguiente de la permeabilidad, posteriormente disminuye la producción de energía y se reducen los procesos de respiración y biosíntesis, aumentando la pérdida de germinación (Delouche, 1969). Se encontró que el lote 2 presentó en promedio 74 % más germinación, en comparación con el lote 1. Esta diferencia en el vigor de la semilla entre ambos lotes de semilla se debió al bajo porcentaje de semilla pura, viabilidad y germinación del lote 1 por haberse cosechado antes de alcanzar la madurez fisiológica. Al respecto, se ha indicado que cosechar anticipadamente se obtienen semillas de baja calidad, ya que aún no han alcanzado su completo desarrollo (Vilela, 1983). Otros autores (Hopkinson *et al.*, 1998) indicaron que la baja germinación de las semillas recién cosechadas se debe a la presencia de embriones que no se han desarrollado completamente. Contrariamente, se ha señalado que la semilla presenta su más alto nivel de vigor y potencial germinativo cuando alcanzan la madurez fisiológica, momento en el cual la semilla adquiere el máximo peso y el embrión ha completado su desarrollo (Enríquez y Quero, 2004).

4.3.2. Efecto del periodo de envejecimiento

En el Cuadro 7 se presentan los porcentajes de germinación obtenidos en el lote 1 y 2, en los diferentes periodos de exposición de envejecimiento acelerado.

En ambos lotes de semilla, se encontró que el periodo de exposición de envejecimiento acelerado tuvo efecto significativo ($P < 0.001$) en los porcentajes de germinación.

Cuadro 7. Porcentaje de germinación de dos lotes semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente, a diferentes periodos de envejecimiento acelerado

Periodo de envejecimiento (Horas)	Fuente de semilla	
	Lote 1	Lote 2
24	35.0 ^b	32.5 ^c
36	34.7 ^{ab}	35.4 ^c
48	40.6 ^a	50.9 ^b
60	33.7 ^b	63.0 ^a
72	21.3 ^c	48.6 ^b
84	7.0 ^d	36.5 ^c
96	2.0 ^e	10.0 ^d

abcde Literales diferentes en cada columna, indican diferencia significativa ($P < 0.05$).

Para el lote 1, se observó un incremento ascendente de la germinación conforme se aumentó el periodo de envejecimiento acelerado, hasta las 48 h, con un valor de 40.6 %, valor que fue similar ($P > 0.05$) al obtenido con 36 h (34.7 %), pero diferente y superior a los valores obtenidos en los demás periodos. Un comportamiento similar al anterior se observó en el lote 2, donde el porcentaje de germinación se incrementó conforme se aumentó el periodo de envejecimiento acelerado, hasta las 60 h, con un valor de 63 %.

Los resultados de este estudio indican que los periodos de envejecimiento acelerado de 36 y 48 h son adecuados para diferenciar lotes de semilla de baja calidad, mientras que para lotes de calidad superior 60 h son suficientes para evaluar el vigor de las semillas. Se observó que el lote 2 presentó en promedio 58 % más germinación en comparación con el lote 1, lo que corrobora la diferencia de calidad entre los lotes de semilla evaluados.

El incremento de los valores de germinación en los primeros periodos de envejecimiento se debió a que la semilla al momento de iniciar la prueba de

envejecimiento aún presentaba dormancia, la cual se fue eliminando conforme se aumentó la temperatura y periodo de exposición hasta cierto límite: 48 h para el lote 1 y 60 h para el lote 2. Posteriormente, al continuar aumentando el periodo de envejecimiento se inició el deterioro de la semilla, disminuyendo sus valores de germinación. De acuerdo a los valores de germinación obtenidos, el mejor periodo de envejecimiento para el lote 1 fue de 36 a 48 h, mientras que para el lote 2 fue a 60 h. Se observó que el periodo de 84 y 96 h causó una reducción drástica de la germinación del lote 1; mientras que para el lote 2, una reducción similar se presentó hasta las 96 h de envejecimiento. Al respecto, Alves *et al.* (2004) al evaluar periodos de envejecimiento acelerado en semillas de maíz, encontraron que a partir de las 72 h de envejecimiento acelerado, ocurre la lixiviación de proteínas solubles totales, potasio y otros iones como el calcio, zinc, manganeso, cobre, fierro y manganeso, y con ello, disminuye la germinación. En este estudio se observó que el tiempo de exposición de las semillas a envejecimiento acelerado evidenció la diferencia de calidad entre lotes de semilla evaluados, además, la semilla del lote de calidad superior requirió mayor tiempo de exposición de envejecimiento, en comparación con la del lote de baja calidad.

4.3.3. Efecto de la interacción temperatura x periodo

En el Cuadro 8 se presenta el efecto de la interacción (temperatura x periodo de exposición de envejecimiento acelerado) en el porcentaje de germinación. Se encontró diferencia significativa de la interacción ($P < 0.001$) en los porcentajes de germinación de la semilla para ambos lotes. En el lote 1, los mayores valores de germinación se presentaron a 40 °C/48 h y 40 °C/60 h de exposición de envejecimiento acelerado, con valores de 46 y 47 %, respectivamente. En el lote 2, se encontró que en todos los niveles de temperatura, los mayores valores de germinación se registraron a 60 h de envejecimiento; sin embargo, el mayor valor (69.2 %) se obtuvo a 40 °C/60 h de exposición de envejecimiento acelerado. Se observó una disminución de los porcentajes de germinación conforme se aumentó la temperatura de exposición de las semillas. Dentro de cada nivel de temperatura, el porcentaje de germinación se incrementó conforme se aumentó el periodo de envejecimiento acelerado de 24 hasta 48 h, después de este periodo los valores de germinación disminuyeron

progresivamente hasta las 96 h de envejecimiento. Los periodos de 84 y 96 h de envejecimiento acelerado, presentaron las germinaciones más bajas.

Cuadro 8. Porcentaje de germinación de dos lotes de semillas de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente a diferentes niveles de temperatura y periodos de envejecimiento acelerado

Temperatura (°C)	Periodo de envejecimiento (Horas)	Fuente de semilla	
		Lote 1	Lote 2
40	24	39.0 ^{abc}	38.9 ^{fg hijklm}
	36	42.0 ^{abc}	44.0 ^{defghij}
	48	46.0 ^{ab}	63.1 ^{abcd}
	60	47.0 ^a	69.2 ^a
	72	27.9 ^{abcde}	56.0 ^{abcdef}
	84	8.7 ^{fgh}	54.0 ^{abcdefg}
	96	5.4 ^{gh}	25.9 ^{ijklmno}
41	24	35.9 ^{abcd}	43.5 ^{efghij}
	36	33.9 ^{abcde}	47.2 ^{cdefghi}
	48	43.9 ^{abc}	52.8 ^{abcdefg}
	60	40.9 ^{abc}	66.7 ^{ab}
	72	24.8 ^{cde}	52.5 ^{abcdefgh}
	84	7.9 ^{fgh}	46.2 ^{cdefghi}
	96	2.2 ^h	20.7 ^{no}
42	24	33.0 ^{abcde}	38.2 ^{fg hijklmn}
	36	33.9 ^{abcde}	41.6 ^{efghijk}
	48	41.0 ^{abc}	52.5 ^{abcdefgh}
	60	33.9 ^{abcde}	67.5 ^{ab}
	72	19.8 ^{def}	49.2 ^{bcdefghi}
	84	6.9 ^{fgh}	40.7 ^{efghijkl}
	96	1.0 ^h	4.3 ^{pq}
43	24	30.9 ^{abcde}	31.7 ^{ijklmn}

Continuación cuadro 8.....

43	36	37.0 ^{abcd}	35.0 ^{ghijklmn}
	48	43.0 ^{abc}	50.2 ^{abcdefghi}
	60	28.9 ^{abcde}	63.6 ^{abc}
	72	19.9 ^{def}	50.0 ^{bcdefghi}
	84	6.3 ^{gh}	33.4 ^{hijklmn}
	96	1.4 ^h	12.0 ^{op}
	44	24	29.0 ^{abcde}
36		31.9 ^{abcde}	24.0 ^{klmno}
48		35.9 ^{abcd}	47.7 ^{cdefghi}
60		26.9 ^{bcde}	59.3 ^{abcde}
72		17.0 ^{efg}	45.0 ^{cdefghi}
84		6.5 ^{fgh}	24.7 ^{klmno}
96		1.4 ^h	6.8 ^{pq}
45	24	25.8 ^{cde}	22.1 ^{mno}
	36	29.9 ^{abcde}	22.7 ^{lmno}
	48	34.0 ^{abcde}	41.2 ^{efghijk}
	60	25.8 ^{cde}	51.5 ^{abcdefgh}
	72	17.6 ^{efg}	38.7 ^{fghijklm}
	84	6.0 ^{gh}	22.3 ^{mno}
	96	2.0 ^h	1.0 ^q

a-q Literales diferentes en cada columna, indican diferencia significativa ($P<0.05$).

Los resultados de la interacción temperatura x periodo de envejecimiento (Cuadro 8), evidenciaron la diferencia de vigor entre lotes de semilla de *B. brizantha* cv. Insurgente, y se confirma la superioridad del lote 2, en comparación con el lote 1. Asimismo, indican que para evaluar el vigor de lotes de semilla de baja calidad, se deben utilizar 40 °C/48 h de envejecimiento; mientras que para lotes de calidad superior se requieren 40 °C/60 h de envejecimiento acelerado.

Resultados diferentes fueron encontrados por otros autores (Fernandes *et al.*, 2004) para esta misma especie forrajera, quienes reportaron que 43 °C/48 h, con 100 % de humedad relativa es el mejor procedimiento de envejecimiento acelerado para diferenciar lotes de semilla.

También en *B. brizantha*, otros autores (Meschede *et al.*, 2004) recomiendan 43 °C/48 h de envejecimiento acelerado para lotes de mediana a alta calidad, y 43 °C/12 a 36 h de envejecimiento para lotes de baja calidad. Asimismo, resultados diferentes a los encontrados en este estudio fueron reportados para otros cultivos. Por ejemplo, en maíz se recomiendan 42 °C/96 h (Peretti, 1994), en girasol 42 °C/72 y 96 horas (Zelener *et al.*, 1990) y en melón 41 °C/48 h de envejecimiento acelerado (Bhering *et al.*, 2003).

Otros autores (Bittencourt y Vieira, 2006) al evaluar la combinación de diferentes temperaturas y periodos de envejecimiento acelerado en semillas de diferentes genotipos de maíz encontraron que la combinación 45 °C/72 h de envejecimiento acelerado fue la mejor para diferenciar lotes de semilla. De acuerdo a lo anterior, la temperatura y periodo de exposición de la semilla para la prueba de envejecimiento acelerado varía entre especies y lotes de semillas. La discrepancia de resultados del presente estudio, con los reportados para esta misma especie, pueden ser atribuidos al manejo de la semilla después de la cosecha. Al respecto, se ha señalado que la calidad de las semillas disminuye con el transcurso del tiempo y la tasa de deterioro depende de las condiciones ambientales durante el almacenamiento y el tiempo en que éstas permanecen almacenadas (Ferguson, 1995).

El mayor vigor del lote 2, en comparación con el lote 1, se atribuyó a la mayor calidad física y fisiológica de las semillas. Esta diferencia en la calidad de la semilla entre lotes, se debió al diferente grado de madurez de la semilla, al momento de ser cosechadas, ya que el lote 1 se cosechó antes de la antesis, mientras que el lote 2 a 30 días después de la antesis. Al respecto, se ha indicado que la variabilidad del vigor en las semillas, entre otros factores, está determinado por el grado de madurez de la semilla

al momento de ser cosechadas (Moreno, 1984). Otros autores (Hopkinson *et al.*, 1998; Enríquez y Quero, 2006) indicaron que la baja germinación de las semillas recién cosechadas se debe a la presencia de embriones que no se han desarrollado completamente.

En general, la mayor respuesta de la prueba de envejecimiento acelerado en el vigor de las semillas del lote 2, se debió a su mayor calidad física y fisiológica. Los resultados encontrados en el presente estudio indican que para diferenciar lotes de semilla en pasto Insurgente, mediante la prueba de envejecimiento acelerado, se deben emplear temperaturas de 40 a 41 °C/48 a 60 h de envejecimiento acelerado, dependiendo de la calidad del lote de semilla, ya que temperaturas y periodos de envejecimiento mayores incrementan el deterioro de las semillas, reducen el vigor de las mismas, y en consecuencia, disminuye el porcentaje de germinación.

4.4. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que la prueba de envejecimiento acelerado detectó diferencias entre los lotes de semilla evaluados, donde el lote 2 fue superior en vigor al lote 1. Las mejores combinaciones de temperatura y periodo de envejecimiento acelerado para evaluar el vigor de semillas de *B. Brizantha* CV. Insurgente fueron 40-41 °C/48 h para lotes de baja calidad y 40-41 °C/60 h de envejecimiento acelerado para lotes de calidad superior.

4.5. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar estudiando la prueba de vigor de envejecimiento acelerado en semillas de *B. brizantha* y en otras diferentes especies de gramíneas forrajeras con el fin de poder obtener más información, que conduzca a determinar una prueba de mayor confiabilidad y aplicación.

V. CONCLUSIÓN GENERAL

Los métodos de escarificación evaluados mejoraron la germinación de las semillas del pasto Insurgente, obteniendo mejores resultados cuando se eliminaron las estructuras florales (glumas, lema y palea) y la inmersión de los carióspsides en solución de ácido giberelico en una concentración de 300 y 400 ppm, durante 5 minutos. El incremento positivo de la germinación de las semillas, se atribuyó a la eliminación de las sustancias inhibitoras de la germinación, presentes en las estructuras que envuelven a la semilla y por la promoción del crecimiento del embrión por efecto del ácido giberelico.

En lo que respecta a la prueba de vigor de envejecimiento acelerado, se detectó que el lote 2 fue superior en vigor al lote 1, derivado de una mejor calidad fisiológica. Las mejores combinaciones de temperatura y periodo de envejecimiento acelerado para evaluar el vigor de semillas de *B. Brizantha* CV. Insurgente fueron 40-41 °C/48 h para lotes de baja calidad y 40-41 °C/60 h de envejecimiento acelerado para lotes de calidad superior.

VI. LITERATURA CITADA

- Alizaga, R., Mello, V. D. C., Dos Santos, D. S. B., y Irigón, D. L. 1994. Evaluación del vigor en semilla de *Phaseolus vulgaris* y su relación con la emergencia en campo. *Agronomía Costarricense* 18(2):227-234.
- Alves, E., Cavariani, C., Corrêa, M. R., Souza, F. L. G., Corrêa, T. M. y Nakagawa, J. 2004. Efeito dos periodos de envelhecimento na lixiviação de ions e de proteínas solúveis en sementes de milho. *Revista Brasileira de Sementes* 26(2):119-125.
- Association of Official Seed Analysts (AOSA). 1983. Seed vigor testing handbook. Contribution Num. 32. USA. 82 p.
- Avendaño, L. A. N., Quintana, C. M., y Gómez, C. S. 2006. Eficacia de pruebas de vigor en semilla de zanahoria y brócoli. *Avances en la Investigación Científica en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Departamento de Producción Agrícola Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.* pp. 30-36.
- Azcorra, C. J. y Lara del Río, M. 2003. Production and quality of seed of the Insurgente grass, Guinea and Llanero. *Livestock Research for Rural Development* 15(2).
- Bennett, M. A. 2002. Saturated salt accelerated aging (SSAA) and other vigor test for vegetable seeds. In: McDonald, M. B. and Contreras, S. (eds.). *Seeds: Trade, production and technology. Proceedings internacional seed seminar.* Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile. pp. 188–198.
- Benítez, R. 1975. Pruebas de pureza y viabilidad de un grupo de especies forrajeras. *Universidad Agropecuaria de Queensland, Australia.* pp. 93-105.

- Bhering, M. C., Dias, D. C. F. S., Barros, D. I., Dias, L. A. S. y Tpkuhisa, D. 2003. Avalicao do vigor de sementes de melancia (*Citrullus lunatus* Schrad.) pero teste de envelhecimento acelerado. *Revista Brasileira de Sementes* 25(2): 1-6.
- Bittencourt, S. R. M y Vieira, R. D. 2006. Temperatura e period de exposicao de sementes de milho no teste de envelhecimento acelerado. *Revista Brasileira de Sementes* 28(3):161-168.
- Bogdan, V. A. 1997. Pastos tropicales y plantas de forraje. Primera edición en español. AGT editor. México, DF. 411 p.
- Boonman, J. G. 1979. Producción de pastos tropicales en África, con referencia especial a Kenia. En: Tergas, L. E., y Sánchez, P. A. (eds.). Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos.. CIAT, Cali, Colombia. pp. 385-402.
- Botrel, M., Alvin, J., y Martins, E. 1990. Aplicação de nitrênio em acessos de brachiaria: efeito sobre os tenores de proteína bruta e minerais. *Pasturas Tropicales* 12(2):7-10.
- Carambula, M. 1984. Producción de semillas de plantas forrajeras. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 513 p.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 2002. Forrajes tropicales: base de datos de recursos genéticos multipropósito. Serie CD – Room. Colombia.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 2001. Informe Anual 2001: Programa de Mejoramiento de *Brachiarias*. Cali, Colombia. 39 p.
- Chan, N., M. E., Moreno, J. M. 1992. Influencia del tamaño de la semilla sobre la calidad fisiológica de la simiente de sorgo. *In: Avances de investigación 1991*. Colegio de Postgraduados. p. 6.

- Contreras, S., y Barros, M. 2005. Pruebas de vigor en semillas de lechuga y su correlación con emergencia. *Ciencia e Investigación Agraria* 32(1):3-11.
- Copeland, L. O., y McDonald, M. B. 1992. Principles of seed science and technology. Second edition. Burgess Publishing Company. Minneapolis, Minnesota. USA. 50 p.
- Copeland, L. O., and McDonald, M. B. 2001. Principles of seed science and technology. 4th edition. Norwell, Massachusetts. 488 pp.
- Cordero, M. J., y Oliveros, M. 1983. Efecto de varias condiciones de almacenamiento sobre la germinación de semillas de *Andropogon Gayanus*. *Agronomía Tropical*. 33(6):177-189.
- Corral, D. B. 1985. Selección en sorgo para vigor de plántula y tolerancia al frío en la etapa de germinación. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Cuadrado, H., Torregroza, S. L., Jiménez, N. C., y Medina, J. W. 2000. Producción de forraje, composición química y digestibilidad de cuatro ecotipos de gramíneas del género *Brachiaria*. CORPOICA. Universidad de Córdoba.
- Cuesta, M. P. A., y Pérez, B. R. A. 1987. Pasto La Libertad *Brachiaria brizantha* (Hochst), Stapf. Villavicencio, Instituto Colombiano Agropecuario. Boletín Técnico 20. 150 p.
- Delouche, J. C. 1969. Planning seed quality. Mississippi Agricultural Experiment Station; Journal. Paper N° 1721. State College, Mississippi, E.U.A.
- Delouche, J. C. 1971. Determinants of seed quality. Seed technology laboratory. Mississippi State University. USA. pp. 53-68.

- Delouche, J. C., y Caldwell, W. P. 1962. Seed vigor and vigor test. In Proceedings seedmen's short course. Mississippi seed technology laboratory. State College Mississippi. USA.
- Domínguez, B. J. F. 2000. Productividad y rentabilidad en la producción de carne con novillos cebú utilizando bloques nutricionales y zeranol bajo pastoreo intensivo en el trópico húmedo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM. México, DF.
- Egli, D. B., TeKrony, D. M., Heitholt, J. J. and Rupe, J. 2005. Air temperature during seed filling and soybean seed germination and vigor. *Crop Sci.* 45:1329–1335.
- Enríquez, Q. J. F., y Quero, C. A. R. 2006. Producción de semillas de gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales. INIFAP, CIRGOC. Campo Experimental Cotaxtla. Libro Técnico Núm. 11. Veracruz, México. 109 p.
- Enríquez, Q. J. F., Quero, C. A. R., y Hernández, G. A. 2005. Rendimiento de semilla e índice de llenado de grano en diversos ecotipos de tres especies del género *Brachiaria*. *Técnica Pecuaria México* 43(2):259-273.
- Enríquez, Q. F. J., y Romero, F. M. Z. 2002. Evaluación agronómica de 14 ecotipos de *Brachiaria spp.* en el sur de Veracruz. En: Memorias de la XV Reunión Científica Forestal y Agropecuaria. INIFAP, Veracruz. México.
- Enríquez, Q. J. F., Meléndez, N. F., y Bolaños, A. E. D. 1998. Producción de semilla de 12 ecotipos de *Brachiaria brizantha* en el sur de Veracruz. XXXIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Querétaro, Qro. (México). pp. 29-31.
- Faria, J., García, A. L., y González, B. 1996. Efecto de métodos químicos de escarificación sobre la germinación de seis gramíneas forrajeras tropicales. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 13:387-393.

- Ferguson, J. B. 1995. An introduction to seed vigor testing. In: Seed vigor testing seminar, 1995, Copenhagen. [Proceedings...] Zurich: International Seed Testing Association. pp. 1-9.
- Ferguson, J. B. 1992. Semillas de especies forrajeras tropicales: Conceptos, casos y enfoques de investigación y producción. CIAT. Cali, Colombia. 370 p.
- Fernandes, S. D. C., Dos Santos, P. S., Mantovani, A. E., Cecon, P. R., y Fontes, A. E. 2004. Testes para monitorar a qualidade fisiológica de sementes de *Brachiaria brizantha* (a. rich.) stapf. durante o armazenamento. Revista Brasileira de Sementes 26(2):33–44.
- Filho, S. F. L. 1998. Producción de semillas: El punto de vista del sector privado brasileño. En: Miles JW, Mass BL, do Valle BC editores. *Brachiaria: Biología, agronomía y mejoramiento*. CIAT- EMBRAPA, Num. 295:156-162.
- Flores, Z. V., Montes, J., y Manzano, M. 1998. Efecto del almacenamiento y tratamiento con ácido sulfúrico en semillas de *Brachiaria dictyoneura*. Zootecnia Tropical 16(2):277-286.
- Garcia, J. and Cícero, S. M. 1992. Superao de dormencia em sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. Scientia Agrícola Piracicaba – SP. 49(1): 9-13.
- Gutiérrez, A., Paretas, J. J., Suárez, J. D., Cordoví, E., Pazos, R., y Alfonso, H. A. 1990. Genero *Brachiaria*: Nueva alternativa para la ganadería cubana. Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes. La Habana, Cuba. 64 p.
- Hopkinson, M. J., De Souza, F. H., Diulgheroff, S., Ortiz, A., y Sánchez, M. 1998. Fisiología reproductiva, producción de semilla y calidad de la semilla en el Género *Brachiaria*. En: Miles, J. W., Mass, B. L., Do Valle, B. C. (eds.). *Brachiaria: Biología, agronomía y mejoramiento*. CIAT- EMBRAPA, Num. 295. pp. 136-155.

- Humphreys, L. R. y Riveros, F. 1986. Tropical pasture seed production. FAO. Plant production and Protection Paper 8. Rome, Italy.
- Ibrahim, M. A. 1994. Productivity, compatibility and persistence of grass legume pastures in the humid tropics of Costa Rica. Ph. D. thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. 140 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2006. Superficie total por entidad federativa según uso del suelo y vegetación. México.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuaria (INIFAP). 1989. Resultados de evaluación de pastos tropicales en México. Programa de forrajes, zona sur. Iguala, Gro. 88 p.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2005. International rules for seed testing. Bassersdorf, CH – Switzerland.
- Jiménez, M. A. 1990. Semillas forrajeras para siembra. Universidad Autónoma Chapingo. pp. 34-35.
- Joaquín, C. S. 2009. Influencia de la densidad de plantas y fecha de cosecha en el rendimiento y calidad de semilla de *Brachiaria brizantha* cv. Insurgente. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. Estado de México. 83 p.
- Lima, T. C., Medina, P. F. y Fanan, S. 2006. Avalicao do vigor de sementes de trigo pelo teste de envelhecimento acelerado. Revista Brasileira de Sementes 28(1):106-113.
- Loch, D. S. and Ferguson, E. J. 1999. Forage Seed Production. Volume 2: Tropical and Subtropical Species. CAB Publishing International. Wallingford, U. K. 479 p.

- Martins, L., y Da Silva, W. R. 2003. Efeitos imediatos e latentes de tratamentos termico e quimico em sementes de *Brachiaria brizantha* cultivar Marandú. *Bragantia*, Campinas 62(1):81-88.
- Meschede, D. K., Sales, C. J. G., Braccini, D. L. A., Scapim, C. A., and Schuab, R. S. 2004. Tratamentos para superacao da dormencia das sementes de capim braquiaria cultivar Marandú. *Revista Brasileira de Sementes* 26(2):76-81.
- Moreno, E. M. 1984. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 380 p.
- Navarro, D. L., y Vásquez, D. 1997. Respuesta de *Brachiaria brizantha* a la fertilización nitrogenada en un suelo de la mesa de Guanipa. *Zootecnia Tropical* 15(2):135-158.
- Osechas, D. 2007. Producción y comercialización de semillas forrajeras en Venezuela y América latina. *Mundo Pecuario* 3(1):27-33.
- Palma, R. M. P., López, H. A., y Molina, M. J. C. 2000. Condiciones de almacenamiento y germinación de semillas de *Cenchrus ciliaris* L. y *Andropogon Gayanus* Kunth. *Agrociencia* 34 (01):41-48.
- Papalotla, 2002. Manual de actualización técnica. Asesoría Papalotla. Semillas Papalotla, S. A de C. V.
- Papalotla, 2002a. Selección de variedades. Asesoría Papalotla. Semillas Papalotla, S. A de C. V.
- Peralta, M. A. 1990. Pasto Insurgente (*Brachiaria brizantha* (Hochst. Ex. A. Rich.) staff. para incrementar la producción de carne y leche en el trópico de México. INIFAP, SARH. Folleto técnico Num. 1. Oaxaca, México. 20 p.

- Peretti, A. 1994. Manual para análisis de semillas. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 273 p.
- Perry, D. A. 1980. The concept of seed vigor and its relevance to seed production techniques. *In*: Hebblethwaite, P. D. (ed). Seed production. Butterworths, London. pp. 585- 591.
- Quero, C. A. R., Enríquez, Q. J. F., y Miranda, J. L. 2007. Evaluación de especies forrajeras en América tropical, avances o status quo. *Interciencia* 32(8):566-571.
- Quero, C. A. R. 2008. Disponibilidad de semilla de especies forrajeras en México como limitante de la producción extensiva en pastoreo. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Estado de México, México. 5 p.
- Quiroz, W. O., y Carrillo, A. O. 2004. La importancia del insumo semilla de buena calidad. Oficina Nacional de Semillas. Costa Rica. 7 p.
- Ramos, N. 1975. Factores que influyen en la germinación del pasto (*Brachiaria decumbens* stapf). Universidad Nacional-Instituto Colombiano Agropecuario (UN - ICA). Tesis Ms. Sc. Bogotá, Colombia, 128 p.
- Salinas, R. A., Yoldjian, A. M., Craviotto, R. M., y Bisaro, V. 2001. Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. *Pesquisa Agropecuaria* 36(2):371-379.
- Statistical Analysis System SAS. SAS User's Guide (versión 6.12). Cary, USA: SAS Inst. Inc. 1998.
- Torres, S. B. 2004. Teste envelhecimento acelerado em sementes de capim-coloniao. *Revista Brasileira de Sementes* 26(2):20-24.

- Usberti, R., and Martins, L. 2007. Sulphuric acid scarification on effects on *Brachiaria brizantha*, *B. humidicola* and *Panicum maximum* seed dormancy release. *Revista Brasileira de Sementes* 29(2):143-147.
- Usberti, R. 1982. Teste envelhecimento acelerado em sementes de capim-coloniao. *Revista Brasileira de Sementes* 4(1):23-30.
- Vieira, H. D., Da Silva, F. R., y Barros, S. R. 1998. Superação da dormência de sementes de *Brachiaria brizantha* (Hochst.ex a.Rich) Stapf CV. Marandú submetidas ao nitrato de potássio, hipoclorito de sódio, tiouréia e etanol. *Revista Brasileira de Sementes* 20(2):44-47.
- Uribe, T. E. 2000. Evaluación de los hábitos de pastoreo en novillos de engorda Cebú con suplementación de bloques nutricionales y anabólicos en el trópico. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana.
- Vallejos, A. 1988. Características y evaluación agronómica preliminar de accesiones de *Brachiaria spp* y *Panicum spp* en el Trópico Húmedo de Costa Rica. Tesis CATIE, Turrialba, Costa Rica. 125 p.
- Vilela, N. M. T., Soares, P. R., Panobianco, M., y Daiton, V. R. 2005. Testes de vigor para avaliacao de sementes de pepino. *Revista Brasileira de Sementes* 27(1):195-198.
- Vilela, A. R. 1983. Epocas de colheita produção e qualidade de sementes de capim-coloniao. *Revista Brasileira de Sementes* 5(2):9-22.
- Villarreal, M. 1994. Valor nutritivo de gramíneas y leguminosas forrajeras en San Carlos, Costa Rica. *Pasturas Tropicales* 16(1):27-31.

Zelener, N., Cravioto, R. M., Duret, G., y Capriglioni, C. 1990. Prueba de envejecimiento acelerado en girasol (*Helianthus annuus* L.) e interpretación de sus resultados. In: Seminario Panamericano de Semillas. Guatemala.

Zulay, F. V., Montes, J., y Manzano, M. 1998. Efecto de almacenamiento y tratamiento con ácido sulfúrico en semillas de *Brachiaria dictyoneura*. *Zootecnia Tropical* 16(2):277-286.

Zulay, F. V. 1996. Efecto del almacenamiento sobre la calidad de semillas de *Brachiaria dictyoneura*. *Zootecnia Tropical* 14(2):113-131.