

**Desarrollo de Híbridos Simples de Reproducción Sexual y
Determinación de su Compatibilidad en Cruza con Variedades
Apomícticas de Zacate Buffel *Pennisetum ciliare* L.**

SUSANA GÓMEZ MARTÍNEZ

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Grado de**

**DOCTOR EN CIENCIAS
en Fitomejoramiento**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

**Buenvista, Saltillo, Coahuila, México
Junio de 2009**

**Desarrollo de Híbridos Simples de Reproducción Sexual y
Determinación de su Compatibilidad en Cruza con Variedades
Apomícticas de Zacate Buffel *Pennisetum ciliare* L.**

Tesis

Por

SUSANA GÓMEZ MARTÍNEZ

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como
requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

COMITÉ PARTICULAR

Asesor Principal

Ph. D. Jorge Raúl González Domínguez

Asesor

Ph. D. Juan Manuel Martínez Reyna

Asesor

Ph. D. Teodoro Pérez Herrera

Asesor

Ph. D. M. Humberto Reyes Valdés

Asesor

Ph. D. Arturo Palomo Gil

Dr. Jerónimo Landeros Flores
Director de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Junio de 2009

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jorge R. González Domínguez, con inmenso agradecimiento, por su invaluable apoyo durante cada una de las etapas de esta investigación, por sus enseñanzas en el mejoramiento de plantas, por su incondicionalidad y amistad. Por siempre Gracias.

Al Dr. Juan M. Martínez Reyna, por sus sugerencias durante el desarrollo de la investigación y sus atinadas observaciones para mejorar el documento de tesis. Por su amistad, Gracias.

Al Dr. Humberto Reyes Valdés, por su contribución en mi formación académica y aportaciones y sugerencias al trabajo de investigación.

Al Dr. Teodoro Herrera Pérez y Dr. Arturo Palomo Gil, por formar parte de mi Comité Particular de Asesoría, por contribuir con sus conocimientos y experiencias en el mejoramiento del documento de tesis.

A la TLQ Norma Leticia Portos Gaona, por su apoyo y colaboración en los estudios citogenéticos.

A los trabajadores del Campo Experimental de Zaragoza, Coahuila, por su disponibilidad en los trabajos de campo. Al Sr. Hipólito Medrano Coronado por su apoyo en los trabajos de invernadero.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico proporcionado durante el período de mis estudios de Doctorado.

A mi ***Alma Mater*** por el apoyo recibido durante mis estudios de Doctorado, que me permitieron profundizar en el conocimiento del mejoramiento de plantas y por brindarme la oportunidad de trabajar y superarme continuamente en esta maravillosa área.

DEDICATORIA

A DIOS:

Por la vida, por conducirme por el camino de la Verdad, la Justicia y el Amor. Por brindarme tantas alegrías y darme fortaleza ante las adversidades. Porque sin El nada es posible

A MIS PADRES

Manuel Gómez G. y Andrea Martínez C.

Por que sus vidas definieron la mía. Su carácter de fortaleza, valor y firmeza para la lucha me ayudó a ser quien hoy soy y aunque ya no me acompañan, su recuerdo está siempre conmigo. Por ese gran amor y pasión como se entregaron a sus hijos,
Benditos sean.

A MIS HERMANOS Y SOBRINOS

Con mucho amor y agradecimiento, por los momentos de alegría y de tristeza que hemos compartido, que nos fortalecen y nos unen más como familia.

COMPENDIO

Desarrollo de Híbridos Simples de Reproducción Sexual y Determinación de su Compatibilidad en Cruza con Variedades Apomícticas de Zacate *Buffel Pennisetum ciliare* L.

POR

SUSANA GÓMEZ MARTÍNEZ

DOCTORADO EN CIENCIAS
FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. JUNIO 2009

Ph. D. Jorge Raúl González Domínguez – Asesor—

Palabras Clave: *Pennisetum ciliare*, Apomixis, Híbridos Sexuales, Hibridación, Caracterización Morfológica,

Con los objetivos de generar poblaciones y subpoblaciones de zacate buffel de mayor variabilidad genética que permitan la selección de individuos que conjunten diferentes características de importancia agronómica, en el Programa de Mejoramiento de Especies Forrajeras de la UAAAN se generó en 2005 una población de 6230 híbridos F_1 por cruzamiento de sexual por apomíctico (TAM-CRD B1s x Zaragoza 115). En 2006 se establecieron en el campo y se seleccionaron 518 plantas (híbridos) F_1 por su mayor producción de

panículas y biomasa. En 2007 se evaluaron agrónomicamente 368 familias F_2 , y mediante pruebas de progenie, se determinó que 168 plantas F_1 son de reproducción sexual y 200 son apomícticas. Las pruebas de X^2 indicaron un ajuste a la proporción 1:1 para plantas F_1 sexuales y apomícticas. Con base en la producción de panículas de las plantas F_1 y la producción de materia seca de las progenies F_2 , se seleccionaron 31 plantas F_1 sexuales. En 10 de estas se estudió su compatibilidad en cruce con nueve variedades apomícticas. En panículas emasculadas se obtuvieron 262 cariósides de los noventa cruzamientos con una media de 2.9 cariósides por panícula. Las panículas sin emasculación promediaron 65 cariósides/panícula totalizando 5661 cariósides. De acuerdo a los resultados, es posible un gran flujo de genes entre materiales, y por lo tanto formar distintas poblaciones de amplia variabilidad genética que permitan seleccionar genotipos superiores. En junio de 2006 se realizaron hibridaciones de B-1s con las variedades Biloela, Formidable y Nueces, los resultados indicaron que las tres variedades son compatibles en cruce con B-1s, en el conteo de cromosomas se observó que la variedad Biloela es pentaploide y Formidable es tetraploide con 45 y 36 cromosomas respectivamente. Se realizó una caracterización de los nueve progenitores involucrados en esta investigación, los análisis de varianza indicaron diferencias significativas para 18 variables. El híbrido AN17PS se distingue de la variedad Común en varias características morfológicas y cumple por lo tanto con el requisito de distinción que establecen las normas oficiales para el registro y derechos de propiedad intelectual de nuevas variedades.

ABSTRACT

Development of Simple F₁ Hybrids of Sexual Reproduction and Determination of their Cross Compatibility with Apomictic Buffelgrass (*Pennisetum ciliare* L.) Cultivars

By

SUSANA GÓMEZ MARTÍNEZ

**DOCTOR OF SCIENCE
PLANT BREEDING**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILO, COAHUILA. JUNE 2010

Dr. Jorge R. González Domínguez —Advisor—

Key words: *Pennisetum ciliare*, Apomixis, Sexual Hybrids, Hybridization, Morphologic Characterization

With the objectives of developing buffelgrass' populations and subpopulations with wide genetic diversity in order to select genotypes with superior multiple traits, the Programa de Mejoramiento de Especies Forrajeras de la UAAAN, in 2005 developed a population of 6230 F₁ hybrids by crossing of

sexual per apomictic (TAM-CRD B1s x Zaragoza 115). In 2006 were established the field and selected 518 F₁ plants (hybrids) by their good biomass and panicles production. In 2007 368 F₂ families were agronomically assessed and through progeny test we determinate that 168 F₁ plants were of sexual reproduction and 200 apomictic reproduction. The X² tests indicated adjust to ratio 1:1 to sexual and apomictic plants. According to the results of F₁ plants and F₂ family's evaluations we obtained 31 F₁ sexual plants. In 10 of these we studied their compatibility in cross with nine apomictic varieties. In emasculated panicles we got 262 caryopses of 90 crosses and the general average was 2.9 caryopses per panicle. The crosses without emasculation averaged 65 caryopses per panicle and obtained 5661 caryopses. It is possible a great gene flow among different materials, so we can make different populations of wide genetic variability that allow us select superior genotypes with commercial potential. In June 2006 hybridizations among B-1s with cultivars Biloela, Formidable and Nueces were made in a greenhouse. Results indicated all three cultivars are cross compatible with B-1s, chromosome counts indicated Biloela is a pentaploid and Formidable is a tetraploid with 45 and 36 chromosomes respectively. Characterization of the nine male parents was made in 2007. The analysis of variance indicated significant differences for 18 variables. The hybrid AN17PS was different of Common variety in some morphological characteristics so it fulfill the requisite of distinction that establishes the official norms to register for intellectual propriety or plant breeders rights.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	<i>Página</i>
ÍNDICE DE CUADROS.....	<i>xiii</i>
ÍNDICE DE FIGURAS.....	<i>xv</i>
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos.....	7
REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
Importancia de las Especies Forrajeras.....	8
Importancia del Zacate Buffel.....	9
Superficie de Zacate Buffel.....	10
Problemas Fitopatológicos en la Especie.....	11
Citogenética del Zacate Buffel.....	12
Reproducción Sexual en Angiospermas.....	13
Reproducción Asexual.....	14
Reproducción del Zacate Buffel.....	14
Apomixis.....	16
Prevalencia de la Apomixis.....	18
Mecanismos de la Apomixis.....	18
Formas de Apomixis.....	24
Control de la Apomixis.....	25
Indicadores de la Apomixis.....	31
Consecuencias de la Apomixis.....	33
Ventajas de la Apomixis.....	33
Apomixis y Mejoramiento del Zacate Buffel	36

	<i>Página</i>
Autofecundación.....	37
Hibridación de TAM CRD B-1 _s con Apomícticos.....	37
Hibridación BIII (Híbridos 2N+N).....	38
MATERIALES Y MÉTODOS	40
Localidades Experimentales.....	40
Buenavista, Saltillo, Coahuila.....	40
Zaragoza, Coahuila.....	41
Origen y Características del Material Biológico.....	41
Obtención de Híbridos Simples e Identificación de su Modo de Reproducción.....	46
Obtención, Desarrollo y Evaluación de Híbridos Simples de la Cruza TAM CRD B-1s x Z-11.....	46
Modo de Reproducción de Híbridos de Cruza Sexual x Apomíctico Mediante Pruebas de Progenie (Familias F ₂).....	50
Compatibilidad de Hembras F ₁ Sexuales en Cruza con Machos Apomícticos.....	54
Selección de Plantas F ₁ Sexuales.....	54
Obtención de Plantas F ₁ Sexuales.....	55
Hibridaciones en Invernadero.....	55
Compatibilidad en Cruza de Biloela, Formidable y Nueces con el Clon Sexual B-1s	57
Análisis Estadístico.....	58
Estudios Citológicos.....	58
Caracterización Morfológica de Progenitores.....	61
Diseño Experimental.....	61
Datos Registrados.....	62
Análisis Estadístico.....	66

	<i>Página</i>
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	68
Obtención de Híbridos Simples e Identificación de su Modo de Reproducción	68
Evaluaciones Cuantitativas.....	70
Modo de Reproducción de los Híbridos F ₁	76
Características Agronómicas de las Familias F ₂	81
Producción de Forraje Verde.....	81
Rendimiento de Materia Seca.....	84
Reacción al Tizón.....	86
Tolerancia a Heladas.....	87
Rebrote.....	88
Compatibilidad en Cruza del Nuevo Germoplasma Sexual	90
Selección de Plantas F ₁ Sexuales.....	90
Hibridaciones en Invernadero.....	93
Compatibilidad en Cruza de Biloela, Formidable y Nueces con el Clon Sexual B-1s.....	98
Complementos Cromosómicos de Biloela y Formidable	99
Caracterización Morfológica de Variedades de Zacate Buffel.....	102
Características Cuantitativas.....	102
Componentes Principales.....	116
Variables Cualitativas.....	123
CONCLUSIONES	125
RESUMEN	127
LITERATURA REVISADA	130
APÉNDICE	142

INDICE DE CUADROS

<i>Cuadro No.</i>		<i>Página</i>
4.1.	Descriptores estadísticos para panículas por planta y materia seca de 510 híbridos de zacate buffel (B-1s x Z-115). Zaragoza, Coah.2006	72
4.2	Modo de reproducción de híbridos F ₁ de zacate buffel de la cruce del clon sexual (B-1s) x Z-115. Lote I. Zaragoza, Coahuila. 2007.....	77
4.3.	Descriptores estadísticos para la producción de forraje verde (t ha ⁻¹) de progenies F ₂ de zacate buffel (lote I). Zaragoza, Coah. 2007	81
4.4.	Descriptores estadísticos para la producción de forraje verde (t ha ⁻¹) de progenies F ₂ de zacate buffel (lote II). Zaragoza, Coah. 2007	84
4.5	Descriptores estadísticos para el rendimiento de materia seca (t ha ⁻¹), de progenies F ₂ de zacate buffel derivadas de reproducción sexual. Zaragoza, Coah. 2007.	85
4.6	Híbridos F ₁ de reproducción sexual seleccionados, origen y producción de panículas por planta y rendimiento de materia seca de sus progenies F ₂ . Lote I. Zaragoza, Coah. 2007	91
4.7	Producción de panículas de 14 plantas F ₁ sexuales y producción de forraje seco de sus progenies F ₂ . Lote II. Zaragoza, Coah. 2007.....	92
4.8	Cariópsides producidos en cruzamientos de diez hembras F ₁ de reproducción sexual (con emasculación) con nueve machos apomícticos de zacate buffel <i>Pennisetum ciliare</i> L. Saltillo, Coah. 2008.....	95
4.9	Cariópsides por panícula producidos en cruzamientos de diez hembras F ₁ de reproducción sexual (sin emasculación) con nueve machos apomícticos de zacate buffel <i>Pennisetum ciliare</i> L. Saltillo, Coah. 2008	98

<i>Cuadro No.</i>		<i>Página</i>
4.10	Panículas e involucros polinizados, número de cariósides y porcentaje de fertilidad en los cruzamientos del clon sexual B-1s con tres variedades apomícticas de zacate buffel. Saltillo, Coah. 2006.....	99
4.11	Comparación de medias de panículas por planta, rendimiento de semilla y altura de planta de variedades de zacate buffel. Saltillo, Coahuila. 2007.....	103
4.12	Comparación de medias de altura de planta, entrenudos por tallo y longitud de entrenudos en dos evaluaciones de variedades de zacate buffel. Saltillo, Coah. 2007.....	106
4.13.	Comparación de medias de grosor de los nudos, longitud de hoja bandera, ancho de hoja bandera y número de ramificaciones por tallo de variedades de zacate buffel. Saltillo, Coah. 2007.....	110
4.14	Comparación de medias de longitud de la cerda más larga, espiguillas por involucro, longitud de panícula, involucros por panícula, peso de involucros por panícula, peso de 1000 cariósides de variedades de zacate buffel. Saltillo, Coah. 2007.....	113
4.15	Coeficientes de los tres primeros componentes principales en variedades de zacate buffel. Saltillo, Coah. 2007.....	117
4.16.	Variables cualitativas de variedades de zacate buffel. Saltillo, Coah. 2007.....	124

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura No.</i>		<i>Página</i>
4.1.	Cromosomas de la variedad Biloela en prometafase de mitosis $2N=5X=45$	100
4.2	Cromosomas de la variedad Formidable en prometafase de mitosis $2N=4X=36$	100
4.3	Distribución espacial de las variables en los dos primeros componentes principales (CP1, CP2).....	119
4.4	Distribución espacial de las variedades en el espacio generado por los dos primeros componentes (CP1, CP2).	121

INTRODUCCIÓN

El zacate buffel (*Pennisetum ciliare* L.) es una gramínea perenne que es consumida por animales domésticos y silvestres en varios países del Continente Americano, desde el sur de Texas en Estados Unidos hasta Argentina. Esta extensa distribución latitudinal del zacate buffel es casi tan amplia como la que presentan algunos zacates nativos como son: banderilla y navajita azul (*Bouteloua curtipendula* y *B. gracilis* respectivamente) que muestran una variedad de formas (González y Garza, 1974; González *et al.*, 1979).

El zacate buffel no es originario del hemisferio occidental, la diversidad de tipos morfológicos que existen en el continente africano indica que la especie muy probablemente se originó en África, particularmente en Sudáfrica, de donde se dispersó hacia el norte y hacia el este hasta alcanzar la parte occidental de la India (Bashaw, 1985). El zacate buffel en el continente americano es una especie introducida por el hombre de manera intencional. Como es de esperarse entonces, en América el zacate buffel muestra una gran carencia de variabilidad morfológica y genética. Esta falta de variabilidad genética del zacate buffel es el resultado de la introducción de sólo una pequeña fracción de la variabilidad natural existente en los lugares de origen y

de dispersión primaria. Un primer factor que genera preocupación es el hecho de haberse convertido, después de 50 años de haber sido liberada la primera variedad seleccionada en América, en la gramínea de mayor importancia económica para la ganadería extensiva del noroeste y noreste de México y sur de Texas, ocupando hace unos años, aproximadamente 4 millones de hectáreas (O'cumpaugh y Rodríguez, 1998).

La uniformidad genética es preocupante en cualquier especie porque conduce a la vulnerabilidad genética. Cuanto más uniforme es una especie genéticamente, más vulnerable es al ataque de biotipos virulentos de plagas y enfermedades (Committee on Genetic Vulnerability of Mayor Crops, 1972).

Un segundo factor que contribuyó a la uniformidad genética fue la dispersión de un solo genotipo, la línea T-4464 conocida mejor como zacate buffel Común (Holt, 1985). Una tercera y muy importante causa de la extrema uniformidad de los pastizales mexicanos de zacate buffel, es la reproducción apomíctica de la especie (Fisher *et al.*, 1954; Snyder *et al.*, 1955) que al multiplicarse por semilla de origen asexual se genera la clonación del genotipo materno. De hecho, la especie fue considerada un apomíctico obligado.

Por otra parte, el zacate buffel no tuvo problemas importantes con enfermedades hasta la década de los 1980's (Hanselka, 1988). Al principio de la década de los 1990's apareció una enfermedad foliar en el zacate azul de Kentucky conocida en otros zacates como mancha gris de los pastos. Al mismo

tiempo apareció en el zacate buffel variedad Común (T-4464) una enfermedad foliar (González, 2002) que alcanzó nivel de epifitía a los pocos años de su aparición y que más tarde fue diagnosticada como un tizón resultante del ataque del hongo *Pyricularia grisea* (Rodríguez *et al.*, 1999), el mismo agente causal de la mancha gris de los pastos (Malca y Owen, 1957). En casos extremos el tizón del zacate buffel destruye hasta el 90 por ciento del follaje de las plantas y ataca también las panículas, causando pérdidas considerables en la producción y calidad de la semilla (Rodríguez, 1998; Cook *et al.*, 2005).

Superficies comerciales de zacate buffel variedad Común han sido devastadas por el tizón foliar en el sur de Estados Unidos y en América Central. En Australia se destaca tanto la importancia de esta enfermedad al grado que la descripción de las nuevas variedades incluye el tipo de reacción al tizón de la hoja del zacate buffel. La extrema susceptibilidad de la variedad Común a esta enfermedad y en consecuencia la gran vulnerabilidad genética de los pastizales de buffel, que ocupan dos millones de hectáreas en nuestro país, hacen que el desarrollo de variedades de zacate buffel con resistencia al tizón foliar sea de gran importancia para la estabilidad de la producción forrajera y la sanidad de los pastizales áridos y semiáridos.

Por otra parte, los altos índices de contaminación ambiental se han convertido en un grave peligro para la humanidad, ya que se ha elevado la concentración de gases invernadero en la atmósfera lo que ha conducido a cambios en el clima por el calentamiento global. En unas cuantas generaciones

la humanidad estará agotando las reservas de combustible que se formaron en varios cientos de millones de años; además, la mayor parte del incremento de los gases invernadero viene de la combustión de dichos combustibles fósiles y de las fases de refinación, distribución y uso del producto. Los biocombustibles se presentan como una alternativa para reducir los índices de contaminación, ya que en relación al petróleo, casi todos los biocombustibles reducen las emisiones de gases invernadero (González y Gómez, 2008). Varias especies de pastos tienen potencial como fuentes de biomasa para producir etanol.

En la actualidad se hace necesario generar y desarrollar variedades de zacate buffel que puedan contribuir en gran medida a incrementar la producción de biomasa para utilizarlos como materia prima para la producción de biocombustible celulósico; además, los forrajes tienen una función vital en el ciclo del aire produciendo O_2 , ya que manejan el grueso del secuestro de carbono en muchas áreas alrededor del mundo. Se requiere que estas variedades reúnan varias características de importancia agronómica, que además de la producción de forraje, incorporen buena producción de semilla, mayor calidad de forraje, mayor tolerancia al frío y a la sequía, reducida latencia de la semilla, resistencia al tizón, etc. que contribuyan a aliviar la fragilidad de los sistemas de producción ganadera y la vulnerabilidad genética de millones de hectáreas de zacate buffel ocupadas con la variedad Común, que es altamente susceptible al tizón.

La reproducción apomítica del zacate buffel ha anulado las características propias de la especie que le permiten generar gran variabilidad genética, como son por una parte, el hábito protogíneo que determina primero la receptividad de los estigmas anticipándose a la liberación del polen de las anteras de la misma flor y por otra parte la naturaleza del polen que es llevado fácilmente por el viento. En otras palabras, la falta manifiesta de variabilidad fenotípica en el zacate buffel no se debe a que no exista variabilidad genética si no a que la apomixis impide su liberación, ya que este modo de reproducción restringe el flujo de genes entre plantas de zacate buffel y en consecuencia la formación de nuevas combinaciones de características.

Por consiguiente, todas las variedades desarrolladas hasta la década de los 1960's se obtuvieron por selección de ecotipos por ser la única manera de aprovechar la variabilidad existente en las poblaciones naturales. En su habitat nativo, la especie es polimórfica y presenta muchos ecotipos diferentes, pero apomíticos. Aunque la apomixis es prevalente dentro de la especie, el descubrimiento de reproducción sexual en el zacate buffel constituyó un parte aguas en el mejoramiento genético de esta gramínea forrajera. En los 1960's y 1970's aparecieron las primeras variedades generadas por autofecundación del clon sexual y selección de genotipos S_1 apomíticos (Higgins) y por cruzamiento de éste, seguido de selección de genotipos apomíticos, entre las progenies F_1 (Nueces y Llano). Estos nuevos esquemas de mejoramiento del zacate buffel fueron propuestos por Taliaferro y Bashaw en 1966. La disponibilidad de una fuente de sexualidad hizo posible que el hombre genere,

busque, detecte y seleccione, a voluntad, individuos con combinaciones de genes favorables a sus intereses y necesidades.

Aún cuando en la UAAAN se ha utilizado el método de generar híbridos F_1 propuesto por Taliaferro y Bashaw, se sigue teniendo una restricción en el flujo de genes ya que existe un sólo genotipo para utilizarse como progenitor femenino (TAM CRD B1s). La estrategia ideal sería poder combinar características favorables de varios genotipos, para implementar un mecanismo de resistencia durable, a través del despliegue de genes mayores de resistencia, que involucren la formación de variedades multilineales, o el uso de mezclas de variedades, ya que la durabilidad de la resistencia no es únicamente una cuestión de genes, sino también del sistema de cultivo. Ésta es una de las estrategias que se ha implementado para prolongar la estabilidad de los genes de resistencia a las enfermedades.

Por lo anterior los objetivos de la presente investigación fueron:

Objetivo General

Generar poblaciones y subpoblaciones de mayor variabilidad genética que permitan la selección de individuos que conjunten diferentes características de importancia agronómica, para el desarrollo de mejores variedades de zacate buffel de uso tradicional y nuevos usos.

Objetivos Específicos

1. Producir híbridos simples con el clon sexual TAM CRD B1s como hembra y la variedad Zaragoza 115 como progenitor masculino.
2. Evaluar en campo no menos de 5000 híbridos F_1 como plantas individuales.
3. Evaluar en campo las familias F_2 de híbridos F_1 seleccionados para identificar aquellos de reproducción sexual.
4. Seleccionar híbridos F_1 de reproducción sexual y desarrollar líneas hembra para uso en diferentes esquemas de hibridación.
5. Con los materiales y la información obtenida en las fases previas, programar y realizar cruzas experimentales para conocer la compatibilidad del nuevo germoplasma de reproducción sexual con las variedades caracterizadas morfológicamente y estudiadas citológicamente. Esto permitirá conocer la factibilidad de lograr poblaciones resultantes de cruzas triples, retrocruzas, cruzas fraternales, etc. en las cuales se esperaría amplia variabilidad genética.
6. Obtener información mediante cruzas exploratorias sobre la compatibilidad con el clon sexual B-1s de tres variedades apomícticas.
7. Obtener información citológica de dos variedades comerciales apomícticas de las cuales se desconoce su nivel de ploidía.
8. Caracterizar morfológicamente en el campo variedades comerciales y líneas experimentales de zacate buffel.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia de las Especies Forrajeras

México tiene una superficie de 197,772,300 ha, de estas 20,863,600 (10.5 por ciento) se destinan a asentamientos humanos, industria extractiva, caminos, etc. Para actividades agrícolas se destinan aproximadamente 24,529,800 ha (12.4 por ciento), a bosques y selvas corresponden 44,523,200 ha (22.5 por ciento) y el 54.5 por ciento (107,855,700 ha) del territorio nacional está destinado a actividades ganaderas; además, el 10 por ciento de la superficie correspondiente a uso agrícola se destina a la producción de forrajes, por lo que el porcentaje total para actividades ganaderas se incrementa a 57 por ciento del territorio nacional (Nolasco, 1995). De acuerdo a lo anterior la ganadería es la actividad económica de mayor importancia en las zonas áridas y semiáridas de México.

En el noreste del país, donde predominan los sistemas de producción extensiva 21,083,877 ha (más del 50 por ciento de la superficie) se dedica a actividades ganaderas (SAGARPA, 2004). Las gramíneas nativas perennes tienen un lugar importante como plantas forrajeras en estas regiones; sin embargo, varias especies introducidas han sido preferidas por los ganaderos, por lo que son más ampliamente utilizadas en los programas de rehabilitación de pastizales.

Importancia del Zacate Buffel

El zacate buffel (*Pennisetum ciliare* L.) es la especie forrajera más importante para la ganadería extensiva del norte de México y sur de Texas debido principalmente a sus características agronómicas de resistencia a la sequía, producción de forraje y su buena adaptabilidad a las zonas áridas (Holt, 1985; Hanselka, 1988).

Varios documentos avalan que el zacate buffel ha aumentado la capacidad de carga animal en varios estados del país. Hanselka (1988) menciona que el zacate buffel produce de 10 a 12 veces más forraje que la vegetación nativa, tanto en el sur de Texas como en el noroeste de México. En Sonora el coeficiente de agostadero de la vegetación nativa en buena condición es de 27 ha/UA, con praderas de buffel se reduce a 3 ha/UA (Hanselka y Johnson, 1991). En Sinaloa, los coeficientes de agostadero naturales son de 30, 20, y 15 ha/UA; sin embargo, con praderas de buffel es de 2 ha/UA (Romero, 1981).

En el estado de Tamaulipas se consideró al zacate buffel para el programa de cambio de uso del suelo consistente en sustituir al sorgo de grano de temporal en 240,000 ha (SAGARPA, 2002). Entre las variedades de zacate buffel aprobadas para utilizarse en este proyecto se incluyó al híbrido AN17PS (H-17), variedad generada y liberada por el Programa de Pastos de la UAAAN (González y Gómez, 2000).

Superficie de Zacate Buffel

Existen diversas estimaciones sobre la superficie ocupada con zacate buffel, Hanselka (1988) estimó para México una superficie de 700,000 ha; Saldívar (1991) 2 millones de hectáreas e Ibarra *et al.* (1991) reportaron 1.5 millones de ha, Alcalá (1995) calculó más de 4 millones de ha en el país. Las superficies más importantes están distribuidas de la siguiente manera: Sonora 750,000 ha, Tamaulipas 500,000, Nuevo León 300,000, Sinaloa, 32,000 y Coahuila 30,000 ha (Ortega *et al.*, 2003). SIAP (2007) reporta para el estado de Coahuila 53,281 ha. O'cumpaugh y Rodríguez (1998) reportaron más de 4 millones de hectáreas entre Texas y México; se considera que aproximadamente el 99 por ciento de esta superficie está ocupada con la variedad Común.

La variedad Común (identificada como T- 4464) fue obtenida por Selección de Ecotipos, debido al modo de reproducción apomíctico de la especie. Esta variedad fue liberada informalmente en 1949 por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América (Holt, 1985) y a partir de esta fecha se dispersó rápidamente por todo el Continente Americano. Común es un excelente productor de semilla, así como muy tolerante a la sequía, por lo que las pocas variedades que han sido liberadas no han podido competir con esta variedad. Por la vulnerabilidad genética que ocasiona el uso extensivo de un sólo genotipo, no es conveniente que la superficie de buffel se siga incrementando con una sola variedad (González, 2002).

Problemas Fitopatológicos en la Especie

Debido a la existencia de enormes superficies ocupadas con una sola variedad durante más de 40 años y al modo de reproducción apomíctico del zacate buffel, se ha desarrollado una gran uniformidad en la especie. Esto originó una situación de gran vulnerabilidad genética para el zacate buffel, ya que a mayor uniformidad genética de los cultivos mayor es la vulnerabilidad de los mismos, cuando se presentan condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de una epifitía (Committee on Genetic Vulnerability of Major Crops, 1972).

En la década de los 90's se presentó una epifitía de tizón foliar en zacate buffel causada por el hongo *Pyricularia grisea* (O'cumpaugh y Rodriguez, 1998; Rodriguez *et al.*, 1999). Esta enfermedad se ha dispersado en todas las áreas buffeleras donde se encuentra establecida la variedad Común. Perrot y Chakraborty (1999), en Australia, registraron como susceptibles a las variedades Común, Biloela y Gayndah; en este país se ha detectado al tizón como una de las pocas enfermedades graves que atacan al zacate buffel, donde llegó a destruir completamente los cultivos, especialmente en la época de lluvias (Bogdan, 1997). O'cumpaugh y Rodriguez (1998) en E.U. registraron como susceptibles a las variedades Común, Gayndah y Nueces. En México se ha observado a esta enfermedad atacando severamente a la variedad Común en Cuencamé, Dgo; Zaragoza, Coah y Matehuala, S.L.P. En Cuba fue observada en la Estación Experimental de Indio Hatuey (González, 2002).

González (2002) menciona que el tizón del zacate buffel es una agresiva enfermedad que puede ocasionar pérdidas muy serias a los pastizales de las zonas semiáridas y a la ganadería de estas regiones, debido a que pueden presentarse diferentes razas fisiológicas en el hongo capaces de afectar seriamente a esta gramínea forrajera, por lo que sería inconsciente pensar en el tizón del zacate buffel como un problema pasajero, ya que el hongo puede generar nuevas variantes capaz de infectar a nuevas especies de gramíneas de importancia económica.

Citogenética del Zacate Buffel

Antes de iniciar un programa de hibridación, es requisito indispensable conocer el número de cromosomas de los materiales involucrados, sobre todo en los zacates tropicales donde existe una amplia diversidad citogenética ya que se presentan diferentes niveles de ploidía. El número cromosómico varía aún dentro de la misma especie y algunos géneros tienen especies con diferente números básicos de cromosomas. *Paspalum* tiene números básicos de 6 y 10; *Panicum* 8, 9 y 10 y *Pennisetum* 5, 7, 8 y 9 (Burson y Young, 2001).

Los primeros estudios citogenéticos realizados en zacate buffel por Fisher *et al.* (1954) y por Snyder *et al.* (1955) permitieron determinar que el número básico de cromosomas del zacate buffel es de $X=9$ y que los materiales con 36 cromosomas son tetraploides, los de 54 cromosomas son hexaploides y los materiales con 32, 40 y 48 cromosomas son aneuploides. Posteriormente

los trabajos realizados por Visser *et al.* (1998) confirmaron este número básico de cromosomas de la especie ($X=9$) y probaron que los niveles de ploidía más comunes en orden ascendente fueron: tetraploides, pentaploides y hexaploides. Los tetraploides representan el porcentaje más elevado (83 por ciento) y el 1.35 por ciento de los materiales analizados fueron aneuploides. Estas observaciones citológicas permitieron determinar que los tetraploides son los genotipos más frecuentes y son allotetraploides segmentales (Fisher *et al.*, 1954; Snyder *et al.*, 1955). Esta condición fue demostrada posteriormente por estudios moleculares (Jessup *et al.*, 2003).

Reproducción Sexual en Angiospermas

Koltunow y Grossniklaus (2003) mencionan que en las especies sexuales se requiere una secuencia estrictamente ordenada y definida de eventos para producir semillas viables. Hanna y Bashaw (1987) mencionan que en la reproducción sexual la meiosis y la fertilización se involucran en el desarrollo del embrión, lo cual permite la recombinación, la segregación y la variabilidad genética. Asker (1979) menciona que este modo de reproducción implica una doble fertilización, donde la célula huevo o gameto femenino es fertilizado por el polen o gameto masculino (ambos gametos reducidos, a condición haploide por una meiosis previa) para formar el cigote donde se restituye la condición diploide, el cual va a dar lugar al embrión, el otro núcleo espermático se une con los dos núcleos polares para formar el endospermo.

En las especies sexuales la polinización y subsecuente doble fertilización en el óvulo normalmente son requeridos para el desarrollo de frutos y semillas (Koltunow y Grossniklaus, 2003). La reproducción sexual genera progenie genéticamente diversa debido a la recombinación y segregación de los genes derivados de ambos padres (Koltunow *et al.*, 1995).

Reproducción Asexual

Nogler (1984) menciona que la reproducción asexual por semilla es un método de camino reducido, ya que el individuo se propaga con las mismas características y constitución genética que la planta madre, por lo tanto no hay variabilidad genética. Debido a que en este modo de reproducción el proceso meiótico y la fertilización son omitidos en el desarrollo del embrión, la semilla se produce sin la fusión de los gametos, por lo que la progenie de este tipo de plantas siempre es una réplica exacta del progenitor femenino.

Reproducción del Zacate Buffel

Fisher *et al.* (1954) fueron los primeros en documentar la apomixis como el modo de reproducción prevalente en el zacate buffel; ellos basaron sus aseveraciones principalmente en tres aspectos: siendo buffel una especie de polinización cruzada se observó una gran similitud entre la progenie y el progenitor femenino; segundo, la presencia de materiales aneuploides y tercero, el desarrollo de embriones a partir de gametofitos nucelares; considerando este último como la evidencia más contundente de apomixis en la especie.

Posteriormente Snyder *et al.* (1955) confirmaron este modo de reproducción y propusieron que el mecanismo de apomixis en zacate buffel es aposporia seguido por pseudogamia, con base en las observaciones de sacos embrionarios con cuatro núcleos y la presencia de sacos embrionarios múltiples, demostraron que la polinización era necesaria para el desarrollo del endospermo y asumieron apomixis obligada en la especie.

Estudios posteriores por Bray (1978) evidenciaron la existencia de apomixis facultativa en la especie, con base en la presencia de progenie fuera de tipo en plantas de reproducción apomíctica y confirmada posteriormente por Sherwood *et al.* (1980) quienes observaron la presencia de sacos embrionarios sencillos tipo polígono y sacos embrionarios apósporos en la misma inflorescencia, incluso ambos tipos fueron observados en el mismo pistilo.

El descubrimiento más importante dentro del proceso evolutivo del zacate buffel fue el de una planta de zacate buffel capaz de reproducirse sexualmente (Bashaw, 1962). Con ello, los enfoques en el mejoramiento genético de la especie cambiaron; así mismo, el concepto que se tenía de la apomixis como un obstáculo al mejoramiento genético de las plantas y un bloqueo a la evolución cambió totalmente. Actualmente se considera a la apomixis como una herramienta útil que fija el genotipo y permite el mantenimiento de características agronómicas deseables a pesar de la heterocigosis (Taliaferro y Bashaw, 1966).

La expresión de Darlington “la apomixis es una escape de la esterilidad, pero un escape a un callejón ciego evolucionariamente hablando” infiriendo que los apomícticos están destinados a la extinción, ha cambiado totalmente. Los estudios para comprender este fenómeno reproductivo se han incrementado sustancialmente, arrojando información de que la apomixis no es un fenómeno raro en el reino vegetal (Bashaw, 1980a).

Apomixis

La apomixis, llamada también agamosperma, significa reproducción asexual por semilla o apomixis por semilla, en la cual un embrión se desarrolla dentro de un óvulo sin involucrar meiosis y fertilización (Bath *et al.*, 2005). Esto conduce a la producción de progenie clonal, es decir cuyo genotipo es idéntico al de la planta madre (Nogler, 1984; Koltunow y Grossniklaus, 2003), debido a que en la apomixis, el embrión se forma sin la unión de los gametos: huevo y núcleo espermático (Bashaw y Hanna, 1990). En el mismo sentido Koltunow *et al.* (1995) mencionan que los procesos apomícticos ocurren en el óvulo, resultando en progenie que son copias genéticamente exactas de la planta madre debido a que la fertilización no es necesaria para producir un embrión apomíctico.

Richards (2003) menciona que los elementos esenciales de la apomixis son: omisión de la meiosis reduccional, desarrollo del huevo o cigoto no fertilizado y desarrollo independiente del endospermo.

Koltunow *et al.* (1995) mencionan que la apomixis elimina la necesidad de los eventos que son considerados esenciales para un éxito completo en la formación de la semilla: la meiosis está desarticulada del desarrollo del gametofito; de la misma manera, la formación de la célula huevo y la doble fertilización están desarticuladas del desarrollo del embrión y del endospermo y sorprendentemente aun así se forma una semilla

Asker (1979) menciona que la apomixis implica dos desviaciones principales de la reproducción sexual:

1. La formación de sacos embrionarios no reducidos.
2. La capacidad de la célula huevo para desarrollarse partenogénicamente para producir el embrión.

Con base en lo anterior menciona que la apomixis es un reemplazo total o parcial del ciclo sexual, por alguna forma de reproducción asexual. Esta aseveración coincide con la definición original de apomixis propuesta por Winkler que menciona: “la apomixis es la sustitución de la reproducción sexual por otros procesos reproductivos asexuales que no involucran fusión nuclear o celular” (Stebbins, 1941).

Koltunow y Grossniklaus (2003); Dwivedi *et al.* (2007) mencionan que los componentes claves de la apomixis incluyen formación del gameto femenino sin meiosis (apomeiosis), desarrollo del embrión independiente de la fertilización (partenogénesis) y la formación de un endospermo funcional que requiere

ciertas adaptaciones de desarrollo. Los caminos de desarrollo de la apomixis y la sexualidad están estrechamente correlacionados, por lo que la apomixis puede ser vista como una desregularización del proceso sexual en tiempo y espacio conduciendo a cambios en el destino putativo de la célula y la omisión de pasos críticos en los procesos sexuales (Koltunow, 1993; Spillane *et al.*, 2001).

Prevalencia de la Apomixis

Existen muchas pruebas documentadas sobre la ocurrencia de la apomixis en las angiospermas. Bashaw y Hanna (1990) mencionan que la apomixis se presenta en más de 35 familias y 300 especies. Noyes y Rieseberg (2000) mencionan que se presenta en más de 40 familias de angiospermas, pero es más frecuente en las familias Poaceae, Asteraceae y Rosaceae. También se ha observado en la familia Orchidaceae pero no es muy común en cultivos agrícolas con la excepción de manzano y el género *Citrus* (Bicknell y Koltunow, 2004).

Mecanismos de la Apomixis

Gustafsson (1946) y Koltunow (1993) clasifican la apomixis de acuerdo al origen en: esporofítica y gametofítica; estos dos mecanismos se diferencian en la formación o no de un saco embrionario y en el tipo de célula que va a dar lugar al embrión.

Apomixis Esporofítica

En este tipo de apomixis no se forma un saco embrionario, sino que el embrión se desarrolla directamente del nucelo o de los integumentos del óvulo en un proceso llamado embrionía adventicia (Bath *et al.*, 2005; Dwivedi *et al.*, 2007). La sobrevivencia del embrión depende de la habilidad de los embriones adventicios para alcanzar un buen desarrollo y tener acceso a los nutrientes del endospermo (Koltunow y Grossniklaus, 2003), es común en los géneros *Citrus*, *Orchis* y *Mangifera* (Richards, 2003).

Apomixis Gametofítica

Durante el desarrollo de la apomixis gametofítica, se observan tres principales componentes: la generación de una célula capaz de formar un saco embrionario sin una meiosis previa (apomeiosis), el desarrollo de un embrión independiente de la fertilización (partenogénesis) y el desarrollo autónomo del endospermo o un endospermo derivado de la fertilización (Bath *et al.*, 2005).

La apomixis gametofítica se divide en dos mecanismos: diplosporia y aposporia, estos se diferencian por el origen de la célula que va a dar lugar al saco embrionario. En ambos procesos gametofíticos, debido a la apomeiosis, los núcleos resultantes del saco embrionario son del mismo nivel de ploidía que los del progenitor femenino (Koltunow, 1993; Koltunow y Grossniklaus, 2003).

Aposporia. El gametofito femenino (saco embrionario) se desarrolla de una célula nucelar somática no reducida en el óvulo, consecuentemente todas las células de un apomítico tiene un número cromosómico no reducido $2N$ (Koltunow, 1993; Burson y Young, 2001). Múltiples células iniciales apósporas pueden formarse en un óvulo individual, para formar sacos embrionarios apósporos múltiples (Koltunow y Grossniklaus, 2003). En las especies apomíticas de *Pennisetum* y *Hieracium* la iniciación de la aposporia conduce a la aborción de los procesos sexuales que normalmente se llevan a cabo, mientras que en especies apomíticas de *Brachiaria* ambos sacos embrionarios sexuales y apósporos coexisten. La aposporia inicia después de la diferenciación de la célula madre de la megaspóra (CMM), la cual degenera y el saco embrionario apósporo ocupa una posición cerca de la terminación micropilar del óvulo. El embrión se desarrolla partenogenéticamente de la célula huevo no reducida, pero la polinización y fertilización son requeridas para el desarrollo del endospermo. Este es el mecanismo de apomixis más frecuente en la familia de las gramíneas como: *Pennisetum*, *Cenchrus*, *Poa*, etc. (Bath et al., 2005).

De acuerdo a Crane (2001) en la aposporia se distinguen dos tipos de sacos embrionarios:

Tipo Hieracium. Una o varias células nucleares se alargan, se vuelven vacuoladas, y sufren tres divisiones mitóticas resultando en sacos embrionarios octanucleados. En algunas especies apósporas la CMM puede también sufrir

meiosis formando sacos embrionarios sexuales, que pueden coexistir dentro de un mismo óvulo, con embriones apomícticos, lo que frecuentemente genera poliembrionía (Richards, 2003). Por lo tanto, la apomixis puede verse como resultado de una relajación de restricciones temporales y espaciales sobre los procesos de desarrollo sexual, donde los procesos asexuales son construidos por un reacomodo, en espacio y tiempo, de los caminos reproductivos sexuales “normales”.

Tipo Panicum. Se forma un saco embrionario no reducido tetranucleado monopolar (Koltunow, 1993). La célula no sufre vacuolización, el huso acromático de la primera división mitótica se encuentra atravesado a la terminación micropilar y la segunda mitosis da lugar a cuatro núcleos libres, que consisten en un aparato huevo de tres núcleos y un solo núcleo polar, las antipodas en este tipo de saco embrionario están ausentes (Bath *et al.*, 2005). Snyder *et al.* (1955) fueron los primeros investigadores que documentaron este tipo de saco embrionario en zacate buffel.

Diplosporia. En este mecanismo, el saco embrionario se origina de la célula madre de la megaspora (CMM), se divide en diplosporia meiótica y mitótica (Bath *et al.*, 2005). En la primera categoría la CMM inicia una división meiótica, sin embargo, el proceso aborta y después de la reorganización de los cromosomas, la célula se divide mitóticamente produciendo un saco embrionario no reducido (Koltunow y Grossniklaus, 2003). En la diplosporia mitótica hay una circunvencción de la meiosis y la CMM sufre divisiones

mitóticas que van a dar lugar a un saco embrionario no reducido (Koltunow *et al.*, 1995). Por lo que técnicamente en diplosporia, no es posible que la sexualidad y la apomixis coexistan en un óvulo. Si la apomixis representa una desregularización del camino sexual, ésta debe tener la capacidad para liberar los controles del destino de una célula hacia una vía sexual o apomíctica. La prueba más clara de ello es en diplosporia, donde una CMM citológicamente entra en una meiosis pero, aborta antes de la formación del saco embrionario (Koltunow y Grossniklaus, 2003). Crane (2001), describe siete tipos de sacos embrionarios diplosporos.

Desarrollo del Endospermo

De acuerdo al origen del endospermo se clasifican en apomícticos pseudógamos y apomícticos autónomos (Koltunow y Grosniklaus, 2003).

Apomícticos Pseudógamos. Son aquellos en donde la formación de la semilla depende de la fertilización del o los núcleos polares para el desarrollo del endospermo (Koltunow *et al.*, 1995). Estas plantas que son apomícticas obligadas en la hembra, producen polen reduccional y funcional; la sexualidad sobrevive solamente para promover el desarrollo del endospermo. Más del 95 por ciento de las especies apomícticas son pseudógamas, es típica de las familias Rosaceae y Gramineae (Bashaw y Hanna, 1990).

Apomícticos Autónomos. Tienen la capacidad de desarrollar un endospermo independiente de la fertilización de los núcleos polares por un proceso llamado endospermia autónoma. Los endospermos autónomos de manera general son raros en los apomícticos, se presentan en la familia Asteraceae (Koltunow y Grossniklaus, 2003).

Balance Endospérmico

El endospermo típico de origen sexual es triploide con dos genomas de origen materno y uno de origen paterno; endospermos con genomas desviados de la proporción $2m:1p$ van a ser inviables (Richards, 2003). Esta proporción es crucial para el desarrollo normal de la semilla, los desbalances ocasionan fallas en el endospermo, debido a esto muchas cruas interploidales resultan en aborción de la semilla. Koltunow y Grossniklaus (2003) mencionan que en algunos apomícticos, las células centrales que contienen dos núcleos polares no reducidos, son fertilizados por una célula espermática reducida, resultando en una proporción $4m:1p$, en otras especies como maíz esto conduciría a la aborción de la semilla; una situación más problemática son los desbalances endospérmicos en los apomícticos autónomos donde no hay una contribución del genoma paterno para el desarrollo del endospermo ($4m:0p$). Sin embargo, los apomícticos han logrado superar estos problemas de dos formas:

En el primer grupo el requerimiento de un balance genómico exacto se ha perdido, ya que el desarrollo del endospermo es insensible a la proporción

m:p (Richards, 2003); cruzas de plantas sexuales diploides x tetraploides de *Paspalum notatum* resultaron en aborción de la semilla, mientras que cruzas de sexuales con plantas apomícticas, toleraron un amplio rango de la proporción m:p, formaron endospermo normal con proporciones del genoma m:p desde 2:1 hasta 8:1 (Quarin, 1999). Esto demuestra que la tolerancia para endospermos desbalanceados esta íntimamente relacionada con la reproducción apomíctica, pero no existe en plantas sexuales (Koltunow y Grossniklaus, 2003). El otro grupo de apomícticos ha logrado superar el desbalance endospérmico de 4:1 con algunas modificaciones, por ejemplo el saco embrionario tipo *Panicum* con cuatro núcleos, incluye solamente un núcleo polar, por lo que la fertilización del núcleo central mantiene el número balanceado del endospermo (EBN) 2m:1p.

Formas de Apomixis

La apomixis gametofítica, se clasifica en apomixis obligada y facultativa, por el grado o nivel de apomixis expresados (Burson y Young, 2001).

Apomixis Obligada

Ocurre en las plantas que se reproducen exclusivamente por apomixis. En este tipo de apomixis la reproducción sexual está completamente omitida y todas las semillas que se cosechan de una planta tienen el mismo genotipo que el progenitor hembra.

Apomixis Facultativa

Las especies que se reproducen por apomixis y sexualidad son apomícticos facultativos. En este tipo de apomixis hay una coexistencia de los dos mecanismos en un ovario individual y frecuentemente dentro de un mismo óvulo, semillas cigóticas y clonales pueden ser cosechadas en la misma planta (Koltunow, 1993; Koltunow *et al.*, 1995). Aún cuando la apomixis ésta controlada genéticamente, estímulos ambientales, principalmente fotoperíodos, alteran el nivel de apomixis expresada en los apomícticos facultativos (Hussey *et al.*, 1991; Knox y Heslop-Harrison, 1963).

Control de la Apomixis

A través del tiempo se han propuesto una serie de teorías que tratan de explicar los mecanismos de control de la apomixis.

Poliploidía

De manera general los apomícticos gametofíticos son invariablemente poliploides y las especies sexuales emparentadas son diploides (Bath *et al.*, 2005). Se han propuesto algunas teorías que explican la prevalencia de la apomixis entre los poliploides:

Nogler (1984) postuló que los alelos responsables para la apomixis pueden actuar como, o están ligados a, factores letales recesivos, que pueden

ser transferidos únicamente por gametos diploides o poliploides. Debido a la falta de recombinación en los genomas apomícticos obligados, estos actúan como grandes grupos de ligamiento, que son blanco para la acumulación de mutaciones recesivas. Mientras que en los poliploides apomícticos estos mutantes frecuentemente no son expresados debido al nivel de ploídía; en las líneas madre-hija de los diploides asexuales los mutantes acumulados se expresarían en productos haploides, lo que es letal para estos individuos. La recuperación de apomícticos diploides en varias especies, ha demostrado inequívocamente que la poliploidía no es un prerrequisito para la reproducción apomíctica, pero puede ser una consecuencia de la reproducción asexual (Richards, 2003).

Quarin *et al.* (2001) señalaron que la expresión óptima de la apomixis se obtiene con la conjunción de genomas poliploides. Un incremento en el nivel de ploidia en *Paspalum notatum* indujo la expresión de la apomixis, bien por la influencia de la ploídía sobre el locus que controla la apomixis a través de algunos factores de transcripción o vía un locus secundario que requiere una dosis de alelos más alta para afectar la expresión del locus principal.

Hibridación

A principios del siglo pasado se postuló que la apomixis podría resultar de la hibridación de especies no relacionadas, ya que virtualmente todos los apomícticos son poliploides y altamente heterocigotos. Esta teoría fue renovada

por Carman en 1994 quien postuló la teoría de asincronía floral derivada de la hibridación, donde menciona que la apomixis nace de una expresión asincrónica de juegos de genes reproductivos sexuales duplicados en genomas híbridos o poliploides. De acuerdo a esta teoría, la apomixis ocurre cuando los híbridos son producidos de ecotipos que son distintamente divergentes con respecto a sus tasas y tiempos de inicio de formación de la CMM, meiosis, formación de saco embrionario y embriogénesis (Carman, 2001).

Mutación

Los análisis genéticos han mostrado que la apomixis está bajo el control de pocos loci, esto ha conducido a establecer que la apomixis resulta de la mutación de uno o pocos loci. Durante mucho tiempo se vio a la apomixis y a la sexualidad como dos procesos distintos y no relacionados, por lo que se pensó que las mutaciones que causan la apomixis proveían de nuevas funciones. Sin embargo, la interrelación de los dos procesos y los genes confiriendo apomixis no pueden codificar para funciones novedosas y aberrantes, pero proporcionan actividad de tipo silvestre, en el tipo de célula equivocada o en el tiempo equivocado. Por ejemplo: un gen de tipo silvestre que promueve la iniciación del saco embrionario que es expresado en una célula nucelar podría causar aposporia (Koltunow, 1993). Asumiendo que los apomícticos tuvieran un alelo, que está ausente en las plantas sexuales, la apomixis se habría generado como resultado de mutaciones en uno o varios loci jugando un papel en los procesos reproductivos (Bath *et al.*, 2005).

Regulación Epigenética

Los genes que controlan la apomixis podrían ser consecuencia de cambios epigenéticos en la regulación del gen (Spillane *et al.*, 2001). Por ejemplo: epialelos estables y heredables pueden nacer a través de cambios en la metilación del ADN o estructura de la cromatina. Este modelo epigenético de regulación génica es atractivo por varias razones:

1. Une las teorías de la mutación e hibridación debido a que los epialelos pueden comportarse genéticamente como mutaciones y cambios epigenéticos en la expresión génica puede ser una consecuencia de la hibridación o de cambios de ploidía en los híbridos.
2. Proporciona una solución al enigma de que varios mecanismos han evolucionado coordinadamente para producir un apomítico funcional (apomeiosis, partenogénesis, endospermo). A diferencia de las mutaciones, los cambios epigenéticos pueden ocurrir frecuentemente como resultado de hibridación y poliploidización y proveen la materia prima epigenética necesaria para formar un apomítico.
3. El presunto origen polifilético de la apomixis como un argumento a favor de un mecanismo de control simple de la apomixis, como la ocurrencia de varias mutaciones en un ancestro es demasiado raro, que difícilmente habría ocurrido en múltiples tiempos (Koltunow y Grossniklaus, 2003).

Bases Genéticas de la Apomixis

Los estudios realizados sobre cruzamientos entre plantas sexuales y apomícticas han reportado que la apomixis está bajo control genético. En muchas de las plantas estudiadas un sólo locus dominante es necesario para que se manifiesten las diferentes formas de apomixis (Koltunow, 1993).

Taliaferro y Bashaw (1966) realizaron los primeros estudios sobre herencia de la apomixis en zacate buffel, cruzaron plantas sexuales con apomícticos obligados y obtuvieron progenie sexual y apomíctica; con base en dichos resultados ellos consideraron que la herencia de la apomixis en zacate buffel está bajo control genético, controlada por dos pares de genes y propusieron hipotéticamente que la constitución genética de la planta sexual es AaBb, donde el gen B condiciona la sexualidad y es epistático al gen A que condiciona la apomixis. La constitución genética de los progenitores macho apomícticos es Aabb, por lo que la planta sexual se originó por mutación en el locus b.

Estudios posteriores por Sherwood *et al.* (1994) indicaron que la herencia de la aposporia en zacate buffel estaba condicionada por un locus que segregaba de una manera tetrasómica y que el alelo que transfería la aposporia actuaba dominantemente.

Jessup *et al.* (2002) caracterizaron la región genómica que controla la apomixis en zacate buffel, ellos utilizaron tres marcadores apósporos (UGT197, QH8 y OPC4) que estuvieron fuertemente ligados al gen de la aposporia (1.4 cM), un homólogo y dos homólogos fueron identificados para el cromosoma que lleva la aposporia. Con base en estas observaciones ellos reportaron herencia disómica de la aposporia en zacate buffel, recombinación suprimida y transmisión no mendeliana en la región de la aposporia. Esta distorsión en la segregación en zacate buffel puede deberse a que el factor o factores asociados con la apomixis también parecen conferir letalidad gamética.

En especies apomícticas de *Panicum*, *Ranunculus* y *Hieracium*, el locus dominante que controla la aposporia cosegrega con partenogénesis, por lo que un sólo locus, simple o complejo controla la apomixis. Sin embargo, en otros apomícticos, el locus genético que controla la apomeiosis, partenogénesis y formación de un endospermo funcional pueden estar separados unos de otros (Grossniklaus *et al.*, 2001). En estas especies al menos tres distintos loci están involucrados.

Bicknell *et al.* (2000) encontraron herencia simple dominante en *Hieracium* sección *Pilosella*, que es un apomíctico apósporo. Este mismo tipo de herencia fue detectado para los diplósperos *Tripsacum dactyloides* (Grimanelli *et al.*, 1998) y *Eragrostis curvula* (Voigt y Burson, 1981).

Indicadores de la Apomixis

Bath *et al.* (2005); Burson y Young (2001); Hanna y Bashaw (1987) enumeran las técnicas utilizadas para identificar plantas apomícticas:

Técnicas Morfológicas

1. La mejor indicación de apomixis es la uniformidad de la progenie, proveniente de progenitores heterocigotos o de polinización cruzada.
2. En programas de hibridación donde la progenie uniforme refleja el fenotipo materno.
3. No expresión en la descendencia de un marcador dominante del progenitor paterno.
4. Alto amarre de semilla en las progenies de plantas aneuploides o derivados de cruza amplias.
5. La presencia de estigmas múltiples y múltiples óvulos por flósculo.
6. Plántulas gemelas, producto del desarrollo de sacos embrionarios múltiples en estos óvulos. Sin embargo, plántulas gemelas pueden desarrollarse también en plantas sexuales a causa de poliembrionía.

Técnicas de Laboratorio

Estudios citológicos, técnicas histológicas y de pistilos clarificados son utilizados para detectar, a través del estudio del desarrollo del saco embrionario, la presencia de apomixis en zacate buffel (Young *et al.*, 1979).

Burson y Young (2001) mencionan que la presencia o ausencia de callosidades en las células madre de la megaspora (CMM) determinan si una planta se reproduce sexualmente o por diplosporia. Los callos están ausentes en las CMM de plantas diplosporas, pero están presentes en las especies sexuales.

Técnicas Moleculares

La ventaja del uso de técnicas moleculares en los programas de mejoramiento es que son rápidas, fáciles y precisas. Si los genes para apomixis están ligados a marcadores como RAPD (Random amplified polymorphic DNA), RFLP (Restriction fragment length polymorphic), o AFLP (Amplified fragment length polymorphic), el material es caracterizado como apomítico. Gustine *et al.* (1996) realizaron en zacate buffel análisis de marcadores de isoenzimas y RAPD's pero no identificaron asociación con la región de la aposporia. Jessup *et al.* (2002) señalan que la causa pudo haber sido el tipo de marcador y lo pequeño de las poblaciones utilizadas. Análisis posteriores con RAPD's en dos diferentes poblaciones de medios hermanos de zacate buffel revelaron dos marcadores moleculares (M02-680 y J16-800) fuertemente ligados a la aposporia (Gustine *et al.*, 1997).

Ozias-Akins *et al.* (1993) identificaron dos marcadores moleculares (UGT-197 y OPC-04) en híbridos interespecíficos de *Pennisetum* que cosegregaban con el modo de reproducción apomítico, fueron sinténicos con aposporia.

Dwivedi *et al.* (2007) utilizando RAPD's identificaron un marcador genético (OPF-08) ligado a la aposporia en zacate buffel, este marcador fue específico para la especie, ya que no se observó amplificación en los apomícticos: *Pennisetum pedicellatum*, *Dichantium annulatum* y *Panicum maximum*. En otros estudios se ha observado que algunos marcadores ligados a la aposporia se conservan a través de diferentes especies (Jessup *et al.*, 2002).

Consecuencias de la Apomixis

La consecuencia más tangible de la apomixis es una gran falta de variabilidad, por lo que las líneas madre-hija pueden ser llamadas semillas-clones. Una segunda consecuencia es una alta proporción de loci fijados en estado heterocigoto; en *Taraxacum* se ha reportado que la mitad de los loci son heterocigotos, un nivel aún más alto que el encontrado en parientes sexuales de polinización cruzada (Richards, 2003).

Ventajas de la Apomixis

Los híbridos F_1 sexuales son heterocigotos, fenotípicamente uniformes y pueden exhibir vigor híbrido, pero no pueden ser utilizados como fuente de semilla de la próxima generación (F_2) debido a que la población sería extremadamente variable como resultado de la segregación genética. La apomixis asegura la fijación del vigor híbrido y el desarrollo de híbridos verdaderos, la semilla puede ser producida durante muchas generaciones sin

pérdida del vigor o alteración del genotipo. La producción de semilla híbrida sería simplificada debido a que el aislamiento de líneas no será necesario para producir la semilla F_1 o para el mantenimiento de las líneas parentales y se evitaría el uso de las líneas con esterilidad masculina (Koltunow *et al.*, 1995).

Bath *et al.* (2005) enumeran las siguientes ventajas de la apomixis:

1. Fijación inmediata de un genotipo superior
2. Reduciría el costo y tiempo en los programas de mejoramiento
3. Se facilitaría el mantenimiento de las líneas parentales y de los híbridos producidos.
4. Se eliminaría la propagación vegetativa en especies frutales.
5. Se protegería ambiental y ecológicamente a las variedades de la esterilidad masculina.
6. Se obtendría una rápida generación y multiplicación de plantas superiores a través de semilla.
7. Se evitarían las complicaciones asociadas con la reproducción sexual: polinizadores, compatibilidad en cruza y la eliminación de transferencia viral en plantas que son propagadas vegetativamente como en la papa.

Transferir la apomixis a especies cultivadas podría revolucionar la agricultura y conferir beneficios para países industrializados y en desarrollo (Dwivedi *et al.*, 2007). Para los agricultores de países en desarrollo, los beneficios principales serían la liberación de variedades vigorosas, altamente

rendidoras para ambientes específicos y con ello el incremento de la seguridad alimentaria. Los rendimientos y el valor nutricional se incrementarían en un 25 por ciento sobre la producción de semilla convencional (Toenniessen, 2001; Bicknell y Koltunow, 2004). Los beneficios para los países desarrollados, sería la producción de nuevas variedades uniformes y altamente productoras para su uso en sistemas agrícolas mecanizados. De acuerdo a cálculos por McMeniman y Lubulwa (1997) un gen de la apomixis clonado para la industria del arroz, generaría ganancias de más de 2.5 billones de dólares anuales.

Durante décadas se han hecho esfuerzos por introducir la apomixis a cultivos agrícolas importantes de parientes silvestres a través de mejoramiento tradicional. Ejemplo de ello son los intentos de introducir la apomixis a maíz de *Tripsacum dactyloides*; de *Pennisetum ciliaris* a sorgo (Beharathi *et al.*, 1991); Dujardin y Hanna (1989) reportaron éxito en la transferencia de apomixis a mijo perla; sin embargo, los individuos obtenidos fueron de bajo vigor y pobre amarre de semilla. Por otro lado, el mejoramiento tradicional es lento y frecuentemente imposible si la apomixis no está presente en los parientes silvestres de los cultivos agrícolas de interés o si las barreras de mejoramiento previenen la introgresión de especies no relacionadas. Estos problemas podrían ser superados por medio de la tecnología del ADN recombinante, si se tuviera un conocimiento molecular de los genes involucrados en el control de la apomixis (Koltunow *et al.*, 1995).

Apomixis y Mejoramiento del Zacate Buffel

Uno de los objetivos en el mejoramiento de zacate buffel es obtener materiales resistentes a *Pyricularia grisea*. El monto de las pérdidas ocasionadas por patógenos de las plantas varía desde porcentajes mínimos hasta pérdidas de un 100 por ciento dependiendo de una serie de factores como: la especie vegetal, los productos que se obtienen de ella, el patógeno, la localidad, las medidas de control practicadas, etc (Agris, 1996). En el caso de los daños ocasionados por *Pyricularia grisea* se han documentado, en el área de adaptación del zacate buffel en Texas, pérdidas de hasta 80 a 90 por ciento de las hojas en las variedades Común y Nueces (O'cumpaugh y Hanselka, 1998).

El desarrollo de variedades resistentes es considerada la única alternativa práctica para evitar enfermedades fungosas en pastos, ya que el control químico para controlar el tizón, difícilmente sería rentable en el caso de praderas de temporal de zacate buffel (Bogdan, 1997). O'cumpaugh y Hanselka (1998) mencionan que si el tizón del zacate buffel persiste en el sur de Texas y en México, como seguramente persistirá, será necesaria la sustitución de variedades susceptibles, por variedades resistentes.

Taliaferro y Bashaw (1966) propusieron el desarrollo de variedades de zacate buffel a través de autofecundación o hibridación utilizando el clon de reproducción sexual TAM CRD B1s.

Autofecundación

Consiste en autofecundar la planta de reproducción sexual (B-1s), evaluar las plantas S_1 o S_2 y seleccionar las plantas superiores y que además sean apomícticas. Evaluarlas en diferentes ambientes y las plantas apomícticas superiores serían variedades potenciales. En esta técnica la proporción de sexuales a apomícticas esperada es de 13:3, entre las plantas S_1 .

Hibridación de TAM CRD B1s con Apomícticos

Nuevos genotipos apomícticos podrían ser producidos por hibridación convencional entre la planta de reproducción sexual (B-1s) con materiales apomícticos, usando el apomíctico como el progenitor macho. Esta es una técnica rápida para el desarrollo de nuevas variedades porque proporciona nuevas combinaciones de genes y se obtiene una proporción de sexuales a apomícticos de 5:3. Los híbridos apomícticos superiores pueden ser liberados como nuevas variedades debido a su pureza genética, mientras que los híbridos sexuales pueden ser usados como fuentes de germoplasma sexual para incrementar la variabilidad genética en la especie. A causa de la heterocigocidad presente en las plantas apomícticas, las cruces de plantas sexuales x apomícticas presentan una gran variación genética en su progenie.

Hatch y Hussey (1991) mencionan que en zacate buffel, el uso de plantas sexuales continúa siendo una técnica importante para combinar los rasgos superiores de varios progenitores. La introducción del clon de

reproducción sexual (TAM CRD B1s) a México por el Dr. González Domínguez en 1985, permitió la hibridación como método de mejoramiento del zacate buffel en el Programa de Pastos de la UAAAN, que condujo a la generación y desarrollo del primer híbrido comercial de zacate buffel (AN17PS) en México (González y Gómez, 2004).

Híbridos BIII (Híbridos 2N+N)

La fertilización artificial de huevos no reducidos (híbridos BIII) es una técnica mediante la cual es posible generar nuevos híbridos. Consiste en la hibridación de apomíctico por apomíctico, si ocurre la fertilización del huevo hay un incremento en el nivel de ploidía, ya que este esquema ocasiona la incorporación de genomioms extraños completos, mientras se retiene el complemento cromosómico somático entero del progenitor femenino apomíctico (Hussey y Bashaw, 1990). Sin embargo, la frecuencia con la que se presentan estos híbridos es tan baja que no sería un método práctico para utilizarlo en un programa de mejoramiento genético (Burson *et al.*, 2002).

Bashaw y Hignight (1990) realizaron una serie de cruzamientos para determinar el potencial de transferencia a través de hibridación 2N+N, en una progenie de 950 el porcentaje de híbridos BIII obtenidos fue de 1.3 por ciento. Bashaw y Hanna (1990) mencionan que esta frecuencia puede incrementarse emasculando el progenitor apomíctico femenino y aplicando abundante polen.

Burson *et al.* (2002) en un estudio realizado con cinco entradas apomícticas y un material sexual de zacate buffel, en autofecundaciones y cruzamientos polinizados con birdwoodgrass incrementaron la frecuencia de híbridos $2N+N$ a 5 y 8 por ciento respectivamente, polinizando dos o tres días antes de la antesis. Una posible explicación a este incremento puede estar en el trabajo de Vielle *et al.* (1995). Ellos observaron en sacos embrionarios apósporos, una pared celular que cubre completamente la membrana plasmática de la célula huevo no reducida, esta pared funciona como una barrera física que evita la entrada del tubo polínico. Esto ocurre antes de antesis y evita que la célula huevo sea fertilizada, por lo que si los estigmas son polinizados antes de que la pared celular se forme y antes de la iniciación de la partenogénesis, un huevo no reducido puede ser fertilizado. Esta pared celular no fue observada en sacos embrionarios sexuales.

Koltunow y Grossniklaus (2003) mencionan que la capacidad del saco embrionario no reducido para formar híbridos BIII sugiere que es funcionalmente comparable a uno derivado de reducción meiótica: puede atraer al tubo polínico y su célula huevo puede participar exitosamente en la fertilización. La capacidad para producir un embrión autónomamente de una célula huevo no reducida, sugiere que el locus que controla la partenogénesis no está fuertemente ligado al locus responsable de la apomeiosis. Por lo que la partenogénesis puede ocurrir en un huevo derivado de un saco embrionario producido meióticamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidades Experimentales

Los cruzamientos entre materiales de zacate buffel y la caracterización de las variedades comerciales y líneas experimentales que intervinieron en los cruzamientos se llevaron a cabo, respectivamente en los invernaderos y en el exterior de los invernaderos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en Buenavista, Saltillo, Coahuila. Las evaluaciones de campo de los híbridos F_1 generados y las familias F_2 de los híbridos F_1 seleccionados se realizaron en el Campo Experimental de Zaragoza, Coahuila, perteneciente a esta Universidad.

Buenavista, Saltillo, Coahuila

El Campus Universitario se ubica entre las coordenadas geográficas de $25^{\circ} 22' 41''$ de latitud Norte y $101^{\circ} 02' 00''$ de longitud Oeste, a una altitud de 1743 msnm. El clima de la región es seco, semiárido, con invierno fresco, extremo y con lluvias de verano (García, 1987).

Zaragoza, Coahuila

El Campo Experimental se localiza a 12 km al norte de la ciudad de Zaragoza, Coahuila, a una longitud oeste de 100° 55´ y a 28° 33´ latitud Norte. La altitud sobre el nivel del mar es de 350m. La fórmula climática de la región es BSo hx´ (e); se trata de un clima seco, semicálido, extremo con lluvias intermedias entre el verano y el invierno. La temperatura promedio anual es de 22 a 24 °C y una precipitación promedio de 300-400 mm (García, 1987).

Origen y Características del Material Biológico

Los materiales vegetales utilizados en esta investigación fueron las variedades apomícticas Común, Zaragoza 115 (Z-115), AN17PS (H-17), Común II, Nueces, Higgins, Biloela, Formidable y el clon de reproducción sexual TAM CRD B-1s.

Común (T- 4464)

Común es la variedad de buffel más ampliamente distribuida en el norte de México y sur de Texas. Fue introducida a los Estados Unidos en 1946 como PI 153671 del Desierto de Turkana en el norte de Kenia; se le asignó el número de identificación T-4464 (Holt, 1985). Es un apomíctico obligado, tetraploide de $2N=4X=36$ cromosomas (Bashaw, 1962; Gómez, 1994), de altura media, con tallos finos, muy resistente a la sequía y se comporta bien en suelos livianos (Ayerza, 1981; Cook *et al.*, 2005). Su follaje es verde claro, inflorescencias

púrpuras que reúne las características de buena producción de forraje y semilla. Es altamente susceptible al tizón foliar (*Pyricularia grisea*), que afecta considerablemente el rendimiento y la calidad de la semilla y el forraje del zacate buffel (González *et al.*, 1998).

Zaragoza 115

Es un material tetraploide de 36 cromosomas (Gómez, 1994), presenta tolerancia al tizón del zacate buffel (Torres, 2005). Tiene buena producción de forraje, su follaje es verde cenizo, las inflorescencias son de color crema, la altura promedio es de 155 cm. Esta variedad fue liberada por el Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Coahuila del INIFAP (Osuna, 1986).

AN17PS (Híbrido H 17)

Es un híbrido apomítico F_1 generado en el Programa de Pastos de la UAAAN producto de la cruce del clon sexual TAM CRD B1s con Zaragoza 115. AN17PS produce espigas de color púrpura y el color del follaje es verde claro, tiene un buen rendimiento de forraje, presenta buena tolerancia a heladas y resistencia a *Pyricularia grisea* (González y Gómez, 2000; Gómez y González, 2002). Se considera que este híbrido es una buena alternativa para substituir a buffel Común. Ramírez *et al.* (1998) lo reportaron como un tetraploide de $2N=4X=36$ cromosomas.

Común II

Es una línea experimental hexaploide de $2N=6X=54$ cromosomas (Ramírez *et al.*, 1998), se derivó de una planta sana en una población de buffel Común completamente infestada por el tizón del zacate buffel. El color del follaje y las inflorescencias, son muy similares a la variedad Común, pero el rendimiento de forraje es mayor y no presenta susceptibilidad al tizón del zacate buffel. Se cree que esta línea es un híbrido BIII derivado de la fertilización de un gametofito no reducido (36 cromosomas) por un gameto masculino normal con 18 cromosomas. Este material fue designado experimentalmente Común II y es compatible en cruza con B-1s (González, 1998; González *et al.*, 2000).

Nueces

Es un híbrido apomíctico F_1 tetraploide de 36 cromosomas (Briones, 1996) obtenido en 1977 por el USDA y the Soil and Crop Science Department, Texas Agricultural Experiment Station, producto de la cruza del clon sexual B-1s x un apomíctico rizomatoso de tipo azul. Presenta buena producción de forraje, el follaje es de color verde azulado, su inflorescencia marrón obscura. Forma rizomas vigorosos que le confieren una mayor tolerancia a heladas que Común y Higgins (Bashaw, 1980b; Ayerza, 1981).

Higgins

Se derivó de una planta S₁ apomíctica, obtenida por autofecundación del clon sexual TAM CRD B1s. El color del follaje e inflorescencias es muy parecido a buffel Común, en tolerancia al frío es intermedio entre Común y tipos azules, es buen productor de semilla (Bashaw, 1968; Ayerza, 1981). Es un apomíctico tetraploide de 2N=4X= 36 cromosomas (Sherwood *et al.*, 1994), actualmente esta variedad no se utiliza comercialmente.

Biloela

Es una variedad Australiana derivada de semilla introducida (CPI 6934) en Australia en 1937, fue colectada en Dodoma, Tangañika, las primeras evaluaciones se realizaron en 1950 en la Estación Experimental de Biloela, y fue liberada como variedad comercial en 1955 (Paull y Lee, 1978). Las plantas son de porte alto y robusto, los tallos de 1.5 m de alto, las hojas son glabras, con inflorescencias de aproximadamente 7 cm de largo, las espiguillas son de pálidas a rojas y se han observado una gran proporción de espiguillas vacías (Humphreys, 1986). Es de tipo rizomatoso, se desarrolla bien en suelos de textura pesada, muy resistente a la sequía y presenta una tolerancia moderada a la salinidad (Ayerza, 1981; Cook *et al.*, 2005).

Formidable

No existe un registro del origen de esta variedad, se menciona que fue introducida a nuestro país en 1977, proviene de una planta fuera de tipo encontrada en una población de Biloela en Cuba, (Ing. Célido Matias, com. personal). Sin embargo, de acuerdo al Ing. Oriol Romero, Formidable es muy parecida a Viva, una variedad Australiana, por lo que se desprende que proviene de este material. Se adapta bien en suelos arcillo-arenosos, excelentes en aluviones y mediocres en suelos arcillosos. Observaciones en Sinaloa reportan que Formidable soporta un bovino adulto en 1.5 ha con 400 a 500 mm de precipitación. No se ha observado susceptibilidad al tizón de la hoja de zacate buffel, en las investigaciones, del Programa de Pastos de la UAAAN.

TAM CRD B1s

Es una variante sexual con un complemento tetraploide de cromosomas $2N=4X=36$ (Bashaw, 1962). TAM-CRD B1s tiene un color intermedio entre el tipo azul y Común, su producción de forraje y semilla es buena, tiene buena persistencia y su tolerancia al invierno es intermedia (Bashaw, 1969; Hanson, 1972).

Obtención de Híbridos Simples e Identificación de su Modo de Reproducción

Obtención, Desarrollo y Evaluación de Híbridos Simples de la Cruza TAM CRD B1s x Z-115

La primera etapa para la formación de híbridos triples, dobles, etc., fue la generación de híbridos simples, para ello se cruzó el clon tetraploide de reproducción sexual (B-1s) como hembra y el tetraploide apomíctico Z-115 como macho; esta variedad fue seleccionada para los cruzamientos simples, por la excelente compatibilidad que demostró con B-1s en cruzamientos anteriores (Gómez, 1994; Gómez y González, 1997).

El zacate buffel tiene un comportamiento floral, llamado intervalo protogíneo, donde sus estigmas son expuestos antes de la antesis (Fisher *et al.*, 1954; Snyder *et al.*, 1955) y su duración es de 1 a 3 días dependiendo del genotipo (Shafer *et al.*, 2000). La especie tiene flores perfectas y además es de polinización cruzada, por lo que la emasculación es necesaria para la producción de híbridos. La emasculación, por el tamaño tan pequeño de las florecillas, es difícil y tediosa; además, el pistilo de las florecillas se daña con mucha frecuencia en el proceso de emasculación, lo que disminuye la posibilidad de éxito en los cruzamientos. Los estigmas, receptivos desde el momento en que son expuestos en la florecilla, permanecen receptivos a través de la duración del intervalo protogíneo, independientemente si este es de 1, 2, o 3 días. Aprovechando la naturaleza protogínea de la especie, se pueden

desarrollar híbridos sin emasculación (Shafer *et al.*, 2000). Con base en lo anterior, las inflorescencias del progenitor hembra no se emascularon, sino que la polinización se realizó cuando los estigmas estuvieron receptivos y antes de que emergieran las anteras.

Preparación de los Progenitores

Las actividades que se desarrollaron en esta etapa del trabajo fueron: El progenitor hembra (B-1s) se propagó vegetativamente en 20 macetas utilizando Pro-Mix como sustrato durante 4 y 5 de julio de 2005. El progenitor macho (Z-115) se sembró en cajas de nieve seca y posteriormente cuando las plantas alcanzaron una altura de 15 cm aproximadamente, se transplantaron a 20 macetas para tener disponibilidad de polen. Los progenitores hembra y macho se colocaron en invernaderos separados. Durante el desarrollo del trabajo las plantas se regaron y fertilizaron semanalmente con una solución de Grofol (20-30-10) 2g L⁻¹ de agua.

Cruzas Simples en Invernadero

Los cruzamientos iniciaron el 25 de agosto de 2005, cuando los progenitores coincidieron en la floración. Diariamente se cubrieron con glassines, inflorescencias del progenitor hembra que estuvieran completamente fuera de la vaina de la hoja bandera, pero sin estigmas emergidos. Todos los días se revisaron las inflorescencias cubiertas y se aclararon aquellas inflorescencias que presentaron estigmas receptivos, pero sin anteras

emergidas, eliminando los involucros inmaduros (que no tenían estigmas receptivos) de la base, del ápice, y a lo largo de la panícula, dejando solo dos hileras opuestas de involucros y más tarde (11:00 a.m.) ese mismo día, fueron polinizadas con el progenitor macho (Z 115).

Se colectó polen del progenitor macho en glassines limpios, estos se llevaron a la planta hembra y la panícula aclarada se introdujo al glassine, manipulándola y sacudiendo con cuidado el glassine para impregnar completamente de polen los estigmas receptivos de la inflorescencia. En los glassines se anotaron las fechas de cobertura y polinización. Estas actividades se realizaron temprano en las mañanas y se mantuvo control de la entrada de aire en el invernadero para evitar la contaminación de polen extraño. Las panículas maduras se cosecharon el 17 de noviembre de 2005 y se guardaron en bodega para contar el número de cariósides producidos por cada panícula.

Siembra en Invernadero y Transplante en Campo de los Híbridos F₁

La semilla F₁ obtenida de las cruzas del clon sexual con Z-115 se sembró en abril de 2006, en cajas de nieve seca utilizando Pro-Mix como sustrato. Se sembró una semilla por cavidad y se proporcionó la atención de riegos y fertilizaciones necesarias para su desarrollo en el invernadero. Estas plantas se transplantaron el 26 de junio en el Campo Experimental de Zaragoza, Coah. de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Se transplantaron 6230 plantas F₁ (híbridos) con una distancia entre surcos de 0.90 m y una distancia entre

plantas de 1 m distribuidos en cuatro franjas de la siguiente manera: la primer franja con 11 melgas, cada melga con 7 surcos y 15 plantas por surco; la segunda franja con 11 melgas 7 surcos y 16 plantas por surco; la tercer franja con 11 melgas, 7 surcos por melga y 18 plantas por surco y la cuarta franja con 13 melgas, 7 surcos por melga con 27 plantas por surco.

Evaluación y Selección de Híbridos F₁ Sexual x Apomítico

Se seleccionaron visualmente 510 híbridos F₁ por su mejor producción de panículas y de biomasa. El 26 de octubre de 2006 a cada uno de estos híbridos F₁ seleccionados, se les tomaron datos de características cualitativas, con base en las siguientes escalas visuales:

Vigor (V). Escala de 1 a 5 donde 1= poco y 5= excelente vigor.

Altura de Planta. Altas (A), medianas (M) y bajas (B)

Producción de Panículas. Escala de 1 a 5, donde 1= mala, 2= regular, 3= buena, 4= muy buena y 5= excelente producción de panículas.

Color de la Inflorescencia (CI). Paja (P), café (C), café oscuro (CO), púrpura claro (PC), púrpura (P) púrpura oscuro (PO).

Color de la Planta (CP). Verde limón (VL), verde (V), verde intenso (VI), verde azulado (VA).

Tamaño de Inflorescencia. Grande (G), mediana (M) y chica (CH).

Sanidad. Presencia o ausencia del tizón del zacate buffel.

Las variables cuantitativas que se midieron fueron las de mayor importancia agronómica como son la producción de panículas y de materia seca. Para obtener el número de panículas por planta de los híbridos seleccionados, el 24 de noviembre de 2006 se cortaron sus inflorescencias y durante el período de enero a junio de 2007 se contaron las panículas de cada uno de los 510 híbridos F_1 cosechados.

Para determinar el rendimiento de materia seca, el 2 de diciembre de 2006, se cortó el forraje de las 510 plantas F_1 y el rendimiento de cada planta se llevó a toneladas por hectárea.

Análisis Estadístico

Debido a que cada planta es un híbrido diferente se utilizó la estadística descriptiva para analizar los datos de número de espigas y producción de materia seca. Se obtuvo la moda para las variables cualitativas.

Modo de Reproducción de Híbridos de Cruza Sexual x Apomíctico Mediante Pruebas de Progenie (Familias F_2)

Se realizaron las pruebas de progenie para determinar el modo de reproducción (sexual o apomíctico) de las plantas madre F_1 seleccionadas; para ello, la semilla F_2 se trilló e identificó con el número de la planta F_1 correspondiente. El 29 y 30 de marzo de 2007 se sembró la semilla F_2 en cajas de poliuretano de 200 cavidades, depositando una semilla por cavidad, dos

hileras por familia (20 carióspsides), con un total de siete familias por caja y se colocaron en el invernadero. Se sembraron en total 510 familias F_2 en 73 charolas. Diariamente se atendió el material con riegos y se fertilizó una vez por semana con Grofol (20-30-10) con una dosis de 2 g L^{-1} de agua.

Cuando las plantas alcanzaron una altura adecuada (12-15 cm) fueron trasladadas al Campo Experimental de Zaragoza, Coah, para su transplante. El material se transplantó en dos fechas, debido a las lluvias constantes que se presentaron en la región durante ese período: del 19 al 21 de junio se trasladó todo el material al campo y el 26 y 27 de junio se estableció un primer lote (lote I); en esta fecha se transplantaron 273 familias F_2 en 13 melgas, con 21 familias por melga y 10 plantas por familia, a una distancia entre plantas de 0.50m y entre surcos de 0.90m. Como testigos se establecieron en las cabeceras de cada familia plantas de las variedades H-17 y Común. Este último se estableció también con la finalidad de que sirviera para la diseminación del inóculo de la enfermedad del tizón causado por el hongo (*Pyricularia grisea*) y así evaluar la reacción de los híbridos a este patógeno.

Un segundo lote de plantas (lote II) fueron transplantadas el 3 y 4 de julio de 2007; durante ese tiempo de retraso en el transplante, la condición de algunas plantas fue crítica: el número de plantas por familia se redujo notablemente en algunos casos, y en otras se perdieron por completo. Se usaron siete melgas completas con 14 familias por melga y una octava melga con 11 materiales, en algunos casos no se completaron las 10 plantas por

familia; en esos casos se transplantaron al menos cinco plantas. En este lote se establecieron 112 familias F_2 , se utilizaron las variedades Común y Zaragoza 115 como testigos. El total de familias F_2 transplantadas en los lotes I y II fue de 385.

Las plantas que se reproducen por apomixis no segregan, aunque sean heterocigotas, la progenie es idéntica al progenitor materno, por lo que en el campo, la observación de no segregación de características fenotípicas indica apomixis (Carneiro *et al.*, 2006). El modo de reproducción sexual o apomíctico de las plantas F_1 seleccionadas, se determinó con base en evaluaciones visuales de uniformidad y/o desuniformidad de características cualitativas de hábito de crecimiento, tamaño y color de panícula, color del follaje, tipo de hoja, vigor, de las progenies F_2 . La uniformidad de estas características en las plantas dentro de una familia F_2 indicó reproducción apomíctica en la planta madre F_1 ; por otro lado la desuniformidad en las variables evaluadas dentro de una familia F_2 indicó reproducción sexual en la planta madre F_1 . Estos datos se tomaron en dos ocasiones: 11 de octubre y 9 de noviembre de 2007, cuando las plantas estaban completamente desarrolladas y las características de las plantas pudieron ser claramente observadas. En el lote II sólo 103 familias se clasificaron para el modo de reproducción, ya que plantas de nueve familias murieron y no tuvieron una población suficiente dentro de estas progenies para hacer una determinación confiable.

Características Agronómicas

Producción de Forraje Verde y Seco

Para determinar el rendimiento de forraje verde de las familias F_2 , el 17 y 18 de octubre de 2007 se cortaron y pesaron todas las plantas de cada progenie, que ocupaban una superficie de 4.0 m² y mediante una regla de tres simple se convirtió a rendimiento por hectárea. El rendimiento de materia seca se determinó únicamente en las progenies sexuales, para ello se tomó una muestra de 500 gr de forraje de cada una de las familias, se colocaron en bolsas de papel previamente identificadas, se dejaron secar en bodega aproximadamente por 15 días; después se pesaron en una balanza y mediante una regla de tres simple se obtuvo el peso de forraje seco por progenie, para convertirlo a rendimiento por ha. Se cosechó semilla únicamente de las familias apomícticas.

Evaluación de Variables Cualitativas

Reacción al Tizón. Se tomaron datos de reacción al tizón, registrándose la presencia o ausencia de la enfermedad y se determinó el porcentaje de plantas enfermas dentro de cada progenie y/o variedad.

Tolerancia a Heladas. Se registraron datos de tolerancia a heladas, considerando el número de plantas dañadas dentro de cada parcela experimental.

Rebrote. Después del corte de forraje, se registraron datos de rebrote con base en una escala de 1 a 5, donde 1= Malo y 5= excelente rebrote.

Análisis Estadístico

Los datos de rendimiento de forraje se analizaron con estadística univariada; se obtuvo la media, varianza y desviación estándar de las progenies clasificadas como de origen sexual, así como las clasificadas de origen apomíctico en forma separada para los lotes I y II. Se realizaron pruebas de *t* de student para comparar los rendimientos promedio de las progenies sexuales y apomícticas.

Compatibilidad de Hembras F_1 Sexuales en Cruza con Machos Apomícticos

Selección de Plantas F_1 Sexuales

Con la información obtenida de los lotes I y II sobre el modo de reproducción de las plantas F_1 , además la producción de forraje, reacción al tizón, tolerancia a heladas y rebrote de las familias F_2 , así como el potencial de producción de panículas/planta de los híbridos F_1 , se seleccionaron 17 y 14 plantas del lote de 6230 plantas F_1 consideradas de reproducción sexual para su eventual utilización como progenitores hembra en otros cruzamientos.

Obtención de Plantas F₁ Sexuales

En febrero de 2008, se localizaron en los lotes de plantas F₁, los híbridos de reproducción sexual seleccionados. Las plantas se etiquetaron, se sacaron completas y se trasladaron a Buenavista, Coah. Cada una de estas se duplicó vegetativamente y se pusieron en el invernadero uno, de tal forma que se tuvo por duplicado cada una de las 10 selecciones F₁ sexuales para un total de 20 plantas. Cada uno de estos genotipos fue identificado como F₁ selección sexual 1 (F₁SS₁) hasta F₁ selección sexual 10 (F₁ SS₁₀). Los progenitores apomícticos también se propagaron vegetativamente para tener disponibilidad de polen, estos materiales se mantuvieron en el invernadero cuatro.

Hibridaciones en Invernadero

Panículas completas de los progenitores hembra que estuvieran completamente fuera de la vaina hoja bandera y que además no tuvieran estigmas expuestos se cubrieron con glassines, se anotó la fecha en que se cubrió la panícula. Todos los días se revisaron las inflorescencias cubiertas y en aquellas en las que los estigmas estuvieron receptivos, pero sin anteras emergidas, se realizó la emasculación. Las panículas en las que se observaron anteras emergidas fueron utilizadas para autofecundación. Las inflorescencias fueron aclaradas, se eliminaron los involucros inmaduros (que no tuvieran estigmas emergidos) de la base, del ápice, y a lo largo de la panícula, y se dejaron solo dos hileras opuestas de involucros. Posteriormente se eliminaron

las espiguillas de los involucros (el número de espiguillas por involucro fue variable en los progenitores hembra) dejando una sola espiguilla. Las espiguillas a su vez están formadas por dos florecillas: la florecilla estéril que se eliminó y la florecilla fértil, a la que se le eliminaron las tres anteras, se procuró dejar aproximadamente 40-50 florecillas emasculadas por panícula. Para este trabajo se utilizaron lentes de aumento, tijeras, pinzas y agujas de disección, fue un trabajo sumamente delicado por lo cual el tiempo requerido para emascular una inflorescencia fue de 30 a 45 minutos. Se procuró realizar diariamente el mismo número de emasculaciones en cada una de las 10 plantas sexuales seleccionadas, para que las condiciones ambientales que prevalecieron durante el tiempo de los cruzamientos (principalmente fotoperíodo) influyeran de manera uniforme en todos los progenitores hembra.

La polinización de las panículas emasculadas se realizó el mismo día, se utilizó el procedimiento descrito anteriormente, para transportar el polen se utilizó un glassine para cada progenitor, cambiándolo diariamente. Después de utilizar el polen de cada progenitor se realizó un lavado de las manos con alcohol para evitar contaminación de polen. Sobre cada selección sexual se polinizaron dos panículas con polen de cada una de las variedades Biloela, Formidable, Común, Nueces, Común II, Higgins, H17, B1s y Z 115. Se anotó en el glassine la fecha en que se emasculó y se polinizó la panícula, así como los progenitores hembra y macho utilizados en la cruce.

Aprovechando el hábito protogíneo de la especie se polinizaron otras dos panículas, sin emasculas, aclarando únicamente la inflorescencia, eliminando los involucros inmaduros de la base y el ápice. Se procuró polinizar las panículas emasculadas con diferentes progenitores macho en un día. La cosecha de las panículas maduras se realizó en el mes de junio de 2008.

Compatibilidad en Cruza de Biloela, Formidable y Nueces con el Clon Sexual B-1s

Durante el período de abril a junio de 2006 se realizó otro ciclo de hibridaciones con el clon sexual B-1s como progenitor hembra y las variedades Biloela, Formidable y Nueces como progenitores macho, para obtener información complementaria sobre la compatibilidad en cruza de estas variedades con B-1s. El clon sexual se mantuvo en el invernadero uno y los progenitores macho en el invernadero cuatro. Los progenitores macho y hembra se propagaron vegetativamente en macetas con Pro-Mix como sustrato, fertilizando con una solución de 2 g L⁻¹ de Grofol (20-30-10). Los cruzamientos se realizaron con el procedimiento descrito con anterioridad. El aclareo de panículas y las polinizaciones se realizaron el mismo día. En los glassines se anotó las fechas en que se cubrió y polinizó la panícula, así como el progenitor macho utilizado, procurando polinizar cada día el mismo número de panículas con cada uno de los tres progenitores macho. Las panículas maduras se cosecharon en el mes de julio, se trillaron para contar el número de granos obtenidos.

Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico de estos cruzamientos se consideraron únicamente los días en que se polinizaron el mismo número de panículas con los tres progenitores (ocho). Debido a que algunas panículas no produjeron carióspside, los datos originales se transformaron para su análisis mediante la transformación $\sqrt{x+1}$ recomendada cuando hay ceros en los resultados (Steel y Torrie, 1960). Los datos se analizaron como un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos y ocho repeticiones, tomando las espigas trabajadas en un día como una repetición y los tres progenitores macho como tratamientos.

Estudios Citológicos

Se determinó el número cromosómico de las variedades Biloela y Formidable en la Primavera del 2007 en el Laboratorio de Citogenética del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN. Para obtener los meristemas de ápices de raíz se germinó semilla de las variedades a temperatura ambiente en cajas petri, con vermiculita y papel filtro como sustrato que se humedecieron con agua destilada. El conteo se realizó en células de división mitótica por el método de aplastado que consta de las siguientes etapas (García, 1977):

Pretratamiento

Con el objetivo de acortar los cromosomas y aumentar el número de células en metafase, a través de la inhibición de la formación del huso acromático, las plántulas completas fueron pretratadas con 8-hidroxiquinoleína (8HQL) al 0.04 por ciento a los dos días después de la siembra; para determinar la hora de mayor actividad de división celular, se realizaron pruebas a diferentes tiempos con 8-HQL: a las 11:15, 11:30 y 11:45 a.m. por media hora, una hora y dos horas. Las preparaciones más claras se obtuvieron cuando los cromosomas se pretrataron una hora con 8-HQL a las 11:45 a.m.

Fijación

Esta actividad se realizó para matar y fijar a los tejidos, preservando su organización, además de hacerlos más firmes para su manejo. Se utilizó el fijador de penetración rápida farmer (3 alcohol etílico:1 ácido acético) donde las plántulas permanecieron por 24 hr hasta el momento de la hidrólisis. Para eliminar el alcohol de los tejidos, las raíces se enjuagaron tres veces con agua destilada y se dejaron reposar 30 minutos en agua entre cada lavada.

Hidrólisis

El objetivo es tener células individuales, disolviendo la lámina media, lo que permite una mejor observación de los cromosomas. El material se hidrolizó en

baño María a 60 °C con HCl 1 N durante 15 minutos. Después se eliminó el HCl, lavando dos veces con agua destilada y dejándolos nuevamente 30 minutos en agua destilada

Coloración

Se agregó colorante Feulgen al frasco con el material, hasta que se colorearon los meristemas (color fucsia), dejando una hora aproximadamente, se enjuagaron dos veces con agua destilada y se le agregó colorante carmín propiónico.

Procesamiento del Material

Se procedió a hacer el método del aplastado: se sacó una raíz del frasco que contiene el material, se colocó en un portaobjetos limpio y se agregó una gota de carmín propiónico. Se maceró con un escapelo, hasta que las células se separaron. Se colocó un cubreobjetos sobre la preparación, se calentó sobre la flama de una lámpara de alcohol y se presionó el cubreobjetos con la yema del dedo, sobre un papel filtro. La preparación se observó al microscopio, para realizar el conteo cromosómico (Hernández, 1984). Después de observar que la preparación estuviera clara y los cromosomas bien coloreados, la preparación se selló con cera y se tomaron fotografías con el objetivo de 100x con una cámara digital Pixera.

Caracterización Morfológica de Progenitores

Este experimento se estableció en una área entre los invernaderos en el Campus Universitario en Buenavista, Coahuila, para caracterizar morfológicamente a los progenitores macho considerados para los cruzamientos triples: Biloela (B), Formidable (F), Nueces (N), Común (C), Común II (CII), Higgins (H), TAM CRD B1s (S), AN17PS (H-17) y Zaragoza115 (Z). La siembra se realizó el 9 de mayo del 2007 en cajas de nieve seca de 200 cavidades.

Después de seis semanas, el 14 de junio, se transplantaron a macetas negras de plástico utilizando como medio de crecimiento el producto comercial Pro-Mix a base de peat moss (turba). En el caso del clon sexual, se transplantaron partes vegetativas similares en tamaño a las plántulas provenientes de semilla. Se fertilizaron semanalmente con fertilizante soluble Raizal (9-45-11) y posteriormente con Grofol (20-30-10) en una dosis de 2 g .L⁻¹ aplicando un litro de agua por maceta.

Diseño Experimental

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño de Cuadrado Latino de 9 x 9, para un total de 81 unidades experimentales, cada maceta constituyo una unidad experimental. Las macetas se colocaron en líneas orientadas norte-sur y

este-oeste con nueve macetas por línea y 1m de separación entre líneas en ambas direcciones.

El modelo estadístico de acuerdo a Snedecor y Cochran (1967) es:

$$X_{ijk} = u + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon_{ijk}$$

$$i, j \text{ y } k = 1, \dots, a$$

$$\varepsilon_{ijk} = N(0, \sigma)$$

Dónde:

X_{ijk} = Es la variable de respuesta

u = Media general

$\alpha + \beta + \gamma$ = Efectos de tratamiento, hilera y columna conviniendo que sus sumas son cero y asumiendo que los efectos de los tres factores son aditivos.

Datos Registrados

Se registraron datos en dos ciclos de crecimiento, el primero de la siembra de la semilla al 15 de agosto cuando se cortaron las plantas por primera vez y el segundo 60 días después al 15 de octubre al cortar por segunda vez las plantas. Después del primer corte, se promovió nuevamente el crecimiento y desarrollo de las plantas para tener el segundo ciclo. Durante la segunda mitad del primer ciclo de crecimiento y todo el segundo ciclo se utilizó la fórmula 20-30-10 para la fertilización. Se midieron variables cuantitativas y cualitativas, estas últimas fueron tomadas mediante escalas.

Variables Cualitativas

Color de Estigmas. Siempre blancos (SB)=1, siempre púrpura (SP)=2, fases tempranas blancos, después púrpura B/P = 3.

Color de la Panícula Inmadura. Crema (C)=1, púrpura (P)=2, púrpura oscuro (PO)=3, café (Ca)= 4.

Color de la Panícula en Estado Dehiscente. Pajizo (P)=1, púrpura claro (PC)=2, café (C)=3, café oscuro (CO)=4.

Tamaño de Panícula. Grandes (G)=3, medianas (M)=2, chicas (CH)=1,

Color del Follaje. Verde limón (VL)=1, verde (V)=2, verde intenso (VI)=3, verde azulado (VA).

Reacción al Tizón (RT). Enfermedad causada por el hongo *Pyricularia grisea*. Nula (N)=1, baja severidad (BS)=2, alta severidad (AS)=3.

Variables Cuantitativas

Panículas por Planta (PP). Esta variable se obtuvo cortando las panículas de todas las plantas, se identificaron individualmente para su conteo en bodega. Se realizaron dos conteos el 15 de agosto y el 15 de octubre de 2007.

Rendimiento de Semilla (RS). Una vez contado el número de panículas éstas se trillaron, los involucros se pesaron en una báscula para obtener el peso de semilla por planta. Este dato se obtuvo de la cosecha del 15 de octubre.

Altura de Planta (ATA, AMI). Esta variable se tomó de dos formas: desde la base de la planta hasta el tallo más alto y desde la base hasta la mayoría de las inflorescencias. Los datos se tomaron en dos ocasiones: el 15 de agosto y 15 de octubre.

Número de Entrenudos (NE). Para evaluar esta variable se cortó el tallo más alto de cada planta, se llevó a bodega debidamente identificado y se procedió a contar el número de entrenudos.

Longitud de Entrenudos (LE). A los tallos de las plantas que se utilizaron para determinar el número de entrenudos se les midió la longitud de cada uno de ellos y se promediaron los valores para obtener el valor por unidad experimental. Estas dos variables se tomaron el 15 de agosto y 15 de octubre.

Grosor de los Nudos (GN). Se obtuvo como promedio del 2º, 3º y 4º nudo del tallo principal, medidos con un vernier (Truper).

Longitud y Ancho de la Hoja Bandera (LHB, AHB). Se midió con una regla la longitud y ancho de la hoja bandera del tallo más alto en cada una de las plantas. Estas variables se tomaron en dos ocasiones.

Número de Ramificaciones. Se contaron las ramificaciones producidas del tallo más alto en cada planta.

Longitud de la Cerda más Larga (LCL). Se midió con una regla la cerda más larga de cinco involucros de la inflorescencia del tallo más alto, se obtuvo la media para obtener el valor por parcela.

Espiguillas por Involucro (EI). Se contaron las espiguillas de cada uno de los cinco involucros a los que se les midieron la longitud de la cerda. Se promediaron para tener el valor por unidad experimental.

Longitud de Panícula (LP). Se cortó una panícula completa y madura por planta, se identificaron, se llevaron a la bodega y posteriormente se midió la longitud de la inflorescencia, desde la inserción del involucro inferior hasta la punta superior de ésta.

Número y Peso de Involucros por Panícula (NIP, PIP). Para obtener estas variables, se desprendieron los involucros de cada una de las panículas, se cuantificaron y pesaron en una balanza analítica.

Peso de 1000 Cariópsides (PMC). Se trillaron panículas de la segunda cosecha para extraer los granos, se contaron 500 de estos, se pesaron y el valor se multiplicó por dos para obtener el peso de cariósido por millar.

Longitud de Cariósido (LC). Se midió la longitud de cinco cariósidos y el resultado se dividió entre cinco para obtener la longitud media.

Análisis Estadístico

Los datos de cada una de las variables cuantitativas se sometieron a la técnica del análisis de varianza univariado en un diseño de cuadrado latino con ocho columnas y ocho hileras, con el paquete estadístico SAS (Versión 8.0). En los casos en que los análisis de varianza detectaron diferencias significativas entre los genotipos se realizó la comparación de medias utilizando la prueba de Diferencia mínima significativa (DMS) a un nivel de significancia de $\alpha \leq 0.05$.

Análisis de Componentes Principales (ACP)

Se realizó un análisis multivariado de Componentes Principales (ACP), incluyendo todas las variables cuantitativas, para establecer relaciones entre variables, reducir la dimensionalidad de los datos y agrupar materiales semejantes.

1. Primeramente se concentraron las medias de las variedades producto de nueve repeticiones, en una matriz, donde las hileras eran las variedades y las columnas las variables.
2. A cada variable se le calculó la media y la desviación estándar.

3. Se estandarizó la matriz de datos para eliminar la desviación debida a las diferentes unidades de medida usados: para ello se restó la media y se dividió entre su desviación estándar.

El objetivo de estandarizar la matriz de datos es que todas las variables tengan media cero y varianza igual a uno. El análisis de componentes principales se realizó a partir de la matriz de correlaciones con el paquete estadístico Statistica (Versión 6.0). Con la rutina de este paquete las variables fueron transformadas en componentes principales, los cuales son combinaciones lineales de las variables estandarizadas. En primer lugar se obtuvieron los valores propios (“valores eigen”) del componente principal, posteriormente la proporción de la varianza explicada por cada uno de ellos y después la varianza explicada acumulada. Se utilizaron los tres primeros componentes principales. La suma de las varianzas de los componentes principales (valores propios) son iguales a la suma de las varianzas de las variables estandarizadas (Broschat, 1979).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención de Híbridos Simples e Identificación de su Modo de Reproducción

Se logró un total de 220 cruzas simples y se obtuvieron cerca de 10,000 cariósides (10,000 híbridos F_1). Se espera que estos híbridos F_1 sean tetraploides ($2N=4X=36$ cromosomas) ya que éste es el nivel de ploidía reportado para sus progenitores Z-115 y TAM CRD B1s (Gómez, 1994; Taliaferro y Bashaw, 1966).

Se establecieron en el campo 6230 plantas F_1 , entre las cuales se observaron diferentes tipos morfológicos que demuestran la vasta diversidad genética que se presenta en las progenies resultantes de cruzamientos entre progenitores que son altamente heterocigotos cuando la barrera de la apomixis es rota con el uso de una fuente de sexualidad (Bashaw, 1980a). Los rasgos morfológicos en los que se observó una amplia variabilidad fueron principalmente: hábito de crecimiento (erecto, postrado, extendido, decumbente); altura de planta (alta, mediana y baja); tamaño de la inflorescencia (grandes, medianas y chicas); forma de la inflorescencia (compacta, abierta, bifurcada); hojas (angostas, anchas, textura fina, áspera);

color de follaje (verde limón, verde, verde intenso, verde azulado), color de la inflorescencia (crema y diferentes tonalidades de púrpura).

Con base en la evaluación visual de la población de híbridos F_1 , se seleccionaron 510 híbridos por su producción de panículas, biomasa y características morfológicas deseables. Entre las plantas seleccionadas se observó una gran diversidad de formas para las características evaluadas. La media de vigor para los híbridos F_1 seleccionados fue de 3.70 e indica que predominaron plantas con muy buen vigor, debido en parte al progenitor macho, Zaragoza 115, que es una variedad vigorosa y rizomatosa (Osuna, 1986).

El valor de la media aritmética para la evaluación visual de producción de inflorescencias fue 3.57, de acuerdo a la escala establecida, este valor indica plantas con buena producción de panículas, que fue la característica por la que se seleccionaron visualmente estos híbridos.

La moda para el color de la planta fue verde intenso, presentándose en una frecuencia de 325 que indica que este color estuvo presente en la mayoría de los híbridos F_1 , aún cuando el color de los progenitores es verde azulado y verde limón. Para esta variable también se observó una gran variabilidad entre los híbridos presentándose todas las tonalidades de verde: verde limón, verde, verde intenso y verde azulado.

Aún cuando en las plantas F_1 se observaron inflorescencias color paja, café, café obscuro, púrpura claro, púrpura, y púrpura obscuro, la moda fue de 1 (color paja) con una frecuencia de 196. Para esta variable la mayoría de los híbridos F_1 tuvieron una apariencia similar a Z-115 su progenitor macho, que produce inflorescencias de esta misma tonalidad.

En la población de plantas F_1 no se observaron síntomas del tizón del zacate buffel y los híbridos se mantuvieron libres de la enfermedad durante todo el ciclo. Estos resultados coinciden con los obtenidos en Ocampo, Coahuila en 1990, 1991 y 1992 donde 480 plantas F_1 y 98 progenies F_2 de la cruce B-1s x Z-115, así como el progenitor masculino mostraron resistencia al tizón (Gómez y González, 1997). En Zaragoza, Coahuila los progenitores B-1s y Z-115 fueron confirmados como resistentes al tizón (Torres, 2005).

Evaluaciones Cuantitativas

Producción de Panículas

En los zacates, la producción de panículas por planta es influenciada por el medio ambiente y el genotipo (Carámbula, 1981), además por la edad de las plantas. El rendimiento de semilla tiene componentes de los cuales la producción de panículas es el más importante (Boe y Gellner, 1990; González y Gaytán, 1992). De manera general, en los zacates perennes, la producción de inflorescencias es más baja en el año de establecimiento de las plantas.

Alvarado (1994) en Ocampo Coahuila, en una evaluación de 20 híbridos F_1 apomícticos de zacate buffel y el progenitor macho, la variedad Z-115, registró producciones menores de 100 panículas por planta con un rango de 39.5 a 91.1. La producción promedio de los 21 materiales fue de 70.95 panículas por planta. El año siguiente, la producción de panículas de los mismos materiales en el mismo experimento y localidad, varió de 128 a 257 panículas por planta con una media general de 192.7, es decir un incremento en el segundo año de 173 por ciento con respecto al año de establecimiento (Carbajal, 1996).

En la presente investigación, la producción de panículas por planta en el año de establecimiento de las plantas F_1 varió de 50 hasta 869 panículas por planta. La media para los 510 híbridos seleccionados fue de 210.68 panículas por planta, con una desviación estándar de 105.95 y una varianza de 11226.92 (Cuadro 4.1). Esta producción media de panículas es 196 por ciento más alta que la media de 70.95 de Ocampo, Coahuila, obtenida por Alvarado en 1994. El 10 por ciento de los híbridos produjo menos de 100 panículas, el 42.7 por ciento entre 100 a 200 panículas, el 30.78 por ciento entre 200 a 300 panículas, el 10.39 por ciento tuvo de 300 a 400 panículas, el 4.1 por ciento tuvo de 400 a 500 panículas, de 500 a 600 panículas fue el 1.56 por ciento (ocho plantas), solamente una planta tuvo 600 panículas, el valor de 869 panículas fue obtenido también por una sola planta.

Cuadro 4.1. Descriptores estadísticos para panículas por planta y materia seca de 510 híbridos F₁ de zacate buffel (B-1s x Z-115). Zaragoza, Coah. 2006.

	Panículas por planta	Materia seca
	Nº	t ha⁻¹
Media aritmética	210.68	14.463
Desviación estándar	105.95	5.975
Varianza	11226.92	35.701
Valor mínimo	50	2.500
Valor máximo	869	50.625
Moda	Múltiple	15
Frec. de la moda	6	34
Mediana	190.5	14.375
Cuartil inferior	132	10
Cuartil superior	255	17.500
Rango de cuartiles	123	7.500

De acuerdo a los valores de cuartiles inferior y superior, el 50 por ciento de los híbridos se distribuyeron de 132 a 255 panículas por planta. La correlación entre número de panículas por planta y producción de panículas evaluada cualitativamente fue de 0.51 ($\alpha \leq 0.05$).

El Campo Experimental de Zaragoza, Coah. es una localidad con condiciones mas favorables para el zacate buffel que la localidad de Ocampo, Coah. La altura sobre el nivel del mar es casi 1000 metros menor en Zaragoza (350 msnm) donde se presentan temperaturas mas altas (22 - 24 °C) y mayor precipitación anual (300-400 mm). Esto sugeriría que la mayor producción de panículas que se observó en Zaragoza es más bien resultado de un mejor medio ambiente puesto que las poblaciones originales de híbridos F_1 establecidas en ambas localidades, derivan de cruzamientos entre los mismos progenitores (TAM CRD B1s x Z-115).

Sin embargo, en un experimento realizado en Zaragoza, Coahuila con seis híbridos F_1 apomícticos de los 20 probados en Ocampo, los resultados para el año de establecimiento fueron: un rango de producción de panículas por planta de 25 a 43 con una media de 34.5 (González *et al.*, 1998). Por lo tanto, es mas factible que la mayor producción de panículas por planta observada en la presente investigación sea debida principalmente a la presencia de mejores genotipos entre la población de híbridos F_1 por la mayor probabilidad de obtener combinaciones superiores de genes en una población inicial mucho más grande. La población establecida en Zaragoza en 2006 fue de 6230 híbridos F_1 , 12.9 veces más grande que la población establecida en Ocampo, Coahuila en 1990 que fue de 480 híbridos F_1 .

El éxito de una variedad forrajera depende de una adecuada producción de semilla (Bashaw y Funk, 1987). Esto es particularmente cierto en las

especies perennes de uso extensivo, en muchas de las cuales la medición directa del rendimiento de semilla es difícil por la dehiscencia de la misma, por lo que una manera mas precisa de estimarlo es indirectamente a través del número de inflorescencias por planta o por unidad de superficie. La variación que se observó en las plantas F_1 es muy amplia y es indicativo del gran potencial que se tiene para seleccionar para producción de panículas y desarrollar variedades de zacate buffel con las cuales la producción comercial de semilla sea económicamente costeable para los agricultores productores de semilla y su precio accesible a los ganaderos interesados en utilizarlas.

El progenitor masculino de los híbridos, la variedad Zaragoza 115, es un buen productor de forraje y sus rizomas le permiten evadir los efectos de temperaturas inferiores al punto de congelación. Sin embargo, la producción de rizomas frecuentemente está asociada a baja producción de semilla (Evers *et al.*, 1969). Producción deficiente de semilla, de esta variedad ha sido observada en varias investigaciones (Gómez y González, 1992; Martínez, 1996; Pérez, 1998). Los resultados indican que la selección entre los híbridos F_1 estudiados puede conducir al desarrollo de variedades de zacate buffel superiores a su progenitor masculino y a otras variedades comerciales.

Materia Seca

Las estimaciones del rendimiento de materia seca para los híbridos F_1 , en un corte a la madurez de las plantas tuvieron una media de 14.463 t ha⁻¹ con

una desviación estándar de 5.975 t ha⁻¹ y una varianza de 35.70 t ha⁻¹. El rango de producción fue de 2.500 hasta 50.625 t ha⁻¹, el valor de la moda fue de 15 t ha⁻¹ con una frecuencia de 34. El 50 por ciento de los híbridos se distribuyeron entre 10 y 17.5 t ha⁻¹ (Cuadro 4.1). Se encontró una correlación positiva de 0.75 entre las variables de vigor y rendimiento de materia seca ($\alpha \leq 0.05$).

Los datos obtenidos en esta investigación superaron con 34 por ciento a la media del rendimiento obtenida por Gómez (1994) quien realizó una investigación en Ocampo, Coahuila con 480 híbridos F₁ de zacate buffel (B-1s x Z-115) y obtuvo una media de materia seca de 10.745 t ha⁻¹ y una desviación estándar de 4.7 t ha⁻¹.

En esta población de híbridos F₁, con los mismos progenitores (producto de la cruce de B-1s x Z-115), se observó una gran variabilidad que puede ser explotada para seleccionar materiales superiores, ya que una buena producción y calidad de forraje es una característica importante en una variedad forrajera mejorada (Poehlman y Allen, 2005). Así mismo, altos rendimientos de biomasa son indispensables en materiales factibles a utilizarse para producción de biocombustibles; estos serían aquellos genotipos con poca calidad de forraje por su alto contenido de fibra. Zacates para producir etanol serían una alternativa para reducir los índices de contaminación, ya que en comparación al petróleo, casi todos los biocombustibles reducen las emisiones de gases invernadero (González y Gómez, 2008).

Modo de Reproducción de los Híbridos F₁

La clasificación de las plantas F₁ como sexuales o apomícticas a través de la evaluación de su progenie, se realizó evaluando visualmente dentro de cada una de las progenies la uniformidad o falta de esta en características morfológicas, como hábito de crecimiento, altura de planta, tipo de panícula, vigor, color de estigmas, color de panícula, color de follaje, etc.

Burson y Young (2001) mencionan que además de las pruebas citológicas, las pruebas de progenie son un método práctico para los mejoradores para detectar apomixis. La progenie resultante de un apomíctico obligado o una planta altamente apomíctica es uniforme e idéntica al progenitor hembra. La apomixis proporciona una manera muy conveniente de propagar fielmente genotipos heterocigotos en varios zacates forrajeros de verano naturalmente apomícticos (Miles, 2007).

Se realizaron dos evaluaciones para la determinación del modo de reproducción en ambos lotes, la segunda evaluación se hizo después del corte de forraje lo que permitió tener mejor apreciación de la uniformidad o falta de esta dentro de las familias. En la primera evaluación del lote I se obtuvo una relación de progenies sexuales a apomícticas de 1: 1.22 y en la segunda evaluación la proporción fue de 1: 0.84 (Cuadro 4.2). En estas dos evaluaciones del lote I la proporción de plantas de reproducción sexual a plantas de reproducción asexual, se ajustó a 1:1.

Cuadro 4.2. Modo de reproducción de híbridos F_1 de zacate buffel de la cruce del clon sexual (B-1s) x Z-115. Lote I. Zaragoza, Coahuila. 2007.

Evaluación	Origen Progenies F_2				Proporción	X^2
	Sexual		Apomítico			
	Nº	%	Nº	%	S/A ¹	1:1
1era.	119	43.69	146	56.31	1:1.22	2.75 ^{NS}
2da.	144	23.30	121	76.70	1: 0.84	1.99 ^{NS}

1.S/A= Relación sexuales a apomíticos

NS= No significativo ($\alpha \leq 0.05$)

En cruces del clon sexual con materiales apomíticos se ha reportado la proporción de 5:3 para sexuales: apomíticos y también la proporción 1:1 (Taliaferro y Bashaw, 1966; Read y Bashaw, 1969). Probando el ajuste de los resultados observados a la proporción 5:3, los valores calculados de X^2 fueron 35 y 7.52 para las evaluaciones 1 y 2 respectivamente, en ambos casos los valores fueron superiores a 3.84 valor tabular de $X^2(\alpha \leq 0.05)$, indicando que el modo de reproducción no segregó en la proporción de 5 sexuales a 3 apomíticos.

Cuando los números observados fueron probados para ajuste a la proporción 1:1, los valores de X^2 calculada fueron de 2.75 y 1.99 para la primera y segunda evaluación respectivamente, menores al valor tabular de X^2 de 3.84 a $\alpha \leq 0.05$, indicando que en ambos casos hay un buen ajuste a la proporción 1:1.

Hignight *et al.* (1991) calcularon una proporción cercana a 1:1 de apomícticos a sexuales en híbridos producto de la cruce de B-1s x dos ecotipos apomícticos (tetraploides) y obtuvieron una proporción más alta con la cruce entre B-1s y un ecotipo pentaploide.

Taliaferro y Bashaw (1966) realizaron estudios de campo y citogenéticos con las progenies de autofecundación y cruzamiento de la planta de reproducción sexual B-1s con materiales apomícticos; con base en estos estudios ellos propusieron control genético del modo de reproducción determinado por dos pares de genes interactuando con epistasis dominante-recesiva. La constitución genética AaBb, fue propuesta para la planta sexual donde el gen B condiciona la sexualidad y es epistático sobre el gen A que condiciona la apomixis. De acuerdo a lo anterior, una planta apomíctica puede tener el genotipo AAbb o el genotipo Aabb. En una cruce de sexual AaBb x AAbb apomíctico, se esperaría una proporción 1:1. De lo anterior se desprende que la variedad Z-115 podría tener el genotipo AAbb.

En el lote II se clasificaron 103 progenies o familias F_2 , en la primera evaluación 45 progenies fueron clasificadas de origen sexual y 58 de origen apomíctico, el valor de X^2 calculada fue de 1.648, menor a 3.84 que es el valor de X^2 tabulada ($\alpha \leq 0.05$) indicando que los valores observados se ajustaron a la proporción 1:1. Por el contrario en la segunda evaluación los valores cambiaron a 24 progenies de origen sexual y 79 de origen apomíctico ajustándose a una proporción de 1:3. Cuando los valores de las segundas

evaluaciones en los lotes I y II se sumaron, el valor de X^2 calculada fue de 2.78 menor al valor de de X^2 t de 3.84 a $\alpha \leq 0.05$, las diferencias no fueron significativas, indicando ajuste a la proporción 1:1.

El cambio en la clasificación del modo de reproducción de la primera a la segunda evaluación en el lote I, se dio a favor de una mayor variabilidad y en el lote II a favor de una mayor uniformidad. Los cambios observados pueden explicarse por las siguientes causas: Los cambios a favor de una mayor variabilidad pueden deberse a que en una primera evaluación plantas débiles, poco vigorosas pueden pasar desapercibidas entre una mayoría de plantas vigorosas, cuando la evaluación se hace en plantas adultas. Estas plantas que pasan desapercibidas bajo estas condiciones son detectables cuando se hace una evaluación después de haber cortado las plantas; en este caso la clasificación inicial de uniforme pasaría a variable.

Los cambios a favor de una mayor uniformidad de las progenies fueron explicados por Torres (2005) de la siguiente manera: la pérdida en el campo de variantes morfológicas de poco vigor (posiblemente sexuales), en poblaciones inicialmente variables llevará al cambio de clasificación, quedando como uniformes en evaluaciones posteriores. Esta última situación fue una de las causas por lo que la clasificación del modo de reproducción se realizó en forma independiente en el lote I del lote II, ya que en este último lote muchas plantas estaban débiles y murieron durante el desarrollo de la investigación.

Los resultados obtenidos para el modo de reproducción remarcan la importancia de generar poblaciones F_1 del mayor tamaño posible en un programa de hibridación y selección de zacate buffel. El desarrollo de híbridos apomícticos comerciales se facilita si se hace selección entre plantas F_1 de reproducción sexual para que al ser utilizadas como hembras en programas de cruzamientos el progenitor femenino aporte el mayor número posible de genes favorables que serán adicionales a los aportados por el macho apomíctico. Al segregar el modo de reproducción en la proporción 1:1, se tiene un menor número de plantas de reproducción sexual entre las cuales realizar selección, en tanto que si la proporción fuera de 5:3, de cada ocho plantas se tendrían cinco sexuales entre las cuales seleccionar en lugar de cuatro como sucede con la proporción de 1:1. En esta fase de la investigación donde el objetivo fue identificar híbridos F_1 sexuales, hubiera sido más conveniente si el macho utilizado fuera de genotipo diferente, Aabb, con el cual se tiene la proporción 5:3.

Gómez y González (1997) mencionan que la determinación del modo de reproducción a través de las pruebas de progenies se considera un mecanismo confiable y valioso ya que al mismo tiempo que se realiza la determinación del modo de reproducción de los híbridos, permiten realizar una mayor evaluación agronómica de los mismos.

Características Agronómicas de las Familias F₂

Producción de Forraje Verde

Las estimaciones de rendimiento de forraje verde de las progenies F₂ en el lote I se presentan en el Cuadro 4.3. Las progenies de origen sexual (progenies variables) tuvieron una media aritmética de 24.528 t ha⁻¹, una desviación estándar de 10.110 t ha⁻¹ y una varianza de 102.203, el rango de producción fue de 5.750 hasta 54.480 t ha⁻¹.

Cuadro 4.3. Descriptores estadísticos para la producción de forraje verde (t ha⁻¹) de progenies F₂ de zacate buffel (lote I). Zaragoza, Coah. 2007.

Origen de las progenies	Forraje verde	Desv. Est.	Var.	Rango	
				Mínimo	Máximo
Sexual	24.528a	10.110	102.203	5.750	54.480
Apomíctico	37.602 b	15.381	236.590	2.083	101.250

1. Literales diferentes indican diferencias altamente significativas, con un valor de $t = 8.0$ a un nivel de $\alpha \leq 0.01$.

La diferencia entre el valor mínimo y máximo fue de 48.73 t ha⁻¹. El valor de la moda fue de 20 t ha⁻¹ con una frecuencia de 5 y la mediana tuvo un valor de 22.700 t ha⁻¹. El 50 por ciento de las progenies variables, de acuerdo a los valores de los cuartiles, tuvieron un rendimiento de forraje verde entre 17.083 y 30.416 t ha⁻¹. Torres (2005), en la misma estación experimental de Zaragoza,

Coah. estimó un rendimiento de forraje verde de 9.475 t ha^{-1} para la progenie del clon sexual TAM CRD B1s. Los resultados de esta investigación muestran que existe un gran potencial para desarrollar nuevos progenitores de reproducción sexual con capacidad de producción de forraje superior desde dos hasta cinco veces la de TAM CRD B1s.

La media aritmética de rendimiento de forraje verde de las progenies F_2 de origen apomítico (progenies uniformes) fue de 37.602 t ha^{-1} con una desviación estándar de 15.381 y una varianza de 236.590. El rango de producción para estas progenies uniformes fue de 2.083 hasta $101.250 \text{ t ha}^{-1}$, con una diferencia entre el valor máximo y mínimo de 99.167 t ha^{-1} . La moda para las progenies de origen asexual fue 45.400 t ha^{-1} con una frecuencia de 7 y la mediana tuvo un valor de 36.320 t ha^{-1} . El rendimiento de forraje verde de el 50 por ciento de las progenies se distribuyó entre 29.187 y 47.670 t ha^{-1} de acuerdo a los valores de los cuartiles.

El 11.85 por ciento de las progenies uniformes tuvieron un rendimiento de forraje verde inferior a 20 toneladas, el 46.52 por ciento tuvieron un rendimiento entre 20 y 40 t ha^{-1} , el 36.11 por ciento de las progenies entre 40 y 60, 4.17 por ciento entre 60 y 80 t ha^{-1} , solamente una progenie (0.69 por ciento) tuvo un rendimiento superior a 80 t ha^{-1} , así mismo otra progenie alcanzó un rendimiento de $101.250 \text{ t ha}^{-1}$.

La producción media de forraje verde de las progenies de origen asexual fue 53.3 por ciento más alta que la de las progenies de origen sexual. La diferencia entre medias de 13.074 t ha⁻¹ fue significativa de acuerdo al valor de t de 8.0 a un nivel de $\alpha \leq 0.01$. La superioridad de los genotipos apomícticos observada en esta investigación concuerda con los resultados de otras investigaciones (Bashaw y Hanna, 1990; Gómez y González, 1997; Richards, 2003).

La varianza para producción de forraje verde de las progenies de origen asexual fue 2.3 veces la varianza de las progenies de origen sexual. La capacidad para producir forraje verde de varios genotipos apomícticos supera ampliamente la de todas las variedades comerciales y/o experimentales utilizadas en otras fases de esta investigación, de acuerdo a los resultados de Torres (2005). En su investigación se reportaron rendimientos de forraje verde de 23.187 t ha⁻¹ para el híbrido AN17PS, 31.831 para Zaragoza 115, 20.075 para Común II, 29.337 para Formidable, 27.056 para Nueces y 27.363 t ha⁻¹ para Higgins. De acuerdo a las estimaciones, en la presente investigación, es factible seleccionar genotipos apomícticos con capacidad de producción de forraje verde más de tres veces la de las mejores variedades.

Los resultados obtenidos en el segundo lote se presentan en el Cuadro 4.4. Las tendencias fueron las mismas que se observaron en el primer lote; las progenies de origen asexual superaron en promedio por 11.778 t ha⁻¹ de forraje

verde a las progenies de origen sexual, esta diferencia entre las medias fue altamente significativa alcanzando t un valor de 4.567 a un nivel de $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 4.4. Descriptores estadísticos para la producción de forraje verde ($t\ ha^{-1}$) de progenies F_2 de zacate buffel (Lote II). Zaragoza, Coah. 2007.

Origen de las progenies	Forraje verde ¹	Desv. Est.	Var.	Rango	
				Mínimo	Máximo
Sexual	17.779a	9.597	92.115	3.750	45.000
Apomítico	28.957 b	13.747	188.990	6.675	86.250

1. Literales diferentes en una columna indican diferencias altamente significativas, con un valor de $t = 4.567$ a un nivel de $\alpha \leq 0.01$.

Rendimiento de Materia Seca

Las estimaciones de rendimiento de materia seca de las progenies clasificadas como sexuales en ambos lotes se presentan en el Cuadro 4.5. El rendimiento promedio para las progenies sexuales del lote I fue de 9.470 con un rango de 2.185 hasta 18.642 $t\ ha^{-1}$, la diferencia entre el valor mínimo y máximo fue de 16.457 $t\ ha^{-1}$, y la mediana fue de 8.844. El 50 por ciento de las progenies se distribuyeron en un rango de 6.593 a 12 $t\ ha^{-1}$, de acuerdo a los valores de cuartiles inferior y superior respectivamente.

Cuadro 4.5. Descriptores estadísticos del rendimiento de materia seca ($t\ ha^{-1}$), de progenies F_2 de zacate buffel derivadas de reproducción sexual. Zaragoza, Coah. 2007.

Lote	Materia seca	Desv. Est.	Var.	Rango	
				Mínimo	Máximo
I	9.470	3.957	15.658	2.185	18.642
II	8.162	4.762	22.685	0.802	21.690

La distribución del rendimiento en este lote fue muy cercana a la normal, El 6.89 por ciento de las progenies tuvieron un rendimiento de 2 a 4 $t\ ha^{-1}$, el 12.93 por ciento de 4 a 6 $t\ ha^{-1}$, el 21.55 por ciento de 6 a 8, el 18.10 por ciento de 8 a 10 $t\ ha^{-1}$, el 15.52 por ciento de 10 a 12 $t\ ha^{-1}$, el 11.21 por ciento de 12 a 14 $t\ ha^{-1}$, el 6.90 por ciento de 14 a 16 $t\ ha^{-1}$, el 2.59 por ciento de 16 a 18 $t\ ha^{-1}$ y el 4.31 por ciento con un rendimiento superior a 18 $t\ ha^{-1}$.

El rendimiento promedio de materia seca de las progenies sexuales del lote II fue 8.162 $t\ ha^{-1}$ con un rango en el rendimiento de 0.802 a 21.690 $t\ ha^{-1}$. Los valores de cuartiles fueron 4.946 a 10.557 $t\ ha^{-1}$ indicando que el 50 por ciento de las progenies sexuales se distribuyeron en este rango (Cuadro 4.5). Gómez y González (1997) en una evaluación de progenies F_2 de zacate buffel en Ocampo, Coahuila reportaron una producción promedio de materia seca de 5.035 $t\ ha^{-1}$ en híbridos sexuales. Este valor fue superado en las progenies sexuales de los lotes I y II en un 88 y 62 por ciento respectivamente.

Reacción al Tizón

Todas las plantas del testigo variedad Común mostraron los síntomas típicos del tizón de la hoja del zacate buffel descritos por Rodríguez *et al.* (1999): manchas decoloradas, oscuras que desarrollan lesiones de color bronce, redondeadas a elípticas, con borde rojo oscuro y un halo amarillo. Los mismos autores mencionan que las lesiones pueden juntarse matando la hoja, ocasionando con esto daño severo. La extrema susceptibilidad de la variedad Común observada en esta investigación concuerda con lo reportado por Torres (2005) en la misma localidad de Zaragoza, Coahuila. En su investigación el monitoreó durante el ciclo de otoño, más de 2000 plantas y encontró la presencia de la enfermedad en todas las plantas.

En Texas, O'cumpaugh y Rodríguez (1998) reportaron susceptibilidad al tizón en 14 variedades de zacate buffel, entre estas Común, Bilolela, Molopo y Nueces. La enfermedad del tizón se presenta en todo el mundo, Perrot y Chakraborty (1999) la reportaron en Australia en las variedades Común y Gayndah mencionando que la variedad Bilolela estuvo menos afectada.

El híbrido AN17PS mostró resistencia al tizón permaneciendo las plantas libres de la enfermedad durante todo el ciclo. Todas las plantas de las progenies uniformes se mantuvieron sanas, así mismo todas las plantas F_1 que produjeron la semilla F_2 fueron resistentes; ya que no se observaron las lesiones características de esta enfermedad en las plantas F_1 seleccionadas. En

las progenies variables se encontraron cinco plantas susceptibles a la enfermedad. En este caso es posible que aún cuando las plantas madre F_1 hayan sido resistentes, por su reproducción sexual podría haber segregación en su progenie.

Las plantas F_1 de la cruce del clon sexual B-1s y la variedad apomíctica Z-115, siempre han mostrado resistencia al tizón, esto como resultado de la resistencia de ambos progenitores observada por Torres (2005). La resistencia al tizón de los híbridos F_1 apomícticos de sexual x Z-115 se ha mantenido de acuerdo a varias investigaciones (González *et al.*, 2001; González y Gómez, 2000; González *et al.*, 1998; Gómez y González, 1997; Gómez, 1994).

Tolerancia a Heladas

En los zacates perennes de vida larga como el zacate buffel, la tolerancia a heladas es importante porque es uno de los factores que determinan la sobrevivencia de un año a otro y por lo tanto la persistencia del pastizal. Común no sobrevive temperaturas inferiores a 10 °C bajo cero, algunos tipos de buffel azul toleran temperaturas más bajas debido a que son rizomatosos (Wheeler y Hill, 1957). Cox *et al.* (1988) mencionan que buffel Común no persiste donde la media de temperaturas mínimas en el mes más frío es inferior a -5°C. En la presente investigación el 88 por ciento de las plantas de Común mostraron síntomas de susceptibilidad al frío, indicada por una coloración rojiza de las hojas.

En las familias F_2 uniformes no se observó ninguna planta con la coloración rojiza de Común; y solo en tres progenies variables se observaron plantas susceptibles al frío. Las plantas de AN17PS y Z-115 mostraron una apariencia normal; ambas variedades son rizomatosas y su mayor tolerancia a las heladas ha sido reportada previamente (González y Gómez, 2004; Martínez, 1996). Los resultados de esta investigación confirman que la cruce de TAM CRD B1s x la variedad Z-115, produce híbridos F_1 con mayor tolerancia al frío que la variedad Común.

Rebrote

El rebrote de las progenies uniformes (origen apomíctico) fue mejor que el de las progenies sexuales tanto en el primer lote como en el segundo. Los promedios de rebrote fueron 3.93 y 2.80 en el primer lote para las progenies de origen apomíctico y las de origen sexual, respectivamente. En el segundo lote las progenies uniformes promediaron 3.44 y las progenies variables 2.60. La moda y la mediana tuvieron un valor de 4 en las progenies apomícticas del primer lote y un valor de 3 en las progenies sexuales del mismo lote. Los resultados para rebrote reflejan también la superioridad de los apomícticos sobre los sexuales. La producción de forraje verde y seco estuvo correlacionada positivamente con el rebrote. En el lote I para las progenies apomícticas se encontró una correlación de 0.61 ($\alpha \leq 0.05$) entre la producción de forraje verde y rebrote. Para las progenies sexuales la correlación entre la producción de materia seca y rebrote fue de 0.57 ($\alpha \leq 0.05$).

En el lote II para las progenies apomícticas la correlación entre la producción de forraje verde y rebrote fue de 0.69 ($\alpha \leq 0.05$). Para las progenies sexuales la producción de forraje seco y rebrote se encontró una correlación de 0.62 ($\alpha \leq 0.05$).

Los resultados de las evaluaciones de las plantas F_1 y las familias F_2 confirmaron reportes anteriores (Gómez y González, 1997) que al cruzar el clon sexual TAM CRD B1s como hembra y la variedad Zaragoza 115 como macho apomíctico, ocurre segregación para el modo de reproducción entre la progenie F_1 . Por otra parte, el incremento en el tamaño de las poblaciones F_1 generó mayor variabilidad a la observada en otras investigaciones en diferentes características; esto hace posible la obtención de genotipos superiores en varias características como producción de semilla, producción de forraje, sanidad y por lo tanto calidad del forraje, tolerancia al frío, resistencia al acame, hábito de crecimiento, rebrote, etc.; también hace posible el uso potencial de los híbridos F_1 de reproducción sexual como progenitores hembra, en programas de hibridación o de los híbridos F_1 de reproducción apomíctica como variedades comerciales potenciales con heterosis fija a través de generaciones. Esto confirma que la cruce de plantas sexuales con machos apomícticos es la mejor técnica para el mejoramiento genético del zacate buffel en México y las regiones subtropicales del mundo (Hatch y Hussey, 1991). Sin embargo, en México solamente el Programa de Mejoramiento de la UAAAN practica la hibridación en zacate buffel.

Valle (2007) en Brasil menciona que la inversión en mejoramiento en los zacates tropicales, está justificada cuando las características más importantes como la producción de semilla y la resistencia a enfermedades no se encuentran en las variedades actuales. Los cruzamientos seguidos de selección son una fuente inagotable e infinita de diversidad y por consecuencia una interminable fuente de variedades potenciales. Esto concuerda con la filosofía de mejoramiento que se ha seguido en el Programa de Pastos de la UAAAN en hibridar y seleccionar para desarrollar nuevas variedades de zacate buffel.

Compatibilidad en Cruza del Nuevo Germoplasma Sexual

Selección de Plantas F₁ Sexuales

La producción de panículas de los híbridos F₁, así como el rendimiento de materia seca de sus progenies F₂ de 17 híbridos F₁ (17 plantas F₁) de reproducción sexual del lote I para utilizarse como progenitores hembra en los cruzamientos triples se presenta en el Cuadro 4.6. La selección de las plantas sexuales con base principalmente en la producción de panículas es importante debido a la necesidad de asegurar la disponibilidad de inflorescencias para realizar las cruza triples y por otro lado, asegurar que la producción de semilla no sea una limitante para la adopción de las nuevas variedades (Van der Have, 1979).

Cuadro 4.6. Híbridos F₁ de reproducción sexual seleccionados, origen y producción de panículas por planta y rendimiento de materia seca de sus progenies F₂. Lote I. Zaragoza, Coah. 2007.

Híbridos F ₁ Sexuales seleccionados	Plantas F ₁		Familias F ₂		
	Origen ¹	Panículas/ planta No.	Melga No.	Progenie No.	Materia seca t ha ⁻¹
SS ₁ *	3-6-1-4	315	13	254	18.650
SS ₂ *	2-3-4-14	271	7	130	18.225
SS ₃ *	1-9-2-4	258	4	77	17.325
SS ₄	1-1-2-15	390	1	2	15.050
SS ₅	3-6-6-2	202	13	256	14.975
SS ₆ *	2-3-1-14	301	7	127	14.675
SS ₇ *	1-5-2-3	304	2	45	14.200
SS ₈	3-3-1-1	373	11	217	13.950
SS ₉ *	3-2-7-1	377	11	215	12.600
SS ₁₀ *	2-3-1-6	329	6	123	12.175
SS ₁₁	2-6-7-16	361	8	159	11.825
SS ₁₂ *	1-7-7-15	427	4	68	11.750
SS ₁₃ *	2-3-1-7	353	6	124	11.200
SS ₁₄ *	2-2-1-14	394	6	118	10.575
SS ₁₅	3-7-1-3	198	13	261	9.175
SS ₁₆	1-3-1-2	314	2	27	8.875
SS ₁₇	2-11-6-16	321	10	196	8.800

* Híbridos sexuales utilizados como hembras en cruzamientos con machos apomícticos.

1. Los números corresponden a número de franja, número de melga, número de surco y número de la planta dentro del surco.

En el lote II, se seleccionaron otras 14 plantas F₁ de reproducción sexual. La producción de panículas de estas plantas F₁ y de forraje seco de sus progenies F₂ se presentan en el Cuadro 4.7.

Cuadro 4.7. Producción de panículas de 14 plantas F₁ sexuales y producción de forraje seco de sus progenies F₂. Lote II. Zaragoza, Coah. 2007.

Híbridos F ₁ sexuales seleccionados	Plantas F ₁		Familias F ₂		
	Origen ¹	Panículas/ planta No.	Melga No.	Progenie No.	Materia seca t ha ⁻¹
SS ₁₈	3-11-1-4	175	2	15	21.700
SS ₁₉	4-10-1-15	72	6	71	20.725
SS ₂₀	4-3-5-15	116	2	27	17.800
SS ₂₁	4-3-6-14	96	2	28	17.225
SS ₂₂	4-5-2-8	187	3	35	15.000
SS ₂₃	4-12-5-21	284	7	94	13.400
SS ₂₄	4-10-4-5	224	6	76	12.325
SS ₂₅	4-12-2-27	482	7	91	11.150
SS ₂₆	4-13-1-7	257	8	99	11.000
SS ₂₇	4-12-1-9	259	7	90	10.225
SS ₂₈	4-6-3-4	238	4	43	9.550
SS ₂₉	4-4-2-13	234	3	34	7.800
SS ₃₀	4-10-2-2	311	6	73	7.125
SS ₃₁	3-10-7-1	328	1	12	6.025

1. Los números corresponden a número de franja, número de melga, número de surco y número de la planta dentro del surco.

Hibridaciones en Invernadero

En el Cuadro A4.3 se presentan los datos de las panículas que fueron emasculadas en cada uno de los 10 híbridos F_1 de reproducción sexual. En total se realizaron 188 emasculaciones con un mínimo de 18 para cinco de las hembras y un máximo de 21 para la selección sexual nueve. Se realizaron las 188 polinizaciones correspondientes con los diferentes machos apomícticos con un mínimo de 20 con AN17PS, Común II, Higgins y Z-115 y un máximo de 22 polinizaciones con Nueces, TAM CRD B1s y Común. Con las variedades restantes Biloela y Formidable se realizaron 21 polinizaciones en cada caso. Adicional a lo anterior, se realizaron 204 polinizaciones más sobre las 204 panículas correspondientes (Cuadro A4.4). Estas panículas fueron semipreparadas, eliminando los involucros retrasados para dejar solamente aquellos con los estigmas expuestos.

El número de polinizaciones varió de 20 en el caso de Biloela, hasta 27 con TAM CRD B1s. Las panículas semipreparadas fueron 17 en el caso de la selección sexual 6, hasta 25 en la selección sexual 7. El número de cruzas realizadas superó en 217 por ciento a lo programado originalmente. El número de cariósides obtenidos con las panículas emasculadas se presentan en el Cuadro 4.8. De acuerdo a los resultados, en 60 cruzamientos se produjo al menos un cariósido, las cruzas se consideraron fértiles y los progenitores involucrados compatibles.

Cuadro 4.8. Cariópsides producidos en cruzamientos de diez hembras F₁ de reproducción sexual (con emasculación) con nueve machos apomícticos de zacate buffel *Pennisetum ciliare* L. Saltillo, Coah. 2008.

Hembras Sexuales	Machos Apomícticos									Total	Media
	Higgins	B-1s	Z-115	AN17PS	CII	Común	Nueces	Biloela	Formid		
SS7	12	13	6	17	7	1	4	1	4	65	7.22
SS10	17	7	11	8	2	0	7	1	1	54	6.00
SS6	10	5	0	5	5	10	1	2	0	38	4.22
SS2	5	5	3	0	0	1	8	0	0	22	2.44
SS3	2	3	5	1	4	2	2	0	0	19	2.11
SS12	2	1	5	0	2	8	0	0	0	18	2.00
SS1	1	2	0	0	1	1	6	2	0	13	1.44
SS9	2	0	1	0	3	5	0	0	1	12	1.33
SS13	0	1	1	0	9	1	0	0	0	12	1.33
SS14	1	4	3	0	0	1	0	0	0	9	1.00
Total	52	41	35	33	31	30	28	6	6	262	
Media	5.2	4.1	3.5	3.3	3.1	3.0	2.8	0.6	0.6		

En los otros 30 cruzamientos no se produjeron cariósides y en consecuencia no hay compatibilidad en cruza entre los progenitores. En los cruzamientos fértiles, la fertilidad de las cruzas fue variable y hasta 17 veces más alta en las cruzas SS7 x AN17PS y SS10 x Higgins en comparación a las 18 cruzas donde se obtuvo solamente un cariósido. La hembra SS7 es la única que resultó compatible con los nueve machos, la máxima compatibilidad se observó con AN17PS y la compatibilidad más baja con las variedades Común y Biloela. La segunda selección sexual más compatible fue la hembra SS10 que produjo grano en ocho de las nueve cruzas, siendo la excepción la cruza con la variedad Común. La formación de cariósides en este caso también varió de 17 en la cruza con Higgins y solo un grano con Biloela y Formidable. Por otra parte, la selección sexual SS14 resultó compatible solamente con cuatro variedades siendo además dicha compatibilidad más baja con dos de ellos, Común y Higgins, con los que produjo sólo un grano. De hecho, SS14 resultó compatible solamente con sus progenitores TAM CRD B1s y Z-115.

Con respecto a los machos la variedad Higgins produjo la mayor cantidad de cariósides totalizando 52 sumando sobre todo las hembras. Este progenitor masculino produjo grano con nueve de las diez hembras aunque la producción de granos fue mínima con SS1 y SS14 las cuales produjeron sólo un grano. Los siguientes dos machos más productores fueron TAM CRD B1s y Z-115, los progenitores de todas las hembras. Nueve hembras produjeron grano cuando TAM CRD B1s fue el macho, siendo la excepción SS9; las hembras SS12 y

SS13 produjeron sólo un grano. Por otra parte las variedades Biloela y Formidable produjeron granos solamente con cuatro y tres hembras respectivamente.

Cuando se recurrió al aprovechamiento del carácter protogíneo de la especie, los resultados fueron diferentes (Cuadro 4.9). En primer lugar, la producción de granos tuvo lugar en 87 cruzamientos indicando que las 87 cruzas son fértiles y los niveles de compatibilidad son suficientes aún en las cruzas de más baja fertilidad para producir poblaciones con alta variabilidad genética al posibilitar el flujo de genes en todas las combinaciones posibles. La producción media de cariósides varió de 43 cariósides para SS12 hasta 108 y 105 en las hembras SS7 y SS3. La hembra SS7 produjo 65 cariósides más que SS12 y esta diferencia representa 151 por ciento más cariósides. La hembra SS3 también produjo una cantidad importante de cariósides. Con respecto a los machos las mayores producciones de cariósides las tuvieron B-1s, Z-115 y AN17PS. Este resultado es de esperarse puesto que B-1s y Z-115 son los progenitores de las hembras y AN17PS es hermano completo. La variedad Común tuvo la producción de cariósides más baja y comparable con Z-115 los resultados concuerdan con los de reportes previos (Gómez y González, 1997). Biloela siendo pentaploide tuvo un comportamiento igual al de los tetraploides Formidable y Higgins. La producción del hexaploide CII fue 15 por ciento más alta que la de Biloela.

Cuadro 4.9. Cariópsides por panícula producidos en cruzamientos de diez hembras F₁ de reproducción sexual (sin emasculación) con nueve machos apomícticos de zacate buffel *Pennisetum ciliare* L. Saltillo, Coah. 2008.

Hembras Sexuales	Machos Apomícticos									Total	Media
	B-1s	Z-115	AN17PS	CII	Nueces	Formid	Biloela	Higgins	Común		
SS7	120	132	103	147	117	119	92	57	88	975	108
SS3	145	97	111	71	126	95	85	144	72	946	105
SS9	79	90	81	65	66	56	52	46	44	579	64
SS2	33	49	89	24	80	60	78	70	48	531	59
SS10	52	78	71	42	45	80	59	28	39	494	55
SS13	48	84	82	63	35	47	52	36	47	494	55
SS6	87	61	45	69	50	30	32	56	63	493	55
SS1	—	65	48	—	28	59	—	63	61	324	54
SS14	79	40	64	74	47	22	46	29	37	438	49
SS12	41	40	48	47	68	33	27	51	32	387	43
Total	684	736	742	602	662	601	523	580	531	5661	
Media	76	74	74	67	66	60	58	58	53		65

No se localizaron panículas de las cruzas SS1 con B-1s, CII y Biloela, sin embargo, estos cruzamientos produjeron 2, 1 y 2 cariósides respectivamente cuando se hicieron con las panículas emasculadas indicando que estas cruzas son fértiles. Por lo tanto la conjunción de los resultados de los cruzamientos con emasculación y sin emasculación indican que todas las cruzas son fértiles. En resumen, las hembras sexuales y los machos apomícticos pueden ser utilizados para producir cruzas triples, retrocruzas y cruzas fraternales, etc. Para generar poblaciones de amplia base genética para aplicar la selección para características particulares o grupos de características útiles en el uso tradicional así como nuevos usos del zacate buffel.

Compatibilidad en Cruza de Biloela, Formidable y Nueces con el Clon Sexual B-1s

Se realizaron un total de 39 cruzamientos entre B-1s y Biloela, 32 con Formidable y 26 con el híbrido apomíctico Nueces. El número total de involucros polinizados con Nueces fue 1043 y se obtuvieron 80 cariósides. De 1666 involucros polinizados con Biloela se obtuvieron en total 142 cariósides. Con Formidable se polinizaron 1234 involucros y se obtuvieron 96 cariósides. En el análisis de varianza únicamente se consideraron los días (ocho) en que se polinizaron el mismo número de inflorescencias con las tres variedades, estos datos se presentan en el Cuadro 4.10. El análisis de varianza para porcentaje de fertilidad no detectó diferencias significativas entre variedades, detectó diferencias altamente significativas entre bloques (Cuadro A4.1).

Cuadro 4.10. Panículas e involucros polinizados, número de carióspsides y porcentaje de fertilidad en los cruzamientos del clon sexual B-1s con tres variedades apomícticas de zacate buffel. Saltillo, Coah. 2006.

Progenitores macho	Panículas N°	Involucros polinizados N°	Carióspsides N°	Carióspsides/ panícula N°	Fertilidad %
Biloela	8	363	53	6.6	14.60
Formidable	8	304	39	4.8	12.82
Nueces	8	299	34	4.2	11.37

El número de carióspsides obtenidos (híbridos F₁) por panícula fue de 6.6, 4.8 y 4.2 para Biloela, Formidable y Nueces, respectivamente. Las tres variedades mostraron buena compatibilidad en cruza con el clon sexual B 1s. Los valores en porcentaje de fertilidad para Biloela, Formidable y Nueces fueron de 14.60, 12.82 y 11.37 por ciento respectivamente. De acuerdo a Gómez (1994) la compatibilidad en cruza de B-1s con machos apomícticos depende en parte del nivel de ploidía de éstos, se encontró un promedio de 0.05 carióspsides/panícula de la cruza de B 1s con una línea pentaploide (414513); mientras que cuando utilizó Z-115 como progenitor macho, el promedio de carióspsides por panícula fue de 5.36.

Complementos Cromosómicos de Biloela y Formidable

Se encontró que Biloela es un pentaploide con $2N=5X=45$ cromosomas y Formidable un tetraploide con $2N=4X=36$ cromosomas (Figuras 4.1 y 4.2).

Estos niveles de ploidía ya han sido reportados previamente por otros investigadores para otros materiales en la especie (Fisher *et al.*, 1954; Bashaw y Hignight, 1990).

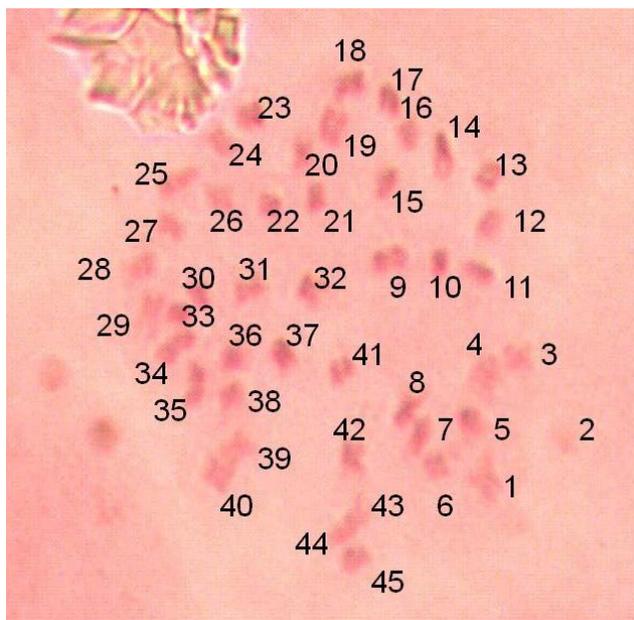


Figura 4.1 Cromosomas de la variedad *Biloea* en prometafase de mitosis $2N=5X=45$



Figura 4.2. Cromosomas de la variedad *Formidable* en prometafase de mitosis $2N=4X=36$

Gómez (1994) encontró que materiales tetraploides son más compatibles con el clon sexual B-1s que los materiales pentaploides; sin embargo, en esta investigación Biloela mostró una buena compatibilidad con B-1s, a pesar del nivel pentaploide observado en esta variedad. La compatibilidad en cruza con TAM CRD B1s también es variable de pentaploide a pentaploide (González *et al.*, 1996).

Se podría pensar que el amarre de semilla en B-1s de 14 por ciento cuando el progenitor macho fue Biloela sería difícil de explicar, por la naturaleza pentaploide de esta variedad, sin embargo, existen reportes con resultados similares. Hignight *et al.* (1991) reportaron valores en los pentaploides muy superiores a los de otras líneas tetraploides. Ellos reportaron porcentajes de fertilidad en B-1s, al cruzarla con el pentaploide PI 409233, dos veces superior a la de la línea tetraploide PI 409588 y cuatro veces superior a la de la línea tetraploide PI409338. Ellos encontraron porcentajes de fertilidad desde 2 hasta 43 por ciento, mencionan que las dificultades en las hibridaciones encontradas en algunos casos podrían ser debidas al largo tiempo de aislamiento entre los materiales impuesto por la apomixis.

Bashaw y Hignight (1990) obtuvieron 693 híbridos F_1 de la cruza del clon sexual B-1s con el pentaploide apomíctico T-704 como progenitor macho. Cuando el pentaploide T-704 fue utilizado como el progenitor femenino en cruza con el tetraploide apomíctico Llano obtuvieron 350 híbridos de los cuales tres fueron híbridos BIII ($2N= 7X = 63$) dos fueron altamente fértiles a pesar de

extrema irregularidad meiótica. Cuando T-704 como progenitor femenino se cruzó con birwoodgrass obtuvieron una progenie de 950, de las cuales 13 (1.3 por ciento) fueron híbridos BIII. En los materiales tetraploides la microesporogénesis es normal o cercana a lo normal (Fisher *et al.*, 1954), mientras que en los pentaploides las irregularidades son más frecuentes por su número impar de homólogos (Schulz-Schaeffer, 1980).

Caracterización Morfológica de Variedades de Zacate Buffel

Características Cuantitativas

Los análisis de varianza para todas las variables evaluadas, a excepción del número de ramificaciones y longitud de cariósido, detectaron diferencias altamente significativas entre las variedades ($P \leq 0.01$). En el Cuadro A4.2 se presentan los cuadrados medios de los análisis de varianza de las variables morfológicas y de semilla que se midieron en los dos ciclos de crecimiento.

Panículas por Planta (PP1 y PP2)

La comparación de medias para el número de panículas por planta se presenta en el Cuadro 4.11. El número promedio de panículas por planta en la primera evaluación (PP1) fue de 42.35, en la segunda evaluación (PP2) el promedio fue de 252.77. Esta superó a la media de la primera evaluación en un 496.8 por ciento.

Cuadro 4.11. Comparación de medias de panículas por planta, rendimiento de semilla y altura de planta de variedades¹ de zacate buffel. Saltillo, Coahuila. 2007

Panículas por planta No.		Rdto. de semilla g		Altura de planta ² cm					
Evaluación 1		Evaluación 2		Evaluación 1		Evaluación 2			
C	73.0 a*	H	461 a*	H	36.3 a*	S	108.9 a*	B	127.0 a*
H	70.8 a	C II	430 a	C II	35.7 a	B	101.4 b	S	119.0 ab
F	62.6 ab	C	413 a	C	32.5 a	N	100.3 bc	N	118.6 ab
C II	54.2 b	F	286 b	F	25.4 b	AN	94.4 cd	Z	116.0 b
B	31.1 c	Z	165 c	B	21.9 bc	Z	90.0 de	AN	115.0 b
Z	29.7 cd	B	163 c	S	18.2 cd	F	88.7 de	F	109.0 bc
S	24.0 cde	S	132 cd	N	16.8 de	C II	85.2 ef	C II	101.0 cd
N	19.3 de	AN	122 cd	AN	14.5 de	C	83.9 ef	C	100.0 cd
AN	16.5 e	N	103 d	Z	13.9 e	H	81.1 f	H	97.0 d

1. AN = AN17PS, B=Biloela, C=Común, CII = Común II, F= Formidable, H= Higgins, N=Nueces, S= TAM-CRD B1s, Z= Zaragoza 115.

2. Medida de la base de la planta a la punta de la panícula del tallo más alto.

* Valores con literales distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($\alpha \leq 0.05$).

En este segundo ciclo las variedades Higgins (H), Común II (CII) y Común (C) obtuvieron los valores mas altos con 461, 430 y 413 PP respectivamente, siendo estadísticamente iguales entre si y diferentes al resto de los materiales. Formidable (F) obtuvo el cuarto lugar con 286 PP y fue estadísticamente diferente al resto de los materiales. TAM CRD B1s (S), AN17PS (AN) y Nueces (N) obtuvieron los valores más bajos con 132, 122 y 103 PP y fueron estadísticamente iguales entre si, a su vez S y AN fueron estadísticamente iguales a Zaragoza 115 (Z) y Biloela (B).

Higgins, la variedad con mayor número PP, produjo 347 por ciento más panículas que N, que fue la variedad con el valor más bajo de PP. La producción de panículas por plantas fue mucho menor en la primera que en la segunda evaluación, pero el comportamiento de los materiales fue muy similar en ambos ciclos de crecimiento.

Rendimiento de Semilla (RS)

Los valores medios de esta variable se presentan en el Cuadro 4.9. Las variedades H, CII y C obtuvieron los valores más altos de rendimiento de semilla y fueron estadísticamente iguales entre si y diferentes al resto de los materiales. Formidable ocupó el cuarto lugar y fue estadísticamente igual a B. Las variedades N, AN y Z obtuvieron los valores más bajos y fueron estadísticamente iguales entre si, N y AN fueron estadísticamente iguales a B-1s, que a su vez fue estadísticamente igual a B (Cuadro 4.11).

Los coeficientes de correlación entre PP1 y PP2 y RS fueron significativos, siendo los valores calculados 0.89 y 0.96 respectivamente ($\alpha \leq 0.05$), indicando una asociación positiva de panículas por planta con RS. Los resultados resaltan la importancia de la producción de panículas en el rendimiento de semilla del zacate buffel y la superioridad de la variedad Común como productor de semilla sobre las variedades comerciales Formidable, Biloela, Nueces, AN17PS y Zaragoza 115.

Altura de Planta (ATA1, ATA2, AMI1, AMI2)

El comportamiento de los materiales para altura del tallo más alto (ATA1 y ATA2) fue muy similar en los dos ciclos de crecimiento. La media en los dos ciclos para B, S y N, que fueron los de mayor altura, fue 114.2, 113.9 y 109.45 cm respectivamente y los valores promedio para los materiales de menor altura, CII, C y H fue 93.1, 91.9 y 89 cm respectivamente, en promedio, estos fueron superados por los materiales más altos en un 23.15 por ciento (Cuadro 4.11).

En altura de planta a la mayoría de las inflorescencias (AMI1, AMI2) el comportamiento de los materiales fue un poco diferente en los dos ciclos de crecimiento. Sin embargo, en ambos ciclos B fue el de mayor altura y las variedades C, CII y H fueron los materiales más chaparros. Los materiales más altos B, S y N superaron, en promedio de los dos ciclos, a los materiales de menor altura, CII, C y H, en un 15.9 por ciento (Cuadro 4.12).

Cuadro 4.12. Comparación de medias de altura de planta, entrenudos por tallo y longitud de entrenudos en dos evaluaciones de variedades¹ de zacate buffel. Saltillo, Coah. 2007.

Altura de planta ² cm		Entrenudos por tallo No.				Longitud de entrenudos cm					
Evaluación 1		Evaluación 2		Evaluación 1		Evaluación 2					
B	88.3 a*	B	106.4 a*	N	6.8 a*	N	9.5 a*	B	12.3 a*	B	11.5 a*
N	84.4 ab	S	106.0 a	Z	6.7 a	Z	9.4 a	S	11.9 a	S	11.3 a
AN	80.6 bc	Z	104.0 a	S	6.5 ab	AN	9.3 a	F	11.6 ab	F	9.7 b
S	80.3 bcd	AN	103.9 a	C	6.4 abc	C	8.1 b	AN	10.5 bc	AN	8.9 bc
Z	78.0 cde	N	103.3 ab	C II	6.3 abc	C II	8.0 b	N	9.5 cd	Z	8.8 bc
F	77.1 cde	F	96.6 bc	AN	6.0 bcd	F	8.0 b	Z	8.6 de	N	8.7 bc
C	74.6 def	C II	91.9 cd	H	5.8 bcd	H	7.7 b	H	8.5 de	C II	8.7 bc
C II	73.8 ef	C	90.0 cd	B	5.7 cd	S	7.5 b	CII	8.2 e	H	8.6 c
H	70.6 f	H	89.4 d	F	5.3 d	B	7.5 b	C	7.9 e	C	8.4 c

1. AN = AN17PS, B=Biloela, C=Común, CII = Común II, F= Formidable, H= Higgins, N=Nueces, S= TAM-CRD B1s, Z= Zaragoza 115.

2. Medida de la base de la planta a la mayoría de las inflorescencias

* Valores con literales distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($\alpha \leq 0.05$).

En las cuatro mediciones el híbrido AN mostró mayor altura que C con valores de 80.3, 94.4, 103.9 y 115 cm siendo en promedio de las cuatro mediciones 12.7 por ciento más alto que esta variedad (Cuadros 4.11 y 4.12). La altura de planta es un componente importante del rendimiento de forraje y los resultados concuerdan con la mayor producción de forraje que se ha observado con la variedad AN17PS con respecto a la variedad Común.

Entrenudos por Tallo (NE1, NE2)

El rango en el número de entrenudos por tallo para el ciclo de agosto fue de 5.3 para F hasta 6.8 para N con un promedio de 6.16 entrenudos por tallo. En el ciclo de Octubre el rango fue 7.5 para Biloela hasta 9.5 para Nueces, con una media general de 8.33 entrenudos por tallo. En este ciclo AN produjo 1.2 más entrenudos por tallo que Común, esta diferencia representa 14 por ciento más entrenudos que Común (Cuadro 4.12). Todas las variedades tuvieron más entrenudos en el tallo más alto en el ciclo de otoño que en el verano.

Longitud de Entrenudos (LE1, LE2)

La comparación de medias para longitud de entrenudos se presenta en el Cuadro 4.12. Los materiales mostraron casi el mismo comportamiento en los dos ciclos de crecimiento; las variedades con entrenudos más largos fueron B, S y F con 11.9, 11.6 y 10.6 cm, respectivamente, como valor promedio de los dos ciclos.

Las variedades con menor LE fueron H, CII y C con 8.55, 8.45 y 8.15 cm respectivamente. Las variedades con mayor LE produjeron en promedio entrenudos 3 cm más largos que las variedades de menor altura que representan 35.7 por ciento. AN produjo en el ciclo de verano entrenudos 33 por ciento más largos que los entrenudos de C. La longitud de entrenudos promedio de los dos ciclos está asociada positivamente con la altura de planta, el coeficiente de correlación de LE con ATA y AMI fue 0.74 y 0.66 ($\alpha \leq 0.05$) respectivamente. Se observó que los materiales con mayor LE son los materiales más altos y viceversa, los materiales con menor LE son los materiales con menor altura. Es evidente que el componente que más contribuye a la altura de planta es la longitud de entrenudos.

Los resultados indican que ambas variables están bajo control genético pero tanto el número como la longitud de los entrenudos son afectados por factores ambientales. Rosales (2000) en una investigación con panizo azul (*Panicum antidotale* Retz), bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y fosfatada, encontró que el número de entrenudos por tallo no fue modificado con el incremento de nitrógeno y fósforo pero la longitud de los entrenudos si fue mayor al incrementar la dosis de fertilización. Sus resultados indicaron que el número de entrenudos por tallo en esta especie no fue afectado por el medio ambiente.

Grosor de los Nudos (GN)

La comparación de medias para grosor de los nudos se presenta en el Cuadro 4.13. Nueces y Biloela produjeron los nudos más gruesos con 3.48 y 3.47 mm respectivamente, fueron estadísticamente iguales entre si y diferentes al resto de los materiales, seguidos por S y AN con 3.15 y 2.86 mm respectivamente. AN fue estadísticamente igual a Z y F. Común II, H y C fueron estadísticamente iguales entre si y produjeron los nudos más delgados con 2.48, 2.40 y 2.27 mm respectivamente. Los nudos del tallo más alto de AN17PS fueron 25 por ciento más gruesos que los nudos de Común. De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que los materiales más altos y con menor potencial de PP y RS tienen nudos más gruesos; por otro lado, nudos más delgados predominan entre los materiales con menor altura, mayor producción de panículas y mayor rendimiento de semilla. Se ha observado que la variedad AN17PS es menos susceptible al acame que la variedad Común, de manera que es razonable que ello se deba a sus nudos de mayor grosor.

Longitud de Hoja Bandera (LHB1, LHB2)

La comparación de medias para esta variable se presenta en el Cuadro 4.13. Para el ciclo de agosto el rango en la LH fue de 9.7 cm para F hasta 21.6 cm para S, la media general fue de 14.4 cm. Para la segunda evaluación el rango fue de 9.0 hasta 15.5 cm para H y N, respectivamente y la media de 11.9cm.

Cuadro 4.13. Comparación de medias de grosor de los nudos, longitud de hoja bandera, ancho de hoja bandera y número de ramificaciones por tallo de variedades¹ de zacate buffel. Saltillo, Coah. 2007.

Grosor de los nudos mm	Longitud de hoja bandera cm		Ancho de hoja bandera mm		Ramificaciones por tallo No.
	Evaluación 1	Evaluación 2	Evaluación 1	Evaluación 2	
N 3.48 a*	S 21.6a*	N 15.55a*	B 4.62 a*	N 5.88 a*	F 6.1 a*
B 3.47 a	AN 17.4 b	B 15.17a	S 4.44 a	C II 5.77 ab	N 5.8 a
S 3.15 b	B 16.4 b	S 13.22ab	C II 3.61 b	B 5.55 ab	AN 5.8 a
AN 2.86 bc	N 15.6 bc	Z 11.55 bc	AN 3.55 b	S 5.22 abc	C 5.7 a
Z 2.79 c	Z 13.7 cd	AN 11.33 bcd	H 3.44 b	Z 4.77 abc	S 5.5 a
F 2.68 cd	H 12.2 de	F 11.00 bcd	N 3.37 b	H 4.55 bc	Z 5.3 a
C II 2.48 de	C II 12.1 de	C II 10.88 bcd	C 3.33 b	C 4.55 bc	C II 5.2 ab
H 2.40 de	C 10.9 e	C 10.11 cd	Z 2.92 bc	AN 4.11 c	H 5.2 ab
C 2.27 e	F 9.7 e	H 9.00 d	F 2.50 c	F 4.00 c	B 3.8 b

1. AN = AN17PS, B=Biloela, C=Común, CII = Común II, F= Formidable, H= Higgins, N=Nueces, S= TAM-CRD B1s, Z= Zaragoza 115.

* Valores con literales distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($\alpha \leq 0.05$).

Esta última evaluación se realizó en octubre cuando por un lado las plantas tienen una mayor cantidad de tallos, que propicia una mayor competencia y por otro lado las temperaturas en ese mes, en la localidad de Saltillo, ya no son tan favorables para el desarrollo de la planta de buffel, por lo cual el promedio de la LHB fue mayor en agosto que en octubre. La temperatura es uno de los factores más importantes en la tasa de crecimiento del zacate buffel (Gómez *et al.*, 2007), en Buenavista las temperaturas de verano son más favorables para el crecimiento del zacate buffel que las temperaturas de otoño. En los dos ciclos CII, Común y Higgins se agrupan como los materiales con hojas de menor tamaño y Biloela, Nueces y B-1s como materiales con mayor LHB. Se observa que los materiales con una mayor cantidad de panículas por planta tuvieron hojas de menor longitud y viceversa, los materiales con hojas bandera más largas tuvieron una menor producción de panículas. La causa probable es que al haber una mayor cantidad de tallos en la planta hay una mayor competencia y se producen tallos menos robustos y con hojas de menor tamaño. La hoja bandera de AN resultó 59 por ciento más larga que la hoja bandera de la variedad Común en el ciclo de verano.

Ancho de la Hoja Bandera (AHB1, AHB2)

El rango en el AHB1 en el ciclo de agosto fue de 2.50 a 4.62 mm para F y B respectivamente, con un valor promedio de 3.53 mm. En la segunda evaluación el valor más bajo de AHB nuevamente lo tuvo F con 4 mm y el valor más alto N con 5.88 mm con una media general de 4.93 mm (Cuadro 4.13). En

esta variable se observaron diferentes situaciones: Común y F produjeron las HB más pequeñas y angostas, AN en la segunda evaluación produjo HB largas y angostas, CII produjo HB pequeñas y anchas, mientras que N produjo las hojas más largas y más anchas. Esta variedad se ha caracterizado por ser un pobre productor de semilla, por lo que al tener poca producción de panículas hay una menor competencia y los fotosintatos se distribuyen hacia la producción de hojas más largas y más anchas.

Ramificaciones por Tallo (NR)

El análisis de varianza no detectó diferencias significativas entre tratamientos para esta variable, el rango en el NR fue de 3.8 (B) a 6.1 (F) y el promedio de ramificaciones del tallo más alto fue de 5.37 (Cuadro 4.13).

Longitud de la Cerda más Larga (LCL)

La comparación de medias para LCL se presenta en el Cuadro 4.14. El rango en los valores fue de 1.20 a 1.57 cm para H y B respectivamente. Biloela y AN tuvieron los valores más altos y fueron estadísticamente iguales entre si, AN a su vez fue estadísticamente igual a F que ocupó el tercer lugar. El clon sexual, Z, CII, C y H tuvieron los valores más bajos y fueron estadísticamente iguales entre si. AN produjo involucros con mayor longitud para la cerda más larga que aquellos producidos por Común. Las cerdas de AN fueron 28 por ciento más largas que las de Común.

Cuadro 4.14. Comparación de medias de longitud de la cerda más larga, espiguillas por involucro, longitud de panícula, involucros por panícula, peso de involucros por panícula, peso de 1000 carióspsides de variedades¹ de zacate buffel. Saltillo, Coah. 2007.

Longitud de la cerda más larga cm		Espiguillas/ involucro No.		Longitud de panícula cm		Involucros/ panícula No.		Peso de inv/ panícula mg		Peso de 1000 carióspsides mg	
B ¹	1.57 a*	S ¹	2.70 a*	N ¹	10.68 a*	S ¹	160 a*	B ¹	325 a*	F ¹	982 a*
AN	1.55 a b	C II	2.60 a	AN	10.40 a	N	138 a	C II	321 a	B	960 a
F	1.43 bc	N	2.60 a	Z	10.00 a	Z	136 a	C	280 ab	AN	770 b
N	1.34 cd	H	2.60 a	S	9.73 a b	C II	108 b	N	280 ab	C II	735 b
S	1.32 cde	C	2.44 a	CII	9.72 a b	B	106 b	S	258 b	N	732 b
Z	1.26 de	AN	2.43 a	C	8.84 bc	F	103 b	AN	251 b	H	706 bc
C II	1.26 de	B	2.40 a	H	8.72 bc	AN	103 b	H	244 b	C	704 bc
C	1.21 de	Z	2.04 b	B	8.32 c	C	90 b	F	240 bc	Z	654 bc
H	1.20 e	F	1.77 b	F	8.23 c	H	84 b	Z	190 c	S	608 c

1. AN = AN17PS, B=Biloela, C=Común, CII = Común II, F= Formidable, H= Higgins, N=Nueces, S= TAM-CRD B1s, Z= Zaragoza 115.

* Valores con literales distintas son estadísticamente diferentes de acuerdo a DMS ($\alpha \leq 0.05$).

Espiguillas por Involucro (EI)

El número de espiguillas por involucro se presenta en el Cuadro 4.12 y fue de 1.77 para F a 2.70 para S. La media general fue de 2.39. El clon sexual, CII, N, H, C, AN y B fueron iguales estadísticamente entre si y diferentes a Z y F que tuvieron los valores más bajos y fueron iguales estadísticamente entre si (Cuadro 4.14).

Longitud de Panícula (LP)

La comparación de medias para esta variable se presenta en el Cuadro 4.14. Los valores de LP para N, AN, Z-115, S y CII fueron de 10.68, 10.40, 10.00, 9.73 y 9.72 cm respectivamente, que fueron estadísticamente iguales entre si. Los valores de LP más bajos 8.84, 8.72, 8.32 y 8.23 fueron obtenidos por C, H, B y F respectivamente, los cuales fueron estadísticamente iguales entre si. Las panículas de N que es el material con panículas más largas superaron en 29.76 por ciento a F que obtuvo las panículas más pequeñas. Las panículas de la variedad AN resultaron 17 por ciento más largas que las panículas de la variedad Común.

Número de Involucros por Panícula (NIP)

S, N y Z mostraron los valores más altos con 160, 138 y 136 IP y fueron estadísticamente iguales entre si y diferentes al resto de los materiales. El rango fue 84 IP para H hasta 160 para S, con una media general para esta variable de 114.2 IP, S superó a H en un 90.4 por ciento (Cuadro 4.14).

Peso de Involucros por Panícula (PIP)

La comparación de medias para esta variable se presenta en el Cuadro 4.14. Los materiales con valores más altos fueron B, CII, C y N con 325, 321, 280 y 280 mg IP, respectivamente y estos materiales fueron estadísticamente iguales entre si. Común y N fueron estadísticamente iguales a S, AN, H y F. Los valores más bajos fueron para F y Z con 240 y 190 mg respectivamente y fueron estadísticamente iguales entre si. Se encontró una correlación de 0.58 entre número y peso de involucros ($\alpha \leq 0.05$). Z que obtuvo un número de involucros alto fue el genotipo que tuvo el peso de involucros por panícula más bajo (190 mg); por otro lado Común que obtuvo un número de involucros bajo (90), obtuvo un peso de involucros por panícula alto (280 mg). El rango en el peso por involucro fue de 1.39 a 3.11 mg para Z y C, respectivamente; en esta última superó a Z en un 123 por ciento. El valor promedio de peso por involucro fue de 2.24 mg. Los involucros más pesados fueron producidos por C, B, CII, H y AN con 3.11, 3.06, 2.97, 2.90 y 2.43 mg respectivamente.

Peso de 1000 Cariópsides (PMC)

Para el análisis estadístico de esta variable, se utilizó la información de cuatro hileras y se analizó como bloques al azar. La comparación de medias se presenta en el Cuadro 4.14. Formidable y B tuvieron los valores más altos con 982 y 960 mg, respectivamente; estas variedades fueron estadísticamente iguales entre si y diferentes al resto de los materiales. AN17PS ocupó el tercer

lugar con 770 mg y fue estadísticamente igual a CII, N, H, C y Z. El valor más bajo, 608 mg, lo obtuvo S que fue superado por F con 374 mg que representa un 61.5 por ciento.

Longitud de Cariópside (LC)

El rango de la longitud del cariópside fue de 1.057 para Z 115 a 1.093 mm para Higgins, la media general de LC fue de 1.082 mm.

Componentes Principales

En el Cuadro 4.15 se presentan los resultados del análisis de componentes principales (ACP), los tres primeros componentes principales en conjunto explicaron el 84.61 por ciento de la varianza total.

El primer componente explicó 47.95 por ciento de dicha varianza, más de la mitad del total de la varianza; las variables que tuvieron más contribución en este componente fueron las dos evaluaciones de panículas por planta (PP1 y PP2), las dos evaluaciones de altura a la mayoría de las inflorescencias (AMI1 y AMI2), las dos evaluaciones de altura al tallo más alto (ATA1 y ATA2), rendimiento de semilla (RS), grosor de los nudos (GN), las dos evaluaciones de longitud de hoja bandera (LHB1 y LHB2) y primera evaluación de la longitud de entrenudos (LE1). De estas RS, PP1 y PP2 se asociaron negativamente con el componente, el resto tuvo una asociación positiva.

Cuadro 4.15. Coeficientes de los tres primeros componentes principales en variedades de zacate buffel. Saltillo, Coah. 2007.

Variables	Componentes Principales		
	C1	C2	C3
PP1	-0.91*	-0.25	-0.08
PP2	-0.98*	-0.07	0.09
ATA1	0.89*	0.21	0.15
ATA2	0.96*	-0.11	0.14
AMI1	0.89*	-0.23	0.35
AMI2	0.98*	0.05	-0.02
NE1	0.19	0.81*	0.21
NE2	0.33	0.18	-0.19
LE1	0.71*	-0.38	-0.08
LE2	0.61	-0.21	0.19
LHB1	0.74*	0.48	0.09
LHB2	0.82*	-0.03	0.49
AHB1	0.37	0.24	0.57
AHB2	0.24	0.32	0.85*
LCL	0.68	-0.59	0.06
EI	-0.05	0.64	0.58
GN	0.90*	-0.04	0.34
NR	-0.14	0.22	-0.59
RS	-0.91*	-0.11	0.28
LP	0.39	0.64	0.03
NIP	0.69	0.56	-0.06
PIP	-0.06	-0.19	0.88*
PMC	0.13	-0.97*	0.11
Valor propio	11.03	4.82	3.61
% Varianza total	47.95	20.98	15.68
Valor propio acumulado	11.03	15.85	19.46
% Varianza total acumulada	47.96	68.93	84.61

PP= Panículas por planta; ATA= Altura al tallo más alto; AMI= Altura a la mayoría de las inflorescencias; NE= Número de entrenudos; LE= Longitud de entrenudos; LHB= Longitud de la hoja bandera; AHB= Ancho de la hoja bandera; LCL= Longitud de la cerda más larga; EI= Espiguillas por involucro; GN= Grosor de los nudos; NR= Número de ramificaciones, RS= Rendimiento de semilla; LP= Longitud de panícula; NIP= Número de involucros por panícula; PIP= Peso de involucros por panícula; PMC= Peso de mil cariósides

El primer componente se puede definir como un componente asociado a rendimiento de semilla y altura de planta. Los materiales de menor altura producen una mayor cantidad de panículas, tienen nudos más delgados y hojas bandera más pequeñas.

Por otra parte el segundo componente explicó un 20.98 por ciento de la varianza total. Las variables que tuvieron una mayor aportación a este componente fueron la primera evaluación de número de entrenudos (NE1) que se asoció positivamente con el componente y la variable peso de mil cariósides (PMC) tuvo una relación altamente negativa con el componente y con NE1 (Cuadro 4.15).

El tercer componente explicó el 15.68 por ciento de la varianza total, las variables que tuvieron más aportación en este componente fueron peso de involucros por panícula (PIP) y la segunda evaluación de ancho de hoja bandera (AHB2), estas variables mostraron una relación positiva entre si y con el componente (Cuadro 4.15). De aquí se puede deducir que aquellos materiales con hoja bandera más ancha producen involucros más pesados. La hoja bandera por estar en la parte superior y estar más expuesta, es la hoja fotosintéticamente más activa, por lo que es responsable de un gran porcentaje del llenado de grano; por lo tanto materiales que producen hojas con una mayor área foliar incrementan su eficiencia fotosintética y producen involucros más pesados.

En la Figura 4.3 se presenta la distribución de las variables en el espacio generado por los dos primeros componentes principales, donde se observa una alta relación negativa de las variables rendimiento de semilla y número de panículas por planta con AMI1, AMI2, ATA1, ATA2, GN, LHB1, LHB2, estas últimas relacionadas positivamente entre si. Esto significa que materiales con mayor altura tienen una menor producción de semilla y viceversa, materiales de menor altura tienen una mayor producción de semilla.

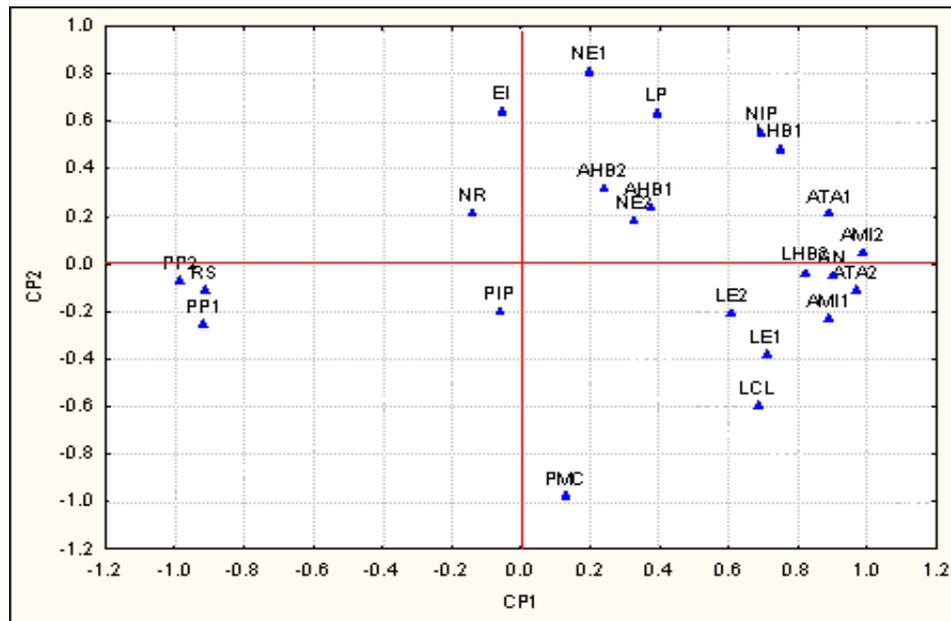


Figura 4.3. Distribución espacial de las variables en los dos primeros componentes principales (CP1, CP2).

Otras relaciones que se observan son las dos evaluaciones de longitud de entrenudos (LE1 y LE2), asociadas positivamente entre si pero negativamente con las dos evaluaciones de número de entrenudos (NE1 y NE2), estas últimas variables asociadas positivamente entre si, lo que indica

que tallos con mayor número de entrenudos tienen los entrenudos más cortos. Estos resultados indican que considerando el tiempo que consume la toma de datos, en evaluaciones futuras se puede reducir el número de variables, ya que al estar tanto LE1 y LE2 como NE1 y NE2 asociadas positivamente, se obtendría la misma información evaluando estas variables en una sola fecha.

En la Figura 4.4 se presenta la distribución de las nueve variedades en el espacio generado por los dos primeros componentes principales. En esta Figura se observan dos grupos definidos: el grupo I formado por Común (C), Común II (CII) y Higgins (H) y el grupo II formado por las variedades: Z-11 (Z), AN17PS (AN) y Nueces (N). Las variedades del Grupo I: C, CII y H se agruparon por ser de altura mediana y buenas productoras de semilla. Estas variedades son muy parecidas morfológicamente en color de follaje y panículas. Común se introdujo a los Estados Unidos en 1946 del Desierto de Turkana en el norte de Kenia, (Holt, 1985) y es altamente susceptible al tizón foliar (*Pyricularia grisea*). CII es un material hexaploide (Ramírez *et al.*, 1998), se derivó de una planta sana, en una población de buffel Común completamente infestada del tizón del zacate buffel; se cree que es un híbrido BIII, generado por autofecundación de un huevo no reducido (González *et al.*, 2000). Higgins es muy parecida a Común, es una variedad apomíctica S_1 derivada de la autofecundación del clon sexual B-1s (S) (Bashaw, 1968). Se ha reportado que B-1s al ser autofecundado produce progenie tan variable que todas las plantas S_1 son diferentes entre si para varias características morfológicas (Taliaferro y Bashaw, 1966).

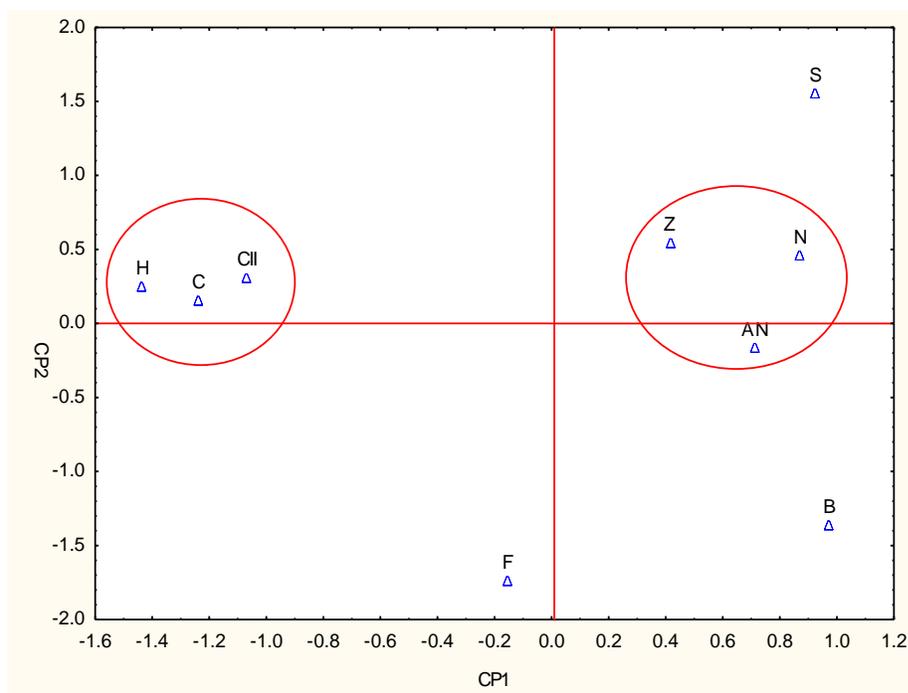


Figura 4.4. Distribución espacial de las variedades en el espacio generado por los dos primeros componentes (CP1, CP2).

Las variedades del Grupo II: Z, AN y N, se agruparon como genotipos altos, con menor producción de semilla y rizomatosos, aún cuando esta última característica les confiere una mayor tolerancia a heladas, que permite su utilización en localidades con mayor altitud, también está correlacionada negativamente con la producción de semilla. Z-115 es una variedad liberada por el INIFAP Coahuila y fue obtenida por selección de ecotipos (Osuna, 1986). AN17PS es un híbrido apomítico generado en esta Universidad, producto de la cruce entre B-1s x Z-115 (Gómez y González, 2002; González y Gómez, 2004). Nueces es un híbrido apomítico obtenido por cruzamiento de B-1s (S) con un material rizomatoso del tipo azul (Bashaw, 1980b). El progenitor macho de AN

es Z, a su vez AN y N comparten el mismo progenitor femenino (S), por lo que es comprensible que tengan algunas características similares.

Las variedades B-1s, Biloela y Formidable se encuentran dispersas; pero S y B están más cercanas al grupo II que Formidable. El clon sexual B-1s es una planta de reproducción sexual que es utilizada como hembra en cruzamientos con materiales apomícticos (Taliaferro y Bashaw, 1966) y como ya se mencionó es el progenitor hembra de AN y de N. Biloela es una variedad Australiana, liberada como variedad comercial en 1955 (Paull y Lee, 1978). Formidable se encuentra aislada del resto de las variedades, el origen de este material es desconocido, se dice que proviene de una planta fuera de tipo en una población de Biloela, pero también se menciona que es muy parecida a Viva, una variedad Australiana, y que pudo haberse derivado de esta variedad.

En esta investigación el ACP redujo la dimensionalidad de los datos y de las variables; así mismo, permitió la agrupación de los materiales de acuerdo a características semejantes. En otras especies forrajeras como ballico la técnica de CP ha permitido identificar materiales sobresalientes para rendimiento y características agronómicas (Farias *et al.*, 1983). De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, se considera que la técnica de componentes principales es una herramienta útil en un programa de hibridación de pastos para seleccionar los progenitores que permitan reunir en un sólo genotipo características agronómicas deseables como son: altos rendimientos de forraje, producción aceptable de semilla, etc.

Variables Cualitativas

En el Cuadro 4.16 se presentan los datos correspondientes a las variables cualitativas. Se puede observar que las variedades que presentan alguna pigmentación en las panículas maduras o dehiscentes, fueron pigmentadas también durante y después de la floración. Por el contrario, las variedades con panículas maduras sin pigmentación, las panículas no fueron pigmentadas en ninguna de las etapas previas, por ejemplo la variedad Z-115 y la variedad Formidable. La pigmentación de AN17PS es debida probablemente a su progenitor femenino el clon sexual B-1s que presenta pigmentación púrpura en los estigmas y en las panículas inmaduras. Con respecto al color del follaje, el color verde azulado está frecuentemente asociado con la presencia de rizomas, a su vez los materiales rizomatosos tienden a producir panículas más largas. La presencia de tizón se observó solamente en la variedad Común con muy poca incidencia en las otras dos variedades del grupo I, el resto de los materiales se mantuvo libre de la enfermedad.

Cuadro 4.16. Variables cualitativas de variedades de zacate buffel. Saltillo, Coah. 2007.

Variedades	Color				Tamaño panícula	Reacción al tizón	Presencia de rizomas
	Estigmas	Panícula inmadura	Panícula dehiscente	Follaje			
Grupo I							
Común	SP	PO	PC	V	M	AS	NR
CII	B/P3	PO	PC	V	M	BS	NR
Higgins	B/P3	PO	PC	V	M	BS	NR
Grupo II							
Z-115	SB	C	P	VL	G	N	R
AN17PS	SP	PO	PC	V	G	N	R
Nueces	B/P3	CO	C	VA	G	N	R
Otras							
B-1 _s	B/P3	P	CO	VA	G	N	R
Biloela	B/P3	CO	C	VA	M	N	R
Formidable	SB	C	P	VI	M	N	NR

Estigmas= (SB) Siempre blancos, (SP) siempre púrpura, (B/P3) fases tempranas blancos, después púrpura.

Inflorescencia madura= (C) Crema, (P) púrpura, (PO) púrpura oscuro, (CO) café oscuro.

Inflorescencia dehiscente= (P) Pajizo, (PC) púrpura claro, (C) café, (CO) café oscuro.

Tamaño de panícula= (G) Grande, (M) mediana.

Color de follaje= (V) Verde, (VL) verde limón, (VI) verde intenso, (VA) verde azulado.

Reacción al tizón = (N) Nula, (BS) baja severidad, (AS) alta severidad.

Presencia de rizomas = (NR) No rizomatoso, (R) rizomatoso.

CONCLUSIONES

Con base a la investigación realizada y a los resultados obtenidos en las diferentes fases de la misma se llegó a las conclusiones siguientes:

De la cruce simple realizada entre TAM CRD B1s x Zaragoza 115, es posible derivar híbridos F_1 de reproducción sexual con mejores características que TAM CRD B1s; que pueden ser utilizados en diferentes esquemas de mejoramiento del zacate buffel.

El desarrollo de poblaciones de 5000 o más individuos F_1 de la cruce simple TAM CRD B1s x Zaragoza 115, permitió encontrar segregantes con combinaciones de características favorables superiores a las de las variedades comerciales utilizadas en esta investigación.

La segregación del modo de reproducción en esta cruce sustenta la propuesta de que la variedad Zaragoza 115 tiene un genotipo AA bb de acuerdo al modelo de herencia de Taliaferro y Bashaw.

Entre los híbridos F_1 existe potencial suficiente para la producción de biomasa que permitiría intentar el desarrollo de variedades de zacate buffel con nuevos usos como la producción de biocombustibles celulósicos.

Todas las variedades comerciales y experimentales utilizadas en la presente investigación pueden cruzarse con TAM CRD B1s y por lo tanto se puede intentar con cada una de éstas el desarrollo de híbridos F_1 de reproducción sexual para uso como progenitores femeninos en el desarrollo de híbridos de cruce triple o de cruce doble. El uso de Biloela y Común II requerirá mayor trabajo citológico en la progenie F_1 por la naturaleza pentaploide y hexaploide de estas variedades.

El híbrido AN17PS se distingue de la variedad Común en varias características morfológicas como: altura, producción de panículas y rizomas y cumple por lo tanto con el requisito de distinción que establecen las normas oficiales para el registro y derechos de propiedad intelectual de nuevas variedades.

La distinción de grupos entre las variedades utilizadas proporciona bases sólidas para la programación de cruzamientos entre progenitores que complementen mejor en sus deficiencias.

RESUMEN

El zacate buffel (*Pennisetum ciliare* L.) es una gramínea forrajera perenne originaria de Sudáfrica, que fue introducida al continente americano por Estados Unidos de Norteamérica. Actualmente se ha convertido, en la gramínea de mayor importancia económica para la ganadería extensiva del noroeste y noreste de México y sur de Texas, ocupando aproximadamente 4 millones de hectáreas. La presente investigación se realizó en los invernaderos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y en el Campo Experimental de Zaragoza, Coahuila. El objetivo general fue generar poblaciones y subpoblaciones de mayor variabilidad genética para la selección de individuos que conjunten diferentes características de importancia agronómica, para el desarrollo de mejores variedades de zacate buffel de uso tradicional y nuevos usos. Por cruzamiento de sexual por apomíctico (TAM CRD B1s x Zaragoza 115), se generaron híbridos F_1 sexuales para cruzarlos con nueve variedades apomícticas en cruza triples, retrocruzas y cruza fraternales. Las panículas de 220 cruza se cosecharon en el otoño de 2006 obteniendo 10,000 cariósides (híbridos F_1). Se estableció en campo una población de 6230 plantas (híbridos F_1) segregando para el modo de reproducción y se seleccionaron 518 plantas sobresalientes en producción de panículas y biomasa. La producción de forraje seco fue de 2.2 a 45 t ha⁻¹ con una media de 12.8 t ha⁻¹ y una desviación estándar de 5.3 t ha⁻¹. El número de panículas por planta varió de 17 a 869 con

una media de 218 y una desviación estándar de 107 panículas por planta. La semilla de cada planta F_1 fue cosechada y en 2007 se transplantaron 385 familias F_2 , para determinar el modo de reproducción y evaluar agronómicamente las familias F_2 , y seleccionar las plantas F_1 de reproducción sexual que produjeron las mejores progenies o familias F_2 . Se observó la uniformidad en 368 progenies F_2 y se determinó que 168 plantas F_1 tienen reproducción sexual y 200 reproducción apomíctica. Las pruebas de χ^2 indicaron un ajuste a la proporción 1:1 para plantas F_1 sexuales y apomícticas. La producción estimada de forraje verde de las familias F_2 de origen sexual, varío de 3.75 a 54.50 t ha⁻¹ en un corte a la madurez y la producción de materia seca fue de 0.80 a 21.69 t ha⁻¹. Con base en la producción de panículas de las plantas F_1 y la producción de materia seca de las progenies F_2 , se seleccionaron 31 plantas F_1 de posible reproducción sexual. En 10 de estas se estudió su compatibilidad en cruza con nueve variedades de reproducción apomíctica. Se polinizaron dos panículas de cada planta F_1 con cada una de las nueve variedades apomícticas en dos modalidades: panículas emasculadas a mano y sin emasculadas. En la primera modalidad se obtuvieron 262 cariósides de los noventa cruzamientos y la media general fue de 2.9 cariósides por panícula. Los cruzamientos realizados aprovechando el hábito protogíneo (sin emasculación) promediaron 65 cariósides/panícula y se produjeron en total 5661 cariósides. El rango en granos por panícula fue de 22 en la cruza F_1 SS14 X Formidable a 147 en la cruza F_1 SS7 X Común II. Las selecciones "sexuales" F_1 SS7 y F_1 SS3 mostraron mayor potencial al promediar 108 y 105 granos por panícula respectivamente, en cruzamientos con los nueve machos

utilizados. También hubo diferencias en producción de carióspsides por panícula entre los machos. Los resultados indican que es posible un gran flujo de genes entre distintos materiales y por lo tanto formar distintas poblaciones de amplia variabilidad genética que permitan seleccionar genotipos superiores con potencial comercial. En junio de 2006 se realizaron otras hibridaciones en invernadero para conocer la compatibilidad de B-1s con Biloela, Formidable y Nueces y determinar el número cromosómico de las dos primeras. Los resultados indicaron que las tres variedades son compatibles en cruza con B-1s y el conteo de cromosomas indicó que la variedad Biloela es pentaploide y Formidable es tetraploide con 45 y 36 cromosomas respectivamente. Se realizó una caracterización de los nueve progenitores macho involucrados en esta investigación para conocer las diferencias y similitudes con respecto a AN17PS. Los análisis de varianza indicaron diferencias significativas para 18 variables. El híbrido AN17PS se distingue de la variedad Común en varias características morfológicas y cumple por lo tanto con el requisito de distinción que establecen las normas oficiales para el registro y derechos de propiedad intelectual de nuevas variedades. El análisis de componentes principales (ACP) definió dos grupos: el grupo I formado por Común, Común II y Higgins, materiales de altura mediana y buenos productores de semilla y el grupo II formado por las variedades Z-115, AN17PS y Nueces que son genotipos altos, con menor producción de semilla.

LITERATURA CITADA

- Agrios G., N. 1996. Fitopatología. 2da. edición. Ed. Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores. México, D.F. 838 p.
- Alcalá G., C.H. 1995. Origen geográfico y distribución mundial. En: Guía práctica para el establecimiento, manejo y utilización del zacate buffel. Centro de Investigaciones Pecuarias del Estado de Sonora. INIP-SARH-GOB-EDO-SON. pp. 9-14.
- Alvarado R., H. 1994. Evaluación de híbridos apomícticos de zacate buffel *Cenchrus ciliaris* L. Tesis. Licenciatura. U.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 64p.
- Asker, S. 1979. Progress in apomixis research. *Hereditas* 9: 231-240.
- Ayerza R., H. 1981. El buffelgrass. Utilidad y Manejo de una Promisoria Gramínea. Ed. Hemisferio Sur. S.A. Buenos Aires, Argentina. 139p.
- Bashaw, E.C. 1962. Apomixis and sexuality in buffelgrass. *Crop Sci.* 2:412-415.
- Bashaw, E.C. 1968. Registration of Higgins buffelgrass. *Crop Sci.* 8:397.
- Bashaw, E.C. 1969. Registration of buffelgrass germplasm. *Crop Sci.* 9:396.
- Bashaw, E.C. 1980a. Apomixis and its application in crop improvement. In: Road, S. S. (ed.). *Hybridization of Crop Plants.* Am. Soc. Agron-Crop Sci. pp. 45-68.
- Bashaw, E.C. 1980b. Registration of Nueces and Llano buffelgrass. *Crop Sci.* 20:112.
- Bashaw, E.C. 1985. Buffel grass origins. In: E.C.A. Runge and J.L. Schuster (eds.). *Buffel grass: Adaptation, management and forage quality.* The Texas Agr. Exp. Sta. in cooperation with the Texas Agric. Ext. Service; U.S. Department of Agriculture-Soil Conservation Service. College Station, Texas MP-1575. pp. 6-8.

- Bashaw, E.C. and C.R. Funk. 1987. Apomictic grasses. In: Fehr W.R. (ed.) Principles of cultivar development. Vol 2: Crop species. Mac Millan Publishing Co. New York. pp. 40-82.
- Bashaw, E.C. and W.W. Hanna. 1990. Apomictic reproduction. In: G.P. Chapman (ed.) Reproductive versatility in the grasses. Cambridge University Press. pp. 100-130.
- Bashaw, E.C. and K.W. Hignight. 1990. Gene transfer in apomictic buffelgrass through fertilization of an unreduced egg. *Crop Sci.* 30:571-575.
- Bath, V., K.K. Dwivedi, J.P. Khurana and S.K. Sopory. 2005. Apomixis: An enigma with potential applications. Special Section: Embriology of Flowering Plants. *Current Sci.* 89 (11) 1879-1893.
- Beharathi, M., U.R. Murty., KBRS Visarda and A. Annapurna. 1991. In: Savidan, Y. and F. Crane (eds.) Possibility of transferring obligate apomixis from *Cenchrus ciliaris* L. to *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Apomixis Newsletter* 3:13-14.
- Bicknell, R.A. and A.M. Koulunow. 2004. Understanding apomixis recent advances and remainig conundrums. *Plant Cell* 16: S228-S245.
- Bicknell, R.A., N.K. Borst and A.M. Koulunow. 2000. Monogenic inheritance of apomixis in two *Hieracium* species with distinctic developmental mechanisms. *Heredity* 84:228-237.
- Boe, A. and J.L. Gellner. 1990. Components of seed yield in "Pierre" sideoats. *J. Range Manag.* 43: 411-412.
- Bogdan, A. V. 1997. Pastos tropicales y plantas forrajeras. AGT Editor, S.A. México, D. F.
- Bray, R.A. 1978. Evidence for facultative apomixis in *Cenchrus ciliaris*. *Euphytica* 27: 801-804.
- Briones R., M.A. 1996. Estudio de la compatibilidad en cruza de 30 machos apomícticos de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) con el clon sexual TAM CRD B-1_s. Tesis. Maestría. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 72 p.
- Broschat, T.K. 1979. Principal component analysis in horticultural research. *Hort. Sci.* 14: (2) 114-117.

- Burson, B.L. and B.A. Young. 2001. Breeding and improvement of tropical grasses. In: Sotomayor-Rios, A. and W.D. Pitman (eds.). Tropical Forage Plants: Development and use. Ed. CRC Press. Boca Raton. London, New York and Washington, D.C. pp. 59-79.
- Burson, B. L., M.A. Hussey, J.M. Actkinson, and G. S. Shafer. 2002. Effect of pollination time on the frequency of $2n + n$ fertilization in apomictic buffelgrass. *Crop Sci.* 42 (4): 1075-1080.
- Carámbula, M. 1981. Producción de semillas de plantas forrajeras. Ed. Agropecuaria Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 517p.
- Carbajal C., J.A. 1996. Evaluación de híbridos apomícticos de zacate buffel en la región desértica de Ocampo, Coahuila. Tesis. Licenciatura. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 78p.
- Carman, J.G. 2001. The gen effect: Genome collisions and apomixis. In: Savidan. Y., J.G. Carman and T. Dresselhaus (eds.) The flowering of apomixis: From mechanisms to genetic engineering. CIMMYT and IRD. Mexico. pp. 95-110.
- Carneiro, V.T.C., D.M.A. Dusi y J.P.A. Ortiz. 2006. Apomixis: Ocurrance, applications and improvements. In: Floriculture, ornamental and plant biotechnology. 1: (62): 564-571. Global Science Books Ltd.
<http://www.cababstractsplus.org/abstracts/Abstract>.
- Committee on Genetic Vulnerability of Major Crops. 1972. Genetic vulnerability of major crops. National Academy of Sciences. Washington, D.C.
- Cook, B.G., B. Pengelly, S. D. Brown, J. L. Donnelly, D. A. Eagles, M.A. Franco, J. Hanson, B. F. Mullen, I.J. Patridge, M. Peters and R. Schultze-Kraft. 2005. Tropical forages: an interactive selection tool. (CD-ROM) CSIRO, DPI &F, CIAT and ILRI. Brisbane, Australia.
- Cox, J.R., M.H. Martin R., F. A. Ibarra-F., J.H. Fourie., N.F.G. Rethman and D. G. Wilcox. 1988. The influence of climate and soils on the distribution of four African grasses. *J. Range Manage.* 41: 127-139.
- Crane, C.F. 2001. Classification of apomictic mechanisms. In: Savidan. Y., J.G. Carman and T. Dresselhaus (eds.). The flowering of apomixis: From mechanisms to genetic engineering. CIMMYT and IRD, México. pp. 24-43.
- Dujardin, M. and W.W. Hanna. 1989. Developing apomictic pearl millet characterization of a BC₃ plant. *J. Genetic Breed.* 43: 145-151.

- Dwivedi, K.K., S.R. Bhat, V. Bhat, B.V. Bhat and M.G. Gupta. 2007. Identification of a SCAR marker linked to apomixis in buffelgrass (*Cenchrus ciliaris* L.). *Plant Sci.* (172) 788-792.
- Evers, G.W., E.C. Holt and E.C. Bashaw. 1969. Seed production and photoperiodic responses in buffelgrass (*Cenchrus ciliaris* L.). *Crop Sci.* 9:309-310.
- Farías F., J.M., N.Thomas y H.M. Quiroga G. 1983. Utilización del análisis de componentes principales en la selección de líneas y variedades introducidas de ballico anual, *Lolium multiflorum* Lam. *Agricultura Técnica en México* 9 (2): 125-140.
- Fisher, W.D., E.C. Bashaw and E.C. Holt. 1954. Evidence for apomixis in *Pennisetum ciliare* and *Cenchrus setigerus*. *Agron. J.* 46: 401-404.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4^o Edición. México, D. F. 217p.
- García V., A. 1977. Manual de citogenética. 2^o Ed. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 118p.
- Gómez F., E., H. Díaz S., A. Saldívar F., F. Briones E., V. Vargas T. and W. E. Grant. 2007. Patrón de crecimiento de pasto buffel [*Pennisetum ciliare* (Link.) Syn. *Cenchrus ciliaris* L.] in Tamaulipas, México. *Tec. Pec. Mex.* 45 (1): 1-17.
- Gómez M., S. 1994. Autofecundación e hibridación en un clon sexual del zacate apomíctico *Cenchrus ciliaris* L. Tesis. Maestría. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 110p.
- Gómez M., S. y J. R. González D. 1992. Rendimiento y componentes del rendimiento de semilla de líneas y variedades de zacate buffel *Cenchrus ciliaris* L. Memoria XIV Congreso Nacional de Fitogenética. 4-9 de Oct. Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas. p. 468.
- Gómez M., S. y J. R. González D. 1997. Modo de reproducción y potencial forrajero de híbridos de zacate buffel. *Agraria* 13:22-33. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. México
- Gómez M., S. y J. R. González D. 2002. Fertilización nitrogenada y fechas de aplicación en la producción de semilla de zacate buffel. Memorias XIX Congreso Nacional de Fitogenética. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 1al 5 de Sep. Saltillo, Coah. México. p. 207.

- González D., J. R. 1998. Generación de nuevos cultivares en gramíneas forrajeras apomícticas. Memorias Primer Simposium Internacional de Semillas Forrajeras. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Buenavista, Saltillo, Coah. México.
- González D., J. R. 2002. El tizón del zacate buffel. Una nueva enfermedad que amenaza a los pastizales de las zonas semiáridas. Boletín Divulgativo Especial. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 20 p.
- González D., J. R y H. M. Garza C. 1974. Evaluación de colecciones de zacate banderilla *Bouteloua curtipendula* (Michx.). Torr. en la región de Navidad, N.L. Boletín Técnico No. 5. Centro Nacional de Investigación para el Desarrollo de las Zonas Áridas (CNIZA). Escuela Superior de Agricultura. Universidad Autónoma de Coahuila. Comisión Nacional de Zonas Áridas. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 26p.
- González D., J. R y A. Gaytán M. 1992. Fertilización, rendimiento, pureza y calidad de semilla de dos variedades de zacate banderilla. Rev. Fitotec. Mex. 15:159-168.
- González D., J. R. y S. Gómez M. 2000. Nuevos híbridos del zacate apomíctico buffel. Memorias Foro de Investigación: Avances y Resultados. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Dirección de Investigación. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. pp. 19-24.
- González D., J. R. y S. Gómez M. 2004. Zacate Buffel AN17PS. Folleto de Divulgación. Expo Narro 2004. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. México.
- González D., J. R. y S. Gómez M. 2008. Cambio climático, zacates introducidos y biocombustibles. En: V Simposium Internacional de Pastizales. 27-29 de agosto. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila. pp. 90-109.
- González D., J. R., H. M. Garza C. y V. M. Serrato C. 1979. Ensayo de selección en zacate banderilla *Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr. Folleto Especial. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. México.
- González D., J. R., S. Gómez M. y M.A. Briones R. 1996. Compatibilidad en cruce de zacate buffel de lugares altos con el clon sexual TAM-CRD B-1s. Memorias XVI Congreso de Fitogenética. SOMEFI. Texcoco, Edo. de México. p. 49. ISBN 968-839-214-6.

- González D., J. R., S. Gómez M. y L. Pérez P. 1998. Componentes del rendimiento de semilla en híbridos apomícticos de *Cenchrus ciliaris* resistentes a *Pyricularia grisea*. Memorias XVII Congreso de Fitogenética. SOMEFI. Acapulco, Guerrero. p. 60.
- González D., J. R., S. Gómez M. y C. Vázquez M. 2000. Rendimiento de semilla y sus componentes en una línea hexaploide de zacate buffel. Memorias XVIII Congreso Nacional de Fitogenética. SOMEFI. 15-20 oct. Irapuato, Guanajuato. México. p. 267.
- González D., J. R., S. Gómez M. and G.E. Pogue. 2001. New disease tolerant buffelgrass cultivars. Program and Abstract Book 2nd International Apomixis Conference. Como, Italy. p.60.
- Grimanelli, D., O. Leblanc, E. Espinoza, E. Perotti, D. de León and Y. Savidan. 1998. Mapping dispolporous apomixis in tetraploid *Tripsacum*: one gene o several genes?. Heredity 80:33-39.
- Grossniklaus, U., G.A. Nogler, P.J. van Dijk. 2001. How to avoid sex: the genetic control of gametophytic apomixis. Plant Cell 13:1491-1498.
- Gustafsson, A. 1946. Apomixis in higher plants. Part I. The mechanism of apomixis. Lunds University Arsskr 42: 1-68.
- Gustine, D.L., R.T. Sherwood, Y. Gounaris and D. Huff. 1996. Isozyme, protein and RAPD markers within a half-sib family of buffelgrass segregating for apospory. Crop Sci. 36: 723-727.
- Gustine, D.L., R.T. Sherwood, and D.R. Huff. 1997. Apospory-linked molecular markers in buffelgrass. Crop Sci. 37:947-951.
- Hanna, W.W. and E.C. Bashaw. 1987. Apomixis: its identification and use in plant breeding. Crop Sci. 27: 1136-1139.
- Hanselka, C.W. 1988. Buffelgrass South Texas wonder grass. Rangeland 10:279-281.
- Hanselka, C.W. y D. Johnson. 1991. Establecimiento y manejo de praderas de zacate buffel Común en el sur de Texas y en México. Séptimo Congreso Nacional SOMMAP. Simposium Internacional Aprovechamiento Integral del Zacate Buffel. 20-23 agosto Cd. Victoria Tamps. pp. 54-59.
- Hanson, A.A. 1972. Grass varieties in the United States. Agricultural Research Service. USDA. Agriculture Handbook N°170. pp. 39-40.
- Hatch, S.L. y M.A. Hussey. 1991. Origen, taxonomía y oportunidades de mejora genética del zacate buffel y especies afines. Séptimo Congreso Nacional

- SOMMAP. Simposium Internacional Aprovechamiento Integral del Zacate Buffel. 20-23 agosto. Cd. Victoria, Tamps. pp: 3-13.
- Hernández S., M. 1984. Manual de laboratorio citología y citogenética. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 92p.
- Hignight, K.W., E.C. Bashaw and M.A. Hussey. 1991. Cytological and morphological diversity of native apomictic buffelgrass, *Pennisetum ciliare* (L.) Link. Bot. Gaz. 152 (2): 214-218.
- Holt, E.C. 1985. Buffel grass-a brief history. In: E.C. A. Runge and J.L. Schuster (eds.) Buffel grass: Adaptation, management and forage quality. The Texas Agr. Exp. Sta. in cooperation with the Texas Agric. Ext. Service; U.S. Department of Agriculture-Soil Conservation Service. College Station, Texas MP-1575. pp. 1-5
- Humphreys, L. R. 1986. Buffelgrass (*Cenchrus ciliaris*) in Australia. Trop. Grasslands 1:123-134.
- Hussey, M.A. y E.C. Bashaw. 1990. Avances en el mejoramiento genético del zacate buffel. IV Conferencia Internacional de Ganadería Tropical. Cd. Victoria, Tamps. pp. 12-15.
- Hussey, M.A., E.C. Bashaw, K.W. Hignight and M.L. Dahmer. 1991. Influence of photoperiod on the frequency of sexual embryo sacs in facultative apomictic buffelgrass. Euphytica. 54:141-145.
- Ibarra F., F., J.R. Cox y M. Martín R. 1991. Efecto del suelo y clima en el establecimiento y persistencia del zacate buffel en México y sur de Texas. Séptimo Congreso Nacional SOMMAP. Simposium Internacional Aprovechamiento Integral del Zacate Buffel. 20-23 Agosto. Cd. Victoria, Tamps. pp.14-28.
- Jessup, R.W., B. L. Burson, G. B. Burrow, Y. W. Wang, C. Chang, Z. Li, A.H. Paterson and M.A. Hussey. 2002. Disomic inheritance, suppressed recombination and allelic interaction govern apospory in buffel grass as revealed by genomic mapping. Crop Sci. 42:1688-1694.
- Jessup, R.W., B. L. Burson, G. Burrow, Y-W. Wang, C. Chang, Z. Li, A.H. Paterson and M.A. Hussey. 2003. Segmental allotetraploidy and allelic interactions in buffelgrass (*Pennisetum ciliare* L.) Link syn *Cenchrus ciliaris* L. as revealed by genome mapping. Genome 46: 304-313.
- Koltunow, A.M. 1993. Apomixis: embryo sacs and embryos formed without meiosis or fertilization in ovules. Plant Cell 5:1425-1437.

- Koltunow, A.M. and U. Grossniklaus. 2003. Apomixis: A developmental perspective. *Ann. Rev. Plant Biol.* 54: 547-574.
- Koltunow, A.M., R. A. Bicknell and A.M. Chaudhury. 1995. Apomixis: molecular strategies for the generation of genetically identical seeds without fertilization. *Plant Physiol.* 108: 1345-1352.
- Knox, R.B. and J. Heslop-Harrison. 1963. Experimental control of aposporous apomixis in a grass of the Andropogoneae. *Bot. Notiser* 116:127-141.
- Malca, I. and J. W. Owen, 1957. The gray leaf spot disease of St. Augustine grass. *Plant Dis. Rep.* 41:871-875.
- McMeniman, S. and G. Lubulwa. 1997. Project Development Assessment: an economic evaluation of the potential benefits of integrating apomixis into hybrid rice. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research. pp.1-24.
- Martínez V., J. 1996. Adaptación de zacate buffel de lugares altos en la Región templada de Navidad, N.L. Tesis. Licenciatura. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. México 60p.
- Miles, J. W. 2007. Apomixis for cultivar development in tropical forage grasses. *Crop Sci.* 47 (S3): 238-249.
- Nogler, G.A. 1984. Gametophytic apomixis. In: B.M. Johri (ed.) *Embryology of angiosperms*. Ed. Springer- Verlag, Berlin Heidelberg. pp. 475-518.
- Nolasco, M. 1995. Campesinos indígenas y comunidades rurales: la producción para la alimentación. Instituto Nacional de Antropología e Historia. DEP-ENAH. En: Moreno E., F. Torres e I. Chong. 1995. *El Sistema Postcosecha de Granos en el Nivel Rural: Problemática y Propuestas*. Programa Universitario de Alimentos. UNAM. ISBN 968-36-4519-4.
- Noyes, D. R. and L. H. Rieseberg. 2000. Two independent loci control agamospermy (apomixis) in the triploid flowering plant *Erigeron annuus*. *Genetics* 155:379-390.
- O'cumpaugh, W. and C.W. Hanselka. 1998. Blight on buffelgrass. What's hot. <http://cnrit.tamu.edu/cgrm/whtazhot/plants/blight.html>.
- O'cumpaugh, W. and O. Rodríguez. 1998. Pasture forage production: Integration of improved pastures species into South Texas livestock production systems. Proceedings, management of grazinglands in Northern Mexico and South of Texas. Workshop. Texas A&M International University. Laredo, Texas. pp. 49-60.

- Ortega R., L., M.H. Martín R., P. Jurado G. y E. González V. 2003. Programa Nacional de Investigación en Forrajes y Pastizales. Centro de Ciencias Agropecuarias. En: Zacate Navajita. I Simposium Internacional de Manejo de Pastizales. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Osuna R., O. M. 1986. Buffel Zaragoza-115 para el norte de Coahuila CAEZAR-CIAN-INIFAP-SARH. Desplegable CAEZAR 1.
- Ozias-Akins P., E.L. Lubbers, W.W Hanna and J.W. McNay. 1993. Transmission of the apomictic mode of reproduction in *Pennisetum*: co-inheritance of the trait and molecular markers. *Theor. Appl. Genet.* 85:632-638.
- Paull, C. J. and G.R. Lee. 1978. Buffel Grass in Queensland. *Queensland Agricultural Journal* 104: 57-75. Australia.
- Pérez P., L. 1998. Caracterización de híbridos apomícticos de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). Tesis. Licenciatura. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 69p.
- Perrot, R. F. and S. Chakraborty. 1999. *Pyricularia grisea* causes blight of buffelgrass *Cenchrus ciliaris* L. in Queensland, Australia. *Trop. Grasslands* 33: 201-206.
- Poehlman, J.M. y D. Allen S. 2005. Mejoramiento genético de cultivos forrajeros de polinización cruzada. En: Mejoramiento genético de las cosechas. 2da. Edición. Ed. Limusa. pp. 403-432.
- Quarin, C.L. 1999. Effect of pollen source and pollen ploidy on endosperm formation and seed set in pseudogamous apomictic *Paspalum notatum*. *Sex Plant Reprod.* 11:331-335.
- Quarin, C.L., F. Espinoza, E.J. Martínez, S.C.Pessino and O. A. Bravo. 2001. A rise of ploidy level induces the expression of apomixis in *Paspalum notatum*. *Sex Plant Reprod.* 13: 243-249.
- Ramírez G., F., M. H. Reyes V., J. R. González D., S. Gómez M. y V. Robledo T. 1998. Determinación del número cromosómico en seis materiales de zacate buffel. Memorias XVII Congreso de Fitogenética. SOMEFI. Universidad Autónoma de Guerrero, México. p. 397.
- Read, J.C. and C.E. Bashaw. 1969. Cytotaxonomic relationship and the role of apomixis in speciation in buffelgrass and birdwoodgrass. *Crop Sci.* 9:805-806.
- Richards, A.J. 2003. Apomixis in flowering plants: an overview. *The Royal Society* 1085-1093.

- Rodriguez, O. 1998. Breeding for cold tolerance and disease resistance in buffelgrass. In: Proc. American Forage and Grassland Council. pp. 144-147.
- Rodriguez, O., J. Gonzalez-Dominguez, J. P. Krauz, G. N. Odvody, J. P. Wilson, W.W. Hanna and M. Levy. 1999. First report and epidemic of buffelgrass blight caused by *Pyricularia grisea* in South Texas. Plant Disease 83:398.
- Romero F., J. 1981. Zacate buffel para producción de carne bajo temporal. SARH-INIA-CIAPAN. Culiacán, Sinaloa. 28p.
- Rosales R., R. 2000. Producción forrajera y dinámica del rendimiento en zacate panizo azul (*Panicum antidotale* Retz.) bajo fertilización y riego. Tesis. Licenciatura. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. México 71p.
- SAGARPA. 2002. Proyecto Regional de Conversión de Cultivos para la Zona Norte. Programa de Apoyo a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Regionales. Gobierno del Estado de Tamaulipas. CD.
- SAGARPA. 2004. Delegación en los estados de Coahuila, Tamaulipas y Nuevo León. Anuario estadístico de Coahuila de Zaragoza, Tamaulipas y Nuevo León. USIEG.Agricultura.
<http://www.diputados.gob.mx/USIEG/anuarios/Coahuila/Tamaulipas/nuevoAgricultura.xls>. Consultado Marzo 2008.
- Saldívar F., A. 1991. Ecosistemas del zacate buffel en Tamaulipas. Séptimo Congreso Nacional SOMMAP. Simposium Internacional Aprovechamiento Integral del Zacate Buffel. 20-23 agosto Cd. Victoria Tamps. pp. 42-51.
- SAS. 1999. Version. 8.0. Institute. Inc. Carry , N.C, USA.
- Schulz-Schaeffer, J. 1980. Cytogenetics: Plants, animals, humans. Ed. Springer-Verlag Press. New York. Inc.
- Shafer, G.S., B.L. Burson and M.A. Hussey. 2000. Stigma receptivity and seed set in protogynous buffel grass. Crop Sci. 40: 391-397.
- Sherwood, R.T., B.A. Young and E.C. Bashaw. 1980. Facultative apomixis in buffelgrass. Crop Sci. 20:375-379.
- Sherwood, R.T., C.C. Berg and B.A. Young. 1994. Inheritance of apospory in buffelgrass. Crop Sci. 34:1490-1494.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2007. Anuario estadístico agropecuario de 1980-2007.
<http://oiedrus-portal.gob.mx/portal-sispro/index>. SIAP/SAGARPA

- Snedecor, G.W. and W. G. Cochran. 1967. Statistical Methods. Sixth ed. The Iowa, State University Press. Iowa, U.S.A. 593p.
- Snyder, L.A., A.R. Hernandez and H.E. Warmke. 1955. The mechanism of apomixis in *Pennisetum ciliare*. Bot. Gaz. 116: 209-221.
- Spillane, C., A. Steimer and U. Grossniklaus. 2001. Apomixis in agriculture: the quest for clonal seeds. Sex Plant Reprod. 14:179-187.
- Statistica. Statistica for Windows (Version 6.0) Tulsa Ok, USA: StatSoft, Inc. 1994.
- Stebbins, G.L. 1941. Apomixis in the angiosperms. Bot. Rev. 7:507-542.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1960. Principles and procedures of statistics. Ed. McGraw-Hill. Book Company, Inc. E.U.A. 481 p.
- Taliaferro, C.M. and E. C. Bashaw. 1966. Inheritance and control of obligate apomixis in breeding buffelgrass *Pennisetum ciliare*. Bot. Gaz. 116:209-221.
- Toenniessen, G. H. 2001. Feeding the world in the 21st century: Plant breeding biotechnology and the potential role of apomixis. In: Savidan Y., J.G. Carman and T. Draesselhaus (eds.). The Flowering of apomixis: From mechanisms to genetic engineering. México, D.F. CIMMYT, IRD, European Commission Dg VI (Fair). pp.1-7.
- Torres M., J.J. 2005. Segregación del modo de reproducción en cruces de zacate buffel tetraploide sexual x hexaploide apomítico. Tesis. Maestría. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 89p.
- Valle, B. C. 2007. Genética de nuevas especies forrajeras tropicales. XI Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal. FUNDA PASTOS. Univ. Centro-occidental Barquisimeto, Venezuela.
http://aupa.ula.ve/eventos/xi_Seminario.Conferencias/Articulo-13pdf.
- Van der Have, D.J. 1979. Grasses. In: Plant Breeding Perspectives 1879-1979. J. Sneep and A.J.T. Hendricksen (eds.). Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen the Netherlands. pp. 174-189.
- Vielle, J-Ph., B.L. Burson and M.A. Hussey. 1995. Early fertilization events in the sexual and aposporous egg apparatus of *Pennisetum ciliare* (L.) Link. Plant J. 8:309-316.

- Visser, N.C., J.J. Spies and H.J.T. Venter. 1998. Aneuploidy in *Cenchrus ciliaris* (Poaceae, Panicoideae, Paniceae): Truth or fiction? S. Afr. J. Bot. 64(6): 337-345.
- Voigt, P.W. and B.L. Burson. 1981. Breeding of apomictic *Eragrostis curvula*. In: Proceedings of the 14th international Grasslands Congress, Lexington, K.Y. pp. 160-163
- Wheeler, W.A. and D.D. Hill. 1957. Great Plains grasses. In: Grasslands Seeds. Wheeler, W.A. (ed) D. Van Nostrand Company. Princeton, New Jersey. pp. 559-601.
- Young, B.A., R.T. Sherwood and E.C. Bashaw. 1979. Cleared-pistil and thick-sectioning techniques for detecting aposporous apomixis in grasses. Can. J. Bot. 57: 1668-1672.

A P E N D I C E

Cuadro A 4.1. Análisis de varianza para porcentaje de fertilidad de tres variedades apomícticas en cruza con el clon sexual TAM CRD B-1s de zacate buffel. Saltillo, Coah. 2006.

FV	GL	SC	CM	FC	F α	
					0.05	0.01
Tratamiento	2	0.3656	0.1828	0.1814 ^{NS}	4.74	9.55
Bloque	7	35.6382	5.0911	5.0526 ^{**}	2.77	4.28
E.Exp	14	14.1069	1.0076			
Total	23	50.1108				

C.V. = 30%

NS = No significativo

** = Altamente significativo

Cuadro A4.2. Cuadrados medios de ANVA de 24 variables morfológicas de variedades y líneas experimentales de zacate buffel. Saltillo, Coah. 2007.

FV	GL	PP1	PP2	RS	ATA1	ATA2	AMI1	AMI2	NE1
Columna	56	68.84	325.1	41.72	0.0015	0.0054	0.003	0.0035	0.139
Hilera	8	106.89	2750.1	42.86	0.0069**	0.016	0.018	0.0042	0.694
Tratam	8	4639.28**	192963.1**	724.89**	0.0273**	0.092**	0.078**	0.0448**	2.333**
E. Exp	56	135.987	3499.2	19.60	0.0044	0.011	0.004	0.005	0.655
C.V. %		27.5	23.4	18.4	7.2	9.65	7.9	7.1	13

Primera evaluación de panículas por planta (PP1), segunda evaluación de panículas por planta (PP2), rendimiento de semilla (RS), 1º lectura de altura por planta al tallo más alto (ATA1), 2º lectura de altura por planta al tallo más alto (ATA2), 1º lectura de altura de planta a la mayoría de las inflorescencias (AMI1), 2º lectura de altura por planta a la mayoría de las inflorescencias (AMI2), primera evaluación de número de entrenudos (NE1).

Cuadro A4.2..... Continuación

FV	GL	NE2	LE1	LE2	GN	LHB1	LHB2	AHB1	AHB2
Columna	56	0.604	0.954	0.842	0.176	4.752	9.990	0.641	0.019
Hilera	8	2.452**	4.687**	1.997	0.996**	7.946	14.768*	2.826**	0.008
Tratam	8	2.452**	26.694**	12.474**	1.775**	125.468**	44.635**	3.983**	0.044*
E. Exp	56	0.868	1.503	1.0423	0.095	7.706	6.906	0.551	0.0176
C.V. %		11.1	12.35	10.8	10.8	19.2	21.9	21.0	26.9

Segunda evaluación de número de entrenudos (NE2), primera evaluación de longitud de entrenudos (LE1), segunda evaluación longitud de entrenudos (LE2), grosor de nudos (GN), 1º lectura longitud de hoja bandera (LHB1), 2º lectura longitud de hoja bandera (LHB2), 1º lectura ancho de hoja bandera (AHB1), 2º lectura ancho de hoja bandera (AHB2),

Cuadro A4.2..... Continuación

FV	GL	NR	LCL	EI	LP	NIP	PIP
Columna	56	2.81	0.011	0.087	0.908	733.6	6589*
Hilera	8	5.52*	0.021	0.068	1.070	762.4	10042**
Tratam	8	4.00	0.170**	0.817**	7.403**	5550**	15878**
E. Exp	56	2.38	0.020	0.141	1.510	730.1	3148
C.V. %		28.4	10.6	15.6	13.0	23.5	21.1

Número de ramificaciones(NR), longitud de cerda más larga (LCL), número de espiguillas por involucro (EI), longitud de panícula (LP), número de involucros por panícula (NIP), peso de involucros por panícula (PIP).

Cuadro A4.3. Panículas emasculadas de 10 híbridos F₁ de reproducción sexual y polinizadas con nueve machos apomícticos de zacate buffel. Saltillo, Coah. 2008.

Hembras Sexuales	Machos Apomícticos									Total
	Común	Z 115	AN17PS	Común II	Nueces	Biloela	Higgins	Formid	B 1s	
SS1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18
SS2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	19
SS3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18
SS6	2	2	2	2	3	2	2	2	2	19
SS7	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18
SS9	3	2	2	2	2	2	2	2	4	21
SS10	2	2	2	2	2	3	2	3	2	20
SS12	3	2	2	2	2	2	2	2	2	19
SS13	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18
SS14	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18
Total	22	20	20	20	22	21	20	21	22	188

Cuadro A4.4. Panículas emasculadas parcialmente de 10 híbridos F₁ de reproducción sexual y polinizadas con machos apomícticos. Saltillo, Coah. 2008.

Hembras Sexuales	Machos Apomícticos									Total
	Común	Z-115	AN17PS	Común II	Nueces	Biloela	Higgins	Formidable	B-1s	
SS1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18
SS2	2	2	2	1	4	2	2	1	2	18
SS3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	19
SS6	2	2	1	2	2	2	2	2	2	17
SS7	2	5	2	3	2	2	2	2	5	25
SS9	2	2	3	2	2	2	2	2	3	20
SS10	2	3	2	2	2	2	3	2	2	20
SS12	3	4	2	2	2	2	2	2	4	23
SS13	2	2	3	3	3	2	3	3	3	24
SS14	2	2	2	3	2	2	2	3	2	20
Total	21	26	22	22	23	20	22	21	27	204