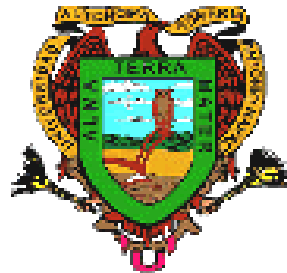


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**



Evaluación de Familias  $F_3$  y  $F_4$  de Zacate Buffel  
(*Pennisetum ciliare* L.) en Zaragoza, Coahuila

**Por:**

**DOMINGO AMADO GABRIEL DE LEÓN**

**TESIS**

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre del 2004

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGARARIA ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación de Familias F<sub>3</sub> y F<sub>4</sub> de Zacate Buffel

(*Pennisetum ciliare* L.) en Zaragoza, Coahuila

**Por:**

**DOMINGO AMADO GABRIEL DE LEÓN**

**TESIS**

Que Somete a la Consideración del H. Jurado Examinador, como Requisito  
Parcial para Obtener el Título de

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Tesis

**Presidente del Jurado**

---

Dr. Jorge Raúl González Domínguez

**Sinodal**

**Sinodal**

---

M.C. Susana Gómez Martínez

---

Dr. Juan M. Martínez Reyna

Coordinador de la División de Agronomía

---

M.C. Arnoldo Oyervides García

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Noviembre del 2004

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS**

*Principalmente por darme la vida, permitir concluir esta tesis y alcanzar la meta propuesta un día. Se que a Él le debo todo lo que me a dado.*

### **A MIS PADRES**

*Ernesto Gabriel Díaz*

*Evangelina de León Trigueros*

*Por el gran apoyo que me brindaron desde el inicio de mis estudios, que con sus esfuerzos y sacrificios me han dado la mejor herencia que hay en la vida.*

### **A MIS HERMANOS**

*Mariano*

*Jacinto*

*Chabelita*

*Magui*

*Enry*

*Yuri*

A todos ellos, se las dedico con mucho cariño, ya que siempre me brindaron esa confianza y amistad, por hacer que en la familia exista siempre esa unión. Al mismo tiempo agradecerles por todo lo que me han dado.

### **A MIS AMIGOS**

*Especialmente al Sr. Felipe Moncada y Sra. Concepción Saavedra, por darme un rinconcito en su hogar, su amabilidad y sobre todo por brindarme su amistad. Por todo esto les doy mis mas sinceros agradecimientos, nunca los olvidaré.*

## **AGRADECIMIENTOS A**

### **LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

*Por darme la oportunidad de realizar mis sueños y por a cobijarme en su seno para que me formara como un profesionalista.*

### **MIS ASESORES**

***M.C. Susana Gómez Martínez** por el apoyo y paciencia que me brindó a lo largo de este trabajo y con sus asesorías hizo posible la realización de ésta tesis.*

***Dr. Jorge Raúl González Domínguez** por la aportación de sus conocimientos y sus valiosas sugerencias para el desarrollo de esta investigación.*

### **LA ENCARGADA DEL CENTRO DE COMPUTO**

***Lic. Sandra López Betancourt***

*Por su amabilidad y conocimiento que me brindo, para que este trabajo quedara lo mejor posible.*

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Origen del Zacate Buffel.....	5
Clasificación Taxonómica.....	6
Descripción Morfológica.....	6
Inflorescencia.....	7
Semilla.....	8
Importancia del Zacate Buffel.....	8
Estudios Citogénéticos del Zacate Buffel.....	9
Reproducción de las Plantas .....	10
Reproducción Sexual.....	10
Reproducción Asexual.....	11
Reproducción del Zacate Buffel .....	11
¿Que es la Apomixis?.....	13
Tipos de Apomixis.....	15
Embrionía Adventicia.....	17
Apomixis Gametofítica.....	17
Sacos Embrionarios Apomícticos.....	19
Formados por Diplosporia.....	19
Tipo <i>Antennaria</i> .....	19
Tipo <i>Taraxacum</i> .....	20
Tipo <i>Ixeris</i> .....	21
Formados por Aposporia.....	21
Tipo <i>Hieracium</i> .....	21
Tipo <i>Panicum</i> .....	22
Clasificación de Apomícticos.....	22
Apomícticos Facultativos.....	23
Apomícticos Obligados.....	23
Indicadores de Apomixis.....	24
Ventajas de la Apomixis.....	26
Papel Potencial de la Apomixis.....	28



## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro No.</b>		<b>Página</b>
1.	Clasificación de reproducción asexual en angiospermas.....	16
2.	Temperatura promedio y precipitación durante el período de evaluación. Zaragoza, Coahuila. 2003.....	48
3.	Rendimiento promedio de materia seca (kg/ha) de 50 familias F <sub>3</sub> y cinco variedades comerciales del zacate buffel. Zaragoza, Coahuila. 2003.....	58
4.	Rendimiento de materia seca (kg/ha) de 50 familias F <sub>3</sub> y cinco variedades comerciales de zacate buffel. Zaragoza, Coahuila. 2003.....	60
5.	Rendimiento promedio de materia seca (kg/ha) en 23 familias F <sub>4</sub> y seis variedades comerciales de zacate buffel. Zaragoza, Coahuila. 2003.....	67
6.	Rendimiento de materia seca (kg/ha) en 23 familias F <sub>4</sub> y seis variedades comerciales de zacate buffel. Zaragoza, Coahuila. 2003.....	69

<b>Cuadro No.</b>		<b>Página</b>
7.	Análisis de varianza de rendimiento de materia seca de 18 familias F <sub>4</sub> y seis variedades comerciales de zacate buffel. Zaragoza, Coahuila. 2003.....	71
8.	Rendimiento de materia seca (kg/ha) de 18 familias F <sub>4</sub> y seis variedades comerciales de zacate buffel. Zaragoza, Coahuila. 2003.....	72





## INTRODUCCIÓN

El zacate buffel (*Pennisetum ciliare* L.) es la gramínea de mayor importancia para la ganadería extensiva del norte de México y sur de Texas. Actualmente en las regiones mencionadas de ambos países, esta planta forrajera ocupa una superficie de 4 millones de hectáreas. Una sola variedad conocida como Común de reproducción asexual obligada y por lo tanto con escasa variabilidad genética, se utiliza prácticamente en la totalidad de la superficie mencionada. En 1990 se observó en un lote experimental de Ocampo, Coahuila, la presencia de una enfermedad en las parcelas de Común y la variedad Higgins. En 1999 apareció el primer reporte de la enfermedad identificada como tizón foliar, en la revista periódica *Plant Disease*, el reporte menciona una proporción epidémica de la enfermedad a partir de 1996.

Desde la liberación de los híbridos apomícticos de Nueces y Llano, en los Estados Unidos, a finales de la década de los setentas, no se han liberado nuevas variedades y en el tiempo de su liberación no existía la enfermedad. Hoy se sabe que Nueces es susceptible y Llano nunca llegó a ser una variedad importante. El Programa de Pastos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, produjo los primeros híbridos de zacate buffel en 1989 mediante

cruzamiento del clon sexual TAM CRD B-1s por Zaragoza-115 y durante la década de los noventa se realizaron evaluaciones en diferentes localidades que arrojaron información sobre la resistencia de los materiales a la enfermedad la cual sirvió para la selección de poco más de veinte híbridos, entre los cuales destacó el híbrido 17 (H-17). Evaluaciones realizadas durante 2003 en Reynosa, Tamaulipas, donde las condiciones son mucho más favorables para el desarrollo del tizón, han confirmado la resistencia de H-17 al tizón foliar causado por *Pyricularia grisea*. En evaluaciones en varias localidades de Texas a partir de 1997 ha destacado el híbrido por su producción de forraje, tolerancia al frío y resistencia a la enfermedad principalmente.

Otra manera de producir híbridos resistentes a la enfermedad sería incorporar en Común la resistencia de Z-115, sin embargo, la reproducción apomíctica de estas variedades impiden su cruce quedando solo la posibilidad de que ocurra la fertilización de un huevo no reducido. Esto produciría híbridos con aumento en el nivel de ploidía conocidos como BIII. Se ha demostrado que la fertilización de huevos no reducidos ocurre en zacate buffel.

Por la magnitud de la superficie en que se utiliza la variedad Común de zacate buffel en los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas y otras regiones de México como fuente de alimento para el ganado, la extrema susceptibilidad de esta variedad al tizón (*Pyricularia grisea*) y la escasa

resistencia a la enfermedad mostrada por otras variedades comerciales de acuerdo a investigación reciente, se requiere de desarrollar nuevas variedades de zacate buffel para evitar el impacto negativo del tizón en la producción y calidad del forraje que en casos severos llega a ser de 80 a 90%, así como la producción de semilla donde las pérdidas llegan a ser mayores a un 50%.

El uso de mezclas de variedades es una estrategia que se ha utilizado para prolongar la estabilidad de los genes de resistencia a las enfermedades. Para utilizar esta estrategia en zacate buffel, es necesario contar a la brevedad posible con más variedades resistentes al tizón.

En el Programa de Pastos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro durante 1999 se generaron híbridos producto de la cruce del clon sexual B-1s (tetraploide) por tres variedades comerciales tetraploides: Z-115, Común y H-17. Así mismo, se generaron en el 2000 híbridos producto de la cruce del clon sexual B-1s(tetraploide) por Común II (hexaploide). Actualmente estos híbridos se encuentran en la generación  $F_4$  y  $F_3$  respectivamente, los cuales requieren de evaluaciones continuas que nos permitan seleccionar los mejores materiales como variedades potenciales.

## Objetivos

Los objetivos planteados para esta investigación fueron:

1. Evaluar 50 híbridos apomícticos (familias  $F_3$ ) producto de la cruce tetraploide por hexaploide seleccionados por su resistencia al tizón foliar y producción de forraje en Zaragoza, Coahuila.
2. Evaluar 23 híbridos apomícticos (familias  $F_4$ ) producto de la cruce tetraploide por tetraploide seleccionados por su resistencia al tizón foliar y producción de forraje en Zaragoza, Coahuila.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen del Zacate Buffel

El establecimiento del zacate buffel (*Pennisetum ciliare* L.) en el sur de Texas y noreste de México ha sido de una forma tan asombrosa que se considera que las condiciones de suelo y clima de estas regiones, donde la especie ha logrado persistir y dispersarse, son similares a las condiciones climáticas y edáficas de su lugar de origen en el centro-norte de Kenia (Ibarra *et al.*, 1995).

Bashaw (1985) reportó a Sudáfrica como el lugar de origen del zacate buffel, ya que en la región del Transvaal y Provincias del Cabo de ese país se encuentra la mayor diversidad natural de materiales de esta especie. De ahí se dispersó al norte a través de las regiones más secas y hacia los pastizales áridos al oeste de la India. En el norte de Kenia el número de materiales disminuyó, por lo que se concluye que Sudáfrica posee un amplio recurso genético que puede ser utilizado en el mejoramiento genético del zacate buffel.

## Clasificación Taxonómica

Hatch y Hussey (1991) proponen la siguiente clasificación taxonómica

Familia ***Gramineae***

Subfamilia ***Panicoideae***

Tribu ***Paniceae***

Género ***Cenchrus***

Especie ***ciliaris***

En varias ocasiones el zacate buffel ha sido clasificado en ambos géneros *Pennisetum* y *Cenchrus*, debido a la estrecha relación citológica que existe entre ellos (Hatch y Hussey, 1991). La única diferencia entre *Pennisetum* y *Cenchrus* es el grado de fusión de las vellosidades en la base de los involucros; sin embargo Hignight *et al.* (1991) mencionan que la fusión de dicha vellosidad es un rasgo que puede variar incluso dentro del mismo *Pennisetum*, por lo que el uso de esta característica para distinguir especies entre *Pennisetum* y *Cenchrus* puede conducir a clasificaciones erróneas.

## Descripción Morfológica

El zacate buffel es una especie forrajera de verano, amacollada, polimórfica y vigorosa (Taliaferro y Bashaw, 1966), con hábito de crecimiento erecto (Read y Bashaw, 1969).

Su sistema radicular es largo, fuerte, abundante, fibroso con una corona fuerte y nudosa, algunos cultivares tienen rizomas y puede alcanzar hasta 2.4 m de profundidad (Cantú, 1989; Paull y Lee, 1978). Los tallos son frecuentemente ramificados compuestos de nudos y entrenudos, algunos cultivares alcanzan 1.0 m de altura, aunque algunas variedades como Molopo y Biloela llegan a medir 1.70 m de longitud bajo buenas condiciones. Se desarrolla una hoja por cada nudo del tallo, formando un ángulo de 40°C, con el tallo (Cantú,1989). Miden de 7 a 30 cm de longitud y de 3 a 8 mm de ancho, son de color verde, azuladas, planas y lineales, glabras o ligeramente pubescentes en la base, especialmente cerca de la lígula (Ayerza, 1981; Paull y Lee, 1978; Whiteman *et al.*, 1974). Las vainas laterales comprimidas y envueltas, peludas o esparcidas, cubiertas de pelos suaves.

### **Inflorescencia**

Whiteman *et al.* (1974) describen la inflorescencia del zacate buffel como una panícula cilíndrica de 10 cm de longitud, presenta fascículos de espiguillas unidos por pedúnculos cortos de color púrpura o marrón rojizo. Espiguillas similares de 4 a 5 mm de largo, encerradas de 1 a 3 en fascículos rodeados generalmente por cerdas tiesas o a veces plumosas. Las glumas son ligeramente desiguales, oval-oblongas, uninervadas y membranosas.



## **Semilla**

Moreno (1996) menciona que la semilla comercial en zacate buffel son estructuras complejas llamadas “unidad semilla” la cual está formada por fascículos con barbas y espiguillas. Por lo que la semilla no se encuentra visible si no encerrada dentro de un flósculo compuesto por varias espiguillas en un involucro de setas, un flósculo puede contener de 0 a 4 semillas dependiendo de la variedad, lo común es encontrar 1 ó 2 (Ayerza, 1981). El fruto o cariósido es oblongo, dorsalmente comprimido de aproximadamente 2 mm de largo (Lahiri *et al.*, 1982). El peso del cariósido es usualmente el 25 a 30% de la espiguilla (Robles *et al.*, 1990).

## **Importancia del Zacate Buffel**

El zacate buffel se considera la especie forrajera con mayor potencial para la ganadería extensiva del norte de México y sur de Texas, debido a sus características agronómicas de resistencia a la sequía, producción de forraje y su amplia adaptabilidad a las zonas áridas (Holt, 1985; Hanselka, 1988).

Hanselka (1988) estimó una superficie de zacate buffel de 700,000 ha en el sur de Texas. Posteriormente, Ocumpaugh y Rodríguez (1998) reportaron más de 4 millones de hectáreas entre Texas y México.

Para la República Mexicana los reportes varían de 1,500,000 ha (Ibarra *et al.*, 1991) a 2,000,000 ha (Saldívar, 1991) con las mayores superficies en los estados de Tamaulipas, Sonora, Nuevo León y Coahuila. En Australia la superficie sembrada con zacate buffel ascendió en 1988 a 2.4 millones de ha (Cavaye, 1988).

Saldívar (1990) menciona que el zacate buffel Común causó una revolución en el potencial ganadero en áreas de baja precipitación, así mismo incrementó la productividad ganadera en un 400% en áreas donde la precipitación es mayor de 800 mm. Existen varios reportes de Estados Unidos, México y Australia donde el zacate buffel ha incrementado la productividad de los pastizales, lo que ha disminuido en buena medida los coeficientes de agostaderos (Hanselka, 1988; Hanselka y Johnson, 1991; Humphreys, 1967).

### **Estudios Citogenéticos del Zacate Buffel**

Fisher *et al.* (1954), reportaron que en un total de 18 introducciones del zacate buffel, 13 materiales presentaron  $2n=36$  cromosomas, en tres materiales  $2n = 54$  cromosomas y 32, 40 cromosomas en dos materiales. Con base en los resultados obtenidos reportaron un número cromosómico básico de  $X = 9$  para la especie. Posteriormente Snyder *et al.* (1955) encontraron un número cromosómico de  $2n = 36$  en 5 líneas, reportaron un número de  $2n = 43$  para una planta de la línea 202513 y  $2n =48$  en dos plantas de la línea 156540. Ellos

consideraron que los materiales de zacate buffel con 36 cromosomas son tetraploides, los de 54 cromosomas hexaploides y los materiales de 32, 40 y 48 cromosomas son aneuploides.

## **Reproducción de las Plantas**

Las plantas en la naturaleza se perpetúan por multiplicación o reproducción. Existen dos formas de reproducción: sexual y asexual.

### **Reproducción Sexual**

La reproducción sexual, es un método de reproducción por medio del cual se obtiene variabilidad genética, este método de reproducción implica una doble fertilización, el huevo del progenitor femenino es fertilizado por el polen o gameto masculino del mismo o diferente progenitor, ambos gametos fueron reducidos en la fase meiótica por lo que el resultado de la unión de los dos gametos reducidos da como consecuencia un cigote en condición diploide, el cual va a desarrollar un embrión. El otro núcleo espermático se une con los dos núcleos polares, resultando en células triploides para desarrollar el endospermo (Asker, 1979). La meiosis y la fertilización están involucradas en el desarrollo del embrión lo que permite la recombinación genética, segregación y la producción de diversos genotipos (Hanna y Bashaw, 1987).

## **Reproducción Asexual**

La reproducción asexual, es un método de camino reducido, donde no se obtiene variabilidad genética, el mismo individuo se propaga con las mismas características y constitución genética. Así mismo, en la reproducción asexual llamada apomixis, la semilla se produce sin la fusión de sus gametos por lo que la progenie de este tipo de plantas son una réplica exacta del progenitor femenino, ya que el proceso meiótico y la fertilización no intervienen en el desarrollo del embrión, por lo que se dice que la apomixis es un método para clonar plantas a través de semillas (Hanna y Bashaw, 1987).

## **Reproducción del Zacate Buffel**

Fisher *et al.* (1954) propusieron el modo de reproducción apomíctico para el zacate buffel, basándose en las siguientes observaciones:

- Las progenies de cada biotipo fueron idénticas a su progenitor femenino, descartándose la autofecundación como explicación a esta semejanza debido al carácter protogíneo de la especie.
- La presencia de biotipos aneuploides.
- Como evidencia principal el desarrollo del embrión proveniente de los gametofitos nucelares.

Posteriormente estudios realizados en siete colecciones de zacate buffel en Puerto Rico, permitieron determinar que el mecanismo de apomixis en zacate buffel es aposporia, seguido por pseudogamia con base en las siguientes observaciones: sacos embrionarios tipo *Oenothera* (4 núcleos) y la presencia de sacos embrionarios múltiples (seis a ocho por núcleo), la polinización fue necesaria para el desarrollo del endospermo. Debido a que ninguno de los materiales presentó evidencia de sexualidad se asumió apomixis obligada para la especie (Snyder *et al.*, 1955). Este tipo de reproducción no permite la hibridación para producir nuevas combinaciones de genes (Holt, 1985).

Sin embargo, estudios posteriores conducidos por Bray (1978) sugirieron la apomixis facultativa en zacate buffel con base en la presencia de progenie fuera de tipo en plantas de reproducción apomíctica. Este tipo de apomixis fue confirmado posteriormente por Sherwood *et al.* (1980), quienes utilizando la línea 1835 realizaron pruebas de progenie y estudios citológicos. Ellos observaron la presencia de sacos embrionarios sencillos tipo polígono, así como sacos embrionarios apósporos en la misma inflorescencia, incluso, ambos tipos se observaron en el mismo pistilo. Parte de la progenie fuera de tipo presentó el mismo número cromosómico de  $2n=36$  que el progenitor materno, demostrando de esta manera la apomixis facultativa en *Cenchrus ciliaris* L.

Tal vez uno de los descubrimientos más significativos en el mejoramiento de pastos fue el reporte de una planta de zacate buffel que producía progenie variable, siendo esto evidencia de reproducción sexual. A partir de este momento fue posible el mejoramiento genético de zacate buffel utilizando la planta de reproducción sexual como progenitor hembra en cruza con materiales apomícticos (Bashaw, 1962; Bashaw, 1985).

Esto cambió por completo la perspectiva que se tenía de la apomixis, ya que anteriormente se reconocía como un obstáculo al mejoramiento de plantas y actualmente se visualiza 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).

### **¿Qué es la Apomixis?**

La apomixis es un método de reproducción asexual a través de semilla (Nogler, 1984) que conduce a la producción de progenie clonal cuyo fenotipo es idéntico al de la planta madre (Koltunow y Grossniklaus, 2003). Existe en muchas plantas de diferentes familias botánicas, es conocida en más de 40 familias de angiospermas pero prevalece más en las familias Poaceae, Asteraceae y Rosaceae (Noyes y Rieseberg, 2000). Bashaw y Hanna (1990) la reportan en más de 300 especies y 35 familias, este modo de reproducción

ocurre en niveles bajos en algunas especies cultivadas, sin embargo, es común en zacates perennes y se ha reportado en más de 125 especies.

Bashaw y Hanna (1990) mencionan que en la apomixis, el embrión es formado sin la unión de los gametos (huevo y núcleo espermático), por lo tanto las progenies así originadas son idénticas o uniformes al progenitor femenino.

La apomixis es un reemplazo total o parcial del ciclo sexual, por alguna forma de reproducción asexual (Asker, 1979), esto coincide con la definición original propuesta por Winkler que dice: la apomixis es la sustitución de la reproducción sexual por otros procesos reproductivos asexuales que no involucran fusión nuclear o celular (Stebbins, 1941). Esta forma de reproducción implica dos desviaciones de la reproducción sexual: la formación de sacos embrionarios no reducidos y la capacidad de la célula huevo (raramente otra célula) de desarrollarse partenogénicamente para dar lugar al embrión (Asker, 1979).

Nogler (1984) menciona que la apomixis en angiospermas significa reproducción asexual (agámica) por semillas o llamada agamosperma. La contraparte de esta extensa reproducción anormal es la “amphimixis” o reproducción sexual. La apomixis conduce a la descendencia materna (metromorphous) la cual normalmente son copias genéticas de la planta madre.

Los procesos reproductivos son diversos y resultan en la producción de semilla viable, a pesar de omitir los pasos críticos claves para la producción de semilla sexual (Koltunow y Grossniklaus, 2003).

### **Tipos de Apomixis**

Se han reportado varios sistemas de clasificación del modo de reproducción por apomixis, por lo que existen algunas controversias entre ellos. Durante mucho tiempo la clasificación propuesta por Winkler fue considerada la mas completa. Él definió la apomixis en un sentido amplio, dividió la apomixis en reproducción vegetativa o viviparidad que comprende el desarrollo de bulbillos o cualquier clase de propágulos en lugares donde se deben de desarrollar órganos reproductivos y agamospermia, donde falla la reproducción sexual, pero la semilla es formada sin previa fertilización de las células huevo (Asker, 1979; Gustafsson, 1946). Sin embargo, esta definición tan amplia actualmente es poco utilizada (Nogler, 1984). En el Cuadro 1 se presentan las similitudes y diferencias en la clasificación de la apomixis propuesta por varios autores.

Se hará una revisión de la clasificación propuesta por Nogler (1984) que es una de las más reconocidas. Apomixis es sinónimo de agamospermia (este término fue aplicado por Gustafsson, 1946; Stebbins, 1950, citado por Asker, 1979) y cubre fundamentalmente dos diferentes modos de reproducción.



Cuadro 1. Clasificación de reproducción asexual en angiospermas.

Modo de reproducción asexual		Definido como apomixis por			
		Nogler	Rutishauser Asker	Gustafsson Stebbins	
a) <b>Reproducción Vegetativa</b> (estolones, bulbillos etc).		-	-	+	
b) <b>Agamospermia</b> Formación de semilla sin la fertilización de la célula huevo.	<b>Apomixis Gametofítica</b> se forman sacos embrionarios no reducidos.	<b>Diplosporia</b> Células madre de tejido esporógeno produce sacos embrionarios omitiendo la meiosis.	+	+	+
		<b>Aposporia</b> Sacos embrionarios formados de células somáticas.	+	+	+
	<b>Embrionía Nucelar</b> (Embrionía adventicia)	Los embriones son formados directamente de células somáticas.	-	+	+

Fuente: Asker, 1979.

### **Embrionía Adventicia**

El embrión, el nuevo esporofito, se desarrolla directamente de una célula somática del óvulo, generalmente del nucelo (por lo cual es llamada también embrionía nucelar) sin la formación de sacos embrionarios y células huevo. Este tipo es común en especies de *Citrus* y *Orchids* (Asker, 1979).

### **Apomixis Gametofítica**

Se forman sacos embrionarios no reducidos, cuyas células huevo (raramente alguna otra célula) se desarrollan partenogénicamente en un embrión. Fangerlind, sugirió el término agamogonia para nombrar los tipos de apomixis en el que el esporofito hijo se desarrolla en un gametofito diploide. La apomixis gametofítica se divide en diplosporia y aposporia.

### **Diplosporia**

El gametofito femenino o saco embrionario no reducido se origina de una célula del tejido esporógeno (célula arquesporial, célula madre de la megaspora); directamente por mitosis tipo *Antennaria* o indirectamente por meiosis modificada, resultando en un núcleo de restitución no reducido tipo *Taraxacum* o *Ixeris*.

### **Aposporia**

Los sacos embrionarios se originan de células somáticas del óvulo, generalmente del nucelo. Pero también en algunas especies se pueden formar

de las células de los integumentos y la pared del ovario. Es el mecanismo de apomixis más común en los zacates y se presenta en más de 95% de las especies apomícticas (Bashaw y Hanna, 1990).

De acuerdo a la definición de Renner 1916, citado por Nogler (1984), apomeiosis comprende ambos: diplosporia y aposporia.

Para la formación del embrión y endospermo existen dos posibilidades: partenogénesis y pseudogamia.

### **Partenogénesis**

La célula huevo y núcleos polares no requieren la fertilización, ya que en forma autónoma, la primera desarrolla un embrión y los núcleos polares dan lugar al endospermo. Son llamados apomícticos autónomos.

### **Pseudogamia**

Las especies apomícticas no requieren la fertilización (fusión de gametos) sin embargo, los núcleos polares deben ser polinizados para la formación del endospermo y por lo tanto de la semilla, estos son conocidos como apomícticos pseudógamos (Nogler, 1984; Snyder, 1955). Se comprobó que en algunos zacates la pseudogamia puede ser estimulada, incluso por el polen de especies completamente diferentes (Bashaw y Hanna, 1990). La pseudogamia es típica en *Rosaceae*, *Gramineae* y *Compositae*.

La apomeiosis, así como la capacidad de las células huevo no reducidas para desarrollarse asexualmente por partenogénesis, permite el mantenimiento de una alternancia morfológica de generaciones (gametofito/esporofito) pero sin alteración del número cromosómico (sin alteración de fases nucleares) por lo que el gametofito y esporofito tienen el mismo nivel de ploidía (Nogler, 1984).

### **Sacos Embrionarios Apomícticos**

Existen una gran cantidad de sacos embrionarios no reducidos, estos se clasifican de acuerdo a su origen.

#### **Formados por Diplosporia**

La diplosporia, anteriormente llamada aposporia generativa, son aquellos sacos embrionarios que provienen de células generativas (Nogler, 1984). Estos son producidos por al menos tres mecanismos:

#### **Tipo *Antennaria***

Es el saco embrionario más común. La célula madre de la megaspora se diferencia en forma similar al proceso en óvulos, de la planta sexual. Sin embargo, en lugar de sufrir una meiosis, empieza a alargarse y el citoplasma a vacuolarse. La meiosis es omitida y la célula funciona como una megaspora no reducida, el núcleo se divide mitóticamente produciendo un saco embrionario binucleado no reducido, dos mitosis posteriores conducen a la formación de un

saco embrionario octanucleado. Sin embargo, el número adicional de divisiones mitóticas varían para diferentes especies y aun dentro de especies. En zacate llorón se reportaron sacos diplosporos con 4, 6 y 8 núcleos, en zacate africano se observaron sacos embrionarios con cuatro núcleos, en zacate gama los sacos tenían 8 núcleos similares al tipo *polygonum*. Por lo que para distinguir entre sacos diplósporos octanucleados y sacos sexuales derivados meióticamente se deben realizar observaciones cuidadosas en las primeras etapas de desarrollo del óvulo (Burson y Young, 2001; Nogler, 1984).

### **Tipo *Taraxacum***

La célula madre de la megaspora entra en una profase meiótica, pero debido a la asinapsis no hay apareamiento de cromosomas con sus homólogos. Los cromosomas no apareados se mantienen en la placa ecuatorial durante la metafase y no emigran a los polos en la anafase I. Son encerrados por una membrana nuclear por lo que la primera división meiótica resulta en un núcleo de restitución, encerrando el complemento cromosómico somático. La segunda división meiótica, continúa con un número de cromosomas no reducidos y resulta en una diada no reducida en lugar de una tétrada no reducida, generalmente la célula chalazal sufre tres mitosis formando sacos embrionarios octanucleados y la célula micropilar se deteriora.

**Tipo *Ixeris***

Este tipo de saco embrionario no se ha reportado en zacates tropicales apomícticos.

**Formados por Aposporia**

Nombrada aposporia somática en un principio. Los sacos embrionarios no reducidos se desarrollan de células somáticas (células vegetativas). Son reconocidos por el desarrollo y alargamiento de sus núcleos, especialmente el nucleolo. Estas células nucleares alargadas empiezan a dividirse mitóticamente para producir sacos embrionarios con un número variable de núcleos. Son producidos por los siguientes mecanismos.

**Tipo *Hieracium***

Se presenta en muchos zacates templados. La célula nuclear no reducida sufre tres divisiones mitóticas para producir un saco embrionario octanucleado que se organiza similar al tipo *Polygonum*. La polarización y orientación del huso acromático en la primer mitosis son usualmente paralelos al nucelo como en sacos embrionarios reducidos. Las dos divisiones mitóticas subsecuentes producen cuatro núcleos en cada polo del saco y una gran vacuola se desarrolla en el centro. Este tipo bipolar está ampliamente distribuido, pero es raro en Compositae.

### **Tipo *Panicum***

Este tipo de aposporia es más común en zacates tropicales. Ocurren solamente dos divisiones mitóticas, por lo que generalmente se forma un saco embrionario monopolar con cuatro núcleos, se diferencian en la célula huevo, dos sinérgidas y un solo núcleo polar, las antípodas están ausentes. Sin embargo en zacate buffel algunas veces se diferencia una célula huevo, dos núcleos polares y una sinérgida. Ocasionalmente solo se presentan tres núcleos y se diferencian en una célula huevo y dos núcleos polares. Debido a que muchos sacos embrionarios apósporos en zacates tropicales no tienen células antipodales, este es un importante criterio para distinguir citológicamente entre sacos embrionarios apósporos y sacos embrionarios derivados meióticamente. Este tipo fue descubierto en *Panicum maximum* es conocido en *Panicoideae* y *Andropogoneae*. Los géneros que comprenden estos tipos son: *Bothriochloa*, *Dichantium*, *Heteropogon*, *Pennisetum*, *Chloris*, *Hyparrhenia*, *Panicum*, *Paspalum* (Burson y Young, 2001; Nogler, 1984).

### **Clasificación de Apomícticos**

Las especies apomícticas se clasifican de acuerdo al nivel de apomixis expresada: en apomícticos facultativos y apomícticos obligados (Burson y Young, 2001).

### **Apomícticos Facultativos**

Las especies que se reproducen por apomixis y sexualidad son apomícticos facultativos. Estas especies mantienen su habilidad para producir nuevos genotipos a través de reproducción sexual ocasional (Voigt *et al.*, 1977). Aun cuando se dice que la apomixis esta genéticamente controlada, existe evidencia que diferentes estímulos ambientales, principalmente el fotoperíodo, alteran el nivel de apomixis expresada en los apomícticos facultativos (Burson y Young, 2001), incluso pueden propiciar una completa supresión de la sexualidad (Nogler, 1984). Knox y Heslop-Harrison (1963) reportaron en *Dichanthium annulatum*, un zacate apósporo, que fotoperíodos de días cortos continuos promovieron un grado más alto de sacos embrionarios apósporos que condiciones de días largos. Por el contrario en *Eragrostis curvula*, un zacate diplóspero facultativo, la condición de días cortos disminuyó el grado de diplosporia.

Asker (1979) menciona que algunas veces existe competencia entre sacos embrionarios no reducidos, donde la célula se desarrolla partenogenéticamente y sacos embrionarios reducidos, cuyas células huevo son fertilizadas.

### **Apomícticos Obligados**

Las plantas que se reproducen completamente por apomixis son apomícticos obligados (Burson y Young, 2001). Los apomícticos obligados



están completamente aislados unos de otros, sin embargo, el contacto puede ser reiniciado cuando se encuentran formas de sexualidad como el que ocurrió con el descubrimiento de la planta sexual en zacate buffel (Bashaw, 1962), y en zacate llorón, de esta forma nuevos genotipos pueden ser generados y ambos tipos sexuales y apomícticos recuperados (Voigt *et al.*, 1977).

En el mejoramiento de plantas los apomícticos obligados son más deseables por su estabilidad genética, ya que la apomixis facultativa es más difícil de manipular y son necesarios más esfuerzos para cruzar plantas con altos niveles de sexualidad para incrementar la presencia de apomixis. Con los tipos facultativos son necesarias más pruebas de progenie para identificar los mejores apomícticos y evaluar genotipos para estabilidad genética (Hanna y Bashaw, 1987).

### **Indicadores de Apomixis**

Observaciones citológicas son usadas para confirmar la reproducción apomíctica y determinar los mecanismos apomícticos. La presencia de sacos embrionarios múltiples y tetranucleados son indicadores de apomixis (Snyder, 1955; Brown y Emery, 1958). Fisher *et al.* (1954) tomaron como evidencia de la apomixis la similitud morfológica de la progenie y el progenitor, y la presencia de aneuploides.

Taliaferro y Bashaw (1966) utilizaron además del estudio de sacos embrionarios las pruebas de progenie como un mecanismo confiable para determinar la herencia de la apomixis usando progenies híbridas y autofecundadas. Gómez y González (1997) utilizaron estas pruebas para clasificar el modo de reproducción de 108 progenies, obtuvieron una proporción de 1: 9.8 sexual: apomícticos respectivamente. Ellos concluyeron que las pruebas de progenies constituyen una herramienta confiable para determinar el modo de reproducción.

Burson y Young (2001) mencionan que las pruebas de progenie son un método práctico para determinar la apomixis, las progenies uniformes de plantas heterocigotas o polinización cruzada sugieren apomixis, sin embargo, progenies uniformes de plantas autopolinizadas y homocigotas pueden ser clasificadas equivocadamente por lo que la forma mas confiable para determinar la apomixis es combinar los análisis citológicos con pruebas de progenies. Mencionan como herramientas adicionales para identificar la apomixis:

- La presencia de callos en las paredes de las células madre de la megaspóra en especies sexuales, sin embargo, los callos están ausentes en plantas diplosporas.
- Marcadores moleculares ligados a regiones genómicas que controlan la apomixis han sido usados para identificar plantas apomícticas en una población segregante para método de reproducción. En programas

de hibridación, cuando el progenitor paterno en una crucea tiene un marcador genético dominante que no es expresado en la descendencia.

- Meiosis irregular del progenitor materno, número cromosómico aneuploide.
- Nivel de ploidía desbalanceado (3x, 5x, 7x, etc.) mientras el número de cromosomas de su progeie permanece constante y tiene un buen amarre de semillas.
- La presencia de plantas dobles de semillas germinadas, esto debido a que se encuentran sacos embrionarios múltiples en los óvulos de apomícticos apósporos. Sin embargo, las plántulas dobles también pueden desarrollarse de plantas sexuales a causa de la poliembrionía por lo que pueden ser erróneamente clasificados como apomícticos.

### **Ventajas de la Apomixis**

La apomixis permite a los fitomejoradores obtener nuevas variedades en menos tiempo a menor costo. Se puede fijar inmediatamente una característica deseada en una sola planta apomíctica en contraste con las miles de plantas que hay que cultivar y seleccionar durante años cuando se utilizan los métodos de mejoramiento tradicionales (Savidan, 1999).

Hanna y Bashaw (1987) mencionan las siguientes ventajas de la apomixis:

- Permiten el desarrollo de híbridos o genotipos a pesar de la heterocigosidad. La semilla de cualquier apomíctico obligado superior podría ser incrementada a través de polinización abierta para un número ilimitado de generaciones sin pérdida de vigor o cambio en el genotipo.
- La apomixis incrementa la oportunidad de desarrollar combinaciones superiores de genes que proveen un método rápido para la incorporación de tratamientos deseables.
- Nuevos genotipos apomícticos podrían ser rápidamente producidos a través de hibridación de plantas sexuales y apomícticas, ya que las plantas apomícticas usualmente producen gametos masculinos reducidos normales.
- El potencial para una rápida producción de muchos genotipos nuevos mejorados verdaderamente, podría ser una gran fuerza para prevenir la vulnerabilidad genética debido al amplio uso de uno o pocos genotipos superiores.
- La apomixis hace posible la producción comercial de híbridos  $F_1$  en cultivos donde una buena esterilidad masculina citoplásmica, y/o sistemas de restauradores no están disponibles.
- La apomixis simplifica la producción comercial de semillas híbridas ya que el aislamiento no es necesario para producir la  $F_1$ , para mantener e incrementar líneas parentales.

- La contaminación por exogamia es eliminada en estas especies, las mezclas mecánicas son reducidas por el bajo número de líneas utilizadas para incrementar un híbrido. Por lo tanto se reduce el trabajo y disminuye el costo de producción.

### **Papel Potencial de la Apomixis**

El papel potencial que la apomixis tiene para aumentar la producción es considerable y varía de acuerdo a la región. En Asia se ha reportado el uso de la apomixis como una herramienta útil para fijar heterosis en cereales como el arroz. Durante los 20 años pasados, la proporción de la población Asiática afectada por desnutrición declinó de 40 a 19%. Sin embargo, Asia continúa teniendo el mayor número de gente crónicamente desnutrida, “528 millones”. La apomixis en los próximos 20 años será una herramienta eficaz para estos pueblos de Asia y beneficiaran a los campesinos o agricultores para disminuir el costo de producción. África y América Latina también requieren de un gran número de variedades mejoradas de cultivos alimenticios, beneficiándose de semilla híbrida que pueda autoreplicarse a través de apomixis (Toenniessen, 2001).

Por décadas los científicos han tratado de transferir la apomixis a cultivos alimenticios a través de cruza amplias, incluyendo trigo, maíz y mijo perla. Se ha cruzado un tetraploide de maíz ( $2N = 4X = 40$ ) con un tetraploide de

*Tripsacum dactyloides* ( $2N=4X=72$ ) obteniéndose maíz-tripsacum  $F_1S$  y  $BC_1$ , híbridos derivados de  $BC_1$  reproducidos apomícticamente. Las plantas  $BC_1$  combinaron 20 cromosomas de maíz con un set completo (18) cromosomas de *Tripsacum dactyloides* (Savidan, 1999).

La apomixis puede ser transferida a los cultivos básicos; de *Cenchrus ciliaris* a sorgo (Beharathi *et al.*, 1991) y de *Tripsacum dactyloides* a *Zea mays* (Bashaw y Hanna, 1990).

### **Desventajas de la Apomixis**

Una de las desventajas de la apomixis es la inhabilidad para combinar características agronómicas deseables a través de hibridación (Bashaw, 1975). Por ello anteriormente la apomixis había sido considerada como un obstáculo al mejoramiento y un amortiguador a la evolución (Bashaw, 1980a). Darlington citado por Bashaw y Hanna (1990) visualizó la apomixis como “un escape a la esterilidad, pero un escape dentro de un callejón ciego en la evolución”. De acuerdo a esto, la apomixis podría conducir solamente a la extinción de la especie. Sin embargo, con el descubrimiento de plantas sexuales esta panorámica ha cambiado totalmente. El valor de la apomixis como un mecanismo de escape a la esterilidad en cruces interespecíficas e intergenéricas ha sido demostrado en varias especies.

El cruzamiento de plantas con buenas características, no es un proceso sencillo, ya que el uso de una planta de reproducción sexual es indispensable y por lo tanto la manipulación de genes frecuentemente son limitadas para las especies apomícticas (Bashaw y Hignight, 1990).

### **Enfermedades del Zacate Buffel**

Como es propio de las especies de zonas áridas, el zacate buffel durante mucho tiempo se mantuvo relativamente libre del ataque de plagas y enfermedades. Sin embargo, a principios de la década de los noventa se observó por primera vez en cuatro experimentos, en el Campo Experimental de Ocampo, Coahuila, hojas de la variedad Común de zacate buffel, completamente infestadas por una enfermedad. Estas lesiones fueron también observadas en los Campos Experimentales de Matehuala, S.L.P. y Cuencamé, Durango, propiedad de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Gómez, 1994; González, 2002).

El Dr. González Domínguez de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, envió muestras de hojas infestadas al Dr. Oscar Rodríguez a Kennedy Texas y ahí fueron enviadas a varios laboratorios para su análisis y la enfermedad fue identificada posteriormente como tizón foliar del zacate buffel, causado por el hongo *Pyricularia grisea* (Rodríguez *et al.*, 1999).

### **Tizón del Zacate Buffel**

Se sabe que actualmente esta enfermedad está distribuida en todas las áreas buffeleras del mundo donde se encuentra establecida la variedad Común. Bogdan (1997) reportó el tizón como una de las pocas enfermedades serias en zacate buffel que pueden dañar e incluso destruir los cultivos. Perrot y Chakraborty (1999) confirmaron la patogenicidad del hongo sobre las variedades Común, Biloela y Gayndah en Australia. La presencia de la enfermedad también fue reportada en plantas de zacate buffel en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes, Indio Hatuey en Cuba (González, 2002).

González (2002) menciona que una de las causas principales que ha provocado la susceptibilidad del zacate buffel a esta enfermedad es el modo de reproducción apomítico de la especie, que ha desarrollado una gran uniformidad en la especie, por otro lado, la existencia de enormes superficies con una sola variedad durante más de 40 años, creó una situación de gran vulnerabilidad genética para el zacate buffel. Estas condiciones fueron detonantes para el desarrollo de la enfermedad con los severos resultados que tenemos actualmente. Únicamente se conjuntaron la presencia de condiciones climáticas favorables para la infección y la capacidad del hongo para atacar al cultivo. En el área de zacate buffel del sur de Texas y noreste de México era solo cuestión de tiempo que ocurriera una epifiticia de proporciones mayores como las que ocurrieran en 1996, 1997 y 1998 (González, 2002; Rodríguez *et al.*, 1999).



### **Variabilidad Genética del Zacate Buffel**

Común es una variedad liberada informalmente por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos de América durante 1949, con el número de identificación T-4464 (Holt, 1985). Debido a sus buenas características agronómicas, Común se empezó a distribuir rápidamente, de tal forma que actualmente esta variedad ocupa el 99% de la superficie sembrada con zacate buffel (Ocumpaugh y Rodríguez, 1998).

Debido al modo de reproducción apomítico del zacate buffel la variedad Común fue obtenida por selección de ecotipos. Desde la liberación de este material muy pocas variedades han sido desarrolladas y las que se han obtenido no han podido competir con Común, por lo que se espera que la superficie ocupada con zacate buffel se siga incrementando con una sola variedad (González, 2002). Esto representa un serio peligro para la ganadería del norte de México, ya que se sabe que una base genética reducida en un cultivo ampliamente utilizado representa una amenaza, ya que a mayor uniformidad genética de los cultivos, mayor es la vulnerabilidad de los mismos, cuando se presentan condiciones adecuadas para el desarrollo de plagas y/o enfermedades (Committee on Genetic Vulnerability of Major Crops, 1972; González, 2002; Ocumpaugh y Rodríguez, 1998). Una vez que el patógeno se ha tornado virulento es capaz de atacar a toda una población completa debido a la homogeneidad de las plantas que las torna totalmente susceptibles. Esto ha ocurrido con zacate buffel Común que actualmente presenta una epidemia de

tizón foliar causado por el hongo ascomyceto heterotálico *Magnaporthe grisea* (*Pyricularia grisea*) (Ocumpauhg y Rodríguez, 1998; Rodríguez *et al.*, 1999).

Gómez (1994) menciona el reducido número de programas de mejoramiento genético de especies forrajeras y la apomixis presente en las especies forrajeras que impide el cruzamiento entre materiales, como las razones principales que han contribuido a la falta de variedades y por lo tanto a la estrecha variabilidad del zacate buffel.

### **Variabilidad Genética de *Pyricularia grisea***

Técnicas moleculares arrojaron hasta un 15% de variabilidad en este patógeno. Esto indica que el hongo está generando nuevas razas fisiológicas, las cuales tienen la capacidad de atacar a otras especies, ampliando de esta forma el rango de hospederas del hongo (Rodríguez, 1998). Es así como a finales de los ochentas el zacate buffel se convirtió en una nueva hospedera de *Pyricularia grisea* aun cuando la enfermedad fue observada a principios de los noventas en México y reportada en 1999 (Rodríguez *et al.*, 1999; González, 2002).

### **Control**

Debido a que el uso de fungicidas para controlar el tizón en zacate buffel no se considera una medida rentable en praderas de temporal, se recomienda

el desarrollo de variedades resistentes como la única respuesta práctica para controlar enfermedades fungosas en pastos (Bogdan, 1997; González, 2002).

González (2002) menciona que el Programa de Pastos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ha incluido como un criterio más de selección la resistencia genética a este patógeno en el desarrollo de nuevas variedades de zacate buffel.

### **Dificultades para el Mejoramiento Genético de Especies Forrajeras**

El mejorador de especies forrajeras se enfrenta a una serie de dificultades mayores, que en los cultivos anuales. Holt y Bashaw (1976), mencionan que el mejoramiento de zacates confrontan problemas que van desde limitaciones físicas hasta procesos reproductivos complejos como la apomixis.

Poehlman, 1959; Johnson, 1966 y Burton, 1973 citados por González (1982) mencionan algunas dificultades que se presentan en el mejoramiento genético de especies forrajeras.

1. La mayoría de las especies forrajeras son perennes, esto retarda el proceso de su mejoramiento, ya que para evaluar cada generación se requieren varios años.

2. La mayoría de las especies forrajeras son alógamas, lo cual es un problema para la formación y mantenimiento de líneas.
3. Presentan un alto grado de autoesterilidad, lo que impide la autofecundación y complican sus estudios genéticos.
4. Muchas especies forrajeras son poliploides esto dificulta su estudio genético y citogenético, ya que la herencia de poliploides es más complicada.
5. La apomixis limita la variabilidad genética a la que existe en forma natural y dificulta estudios genéticos y citogenéticos.
6. Los órganos florales son pequeños, esto dificulta la manipulación en la emasculación y polinización.
7. Algunas especies forrajeras producen muy poca semilla y de baja viabilidad. Así mismo presentan períodos largos de latencia.
8. Las semillas de algunas especies forrajeras presentan barbas y apéndices, esto dificulta su manejo en la siembra y cosecha.
9. Es necesario el establecimiento de viveros para trasplante, lo que aumenta los costos de producción y reduce el tamaño de las poblaciones.
10. La evaluación de plantas se realiza en plantas individuales espaciadas o surcos, esto puede desvirtuar su comportamiento en poblaciones más densas establecidas al voleo.

11. El comportamiento de las plantas en forma individual puede ser muy diferente cuando se utiliza en mezclas con otras variedades o especies, lo cual es común en especies forrajeras.
12. Los materiales seleccionados pueden responder en forma diferente a distinto sistema de pastoreo.

Sin embargo, con las herramientas que existen actualmente, algunas de estas desventajas se han convertido en ventajas como lo es la apomixis, ya que como se mencionó anteriormente, es una característica tan importante que trata de ser incorporada a cultivos de mayor importancia económica.

### **Mejoramiento Genético de Especies Forrajeras**

González (1982) menciona que para que cualquier programa de mejoramiento tenga éxito, es necesario que exista variabilidad genética en la especie a mejorar. La forma de reproducción de una especie determina en gran medida los métodos de mejoramiento a utilizar, así como el estado de evolución y desarrollo de la especie como planta cultivada. Afortunadamente, las especies forrajeras tienen relativamente una historia corta de selección dirigida, por lo que tienen una amplia base genética.

Burson y Young (2001) mencionan que es necesario conocer métodos de polinización, fertilidad, número cromosómico, métodos de reproducción y comportamiento floral, de las especies a mejorar.

### **Métodos de Polinización**

Es importante conocer si una especie es autógama o de polinización cruzada para seleccionar el método de mejoramiento adecuado. La mayoría de los zacates tropicales son de polinización cruzada, aunque existen excepciones. El zacate buffel es protogíneo, o sea que los estigmas están receptivos uno o más días antes de la exposición de las anteras. Esto permite a los estigmas ser polinizados por plantas adyacentes y asegurar la polinización cruzada.

### **Autoincompatibilidad y Esterilidad Masculina**

Estos fenómenos pueden ser utilizados en programas de hibridación, ya que también son formas de prevenir la autofecundación.

### **Método de Reproducción**

Es importante conocer y entender el modo de reproducción de las especies antes que se inicie un programa de mejoramiento. Esto es de suma importancia en zacates tropicales por la apomixis prevalente en muchos géneros.

### **Citogenética**

Debido a la diversidad genética de los zacates tropicales, el número de cromosomas varía ampliamente en muchos géneros tropicales. La poliploidia es común en muchos zacates tropicales. Los poliploides tienen una meiosis irregular y produce gametos sin el complemento cromosómico, esto reduce la

viabilidad del polen y causa esterilidad, ya que además del número cromosómico es importante conocer el comportamiento meiótico de los cromosomas y la viabilidad del polen.

### **Comportamiento Floral**

Es importante la respuesta al fotoperíodo de una especie, cuando es necesaria la sincronización de la floración para cruzar plantas o especies diferentes.

## **Métodos de Mejoramiento Genético**

### **Selección de Ecotipos**

La selección de ecotipos se basa en la colección de semilla o material vegetativo del mayor número posible de ecotipos y su evaluación en ensayos comparativos, los materiales más sobresalientes con base en características agronómicas deseables son multiplicados directamente como variedades comerciales (González, 1982).

En Gran Bretaña los primeros mejoradores de plantas forrajeras lograron un rápido mejoramiento en especies apomícticas a través del descubrimiento y explotación de ecotipos (Breese y Hayward, 1972). La introducción de plantas ha sido en el pasado la forma principal en que las especies forrajeras han sido mejoradas (Mangelsdorf, 1927).

La selección de ecotipos fue el método de mejoramiento utilizado en el Programa de Pastos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, donde se liberaron las primeras variedades Mexicanas de zacate banderilla (*Bouteloua curtipendula*), Chihuahua-75 y AN Selección-75 (González, 1982).

Bashaw (1976) menciona que durante mucho tiempo el mejoramiento del zacate buffel estuvo supeditado a la selección de ecotipos debido a la apomixis obligada presente en la especie. Esto en cierta forma impidió durante muchos años la combinación de características deseables como es un mayor rendimiento de forraje y semilla en un solo material (Bashaw, 1962).

La selección por medio de ecotipos puede conducir al rápido desarrollo y liberación de variedades; en el zacate buffel, líneas apomícticas naturales han sido seleccionadas y liberadas después de años de evaluación: ejemplo de ello es Común, que es la variedad más utilizada de zacate buffel (Bashaw, 1976), Biloela y Molopo en Australia (Ayerza, 1981), Zaragoza-115 en México (Osuna, 1986).

### **Selección Masal**

Este método presenta varias ventajas, especialmente en las primeras fases de un programa de selección, es el método más sencillo y económico. Es un método de mejoramiento efectivo para características de alta heredabilidad como fecha de madurez y tipo de planta. Las desventajas de este método en



especies de polinización cruzada, es que la selección se basa sobre el fenotipo de los individuos, por lo tanto esta se restringe a  $\frac{1}{2}$  de la herencia total, ya que no se tiene control sobre el progenitor masculino y segundo, el avance en el mejoramiento es lento para caracteres cuantitativos (González, 1982). Este método ha sido efectivo para seleccionar para tipo de planta en poblaciones de *Bouteloua curtipendula* (Harlan, 1950, citado por González, 1982).

### **Selección Recurrente**

Es un método efectivo para incrementar la frecuencia de genes favorables en una población variable al seleccionar y recombinar generación tras generación las plantas que llevan los genes deseables. El éxito depende de que se presenten las siguientes situaciones: que la población original tenga los genes deseables, la efectividad de la selección y el número de ciclos de selección (González, 1982).

Hay dos tipos de selección recurrente; cuando la selección se basa en el fenotipo del individuo, el método se le denomina selección recurrente fenotípica; si los individuos se seleccionan con base al comportamiento de su progenie, el método es llamado selección recurrente genotípica (González, 1982). Voigt (1969) citado por González (1982) obtuvo un 35% más de establecimiento en zacate banderilla, después de tres ciclos de selección recurrente fenotípica para vigor de plántula. Sin embargo, aunque la selección recurrente, no ha sido considerada en especies apomícticas, esta podría ser útil para incrementar

genes deseables en características cuantitativamente heredables (Voigt *et al.*, 1977).

### **Variedades Sintéticas**

Es un procedimiento que se utiliza comúnmente en el mejoramiento de plantas forrajeras. Son producidas por el cruzamiento de dos o más fuentes de germoplasma que poseen cierta característica deseable en común (González, 1982). Las variedades sintéticas pueden formarse por la combinación de varias líneas o de plantas individuales. Estas pueden ser de dos tipos:

#### **Variedades Multilineales**

Se puede obtener una variedad sintética de una especie forrajera mediante la mezcla de semillas de dos o más líneas individuales. La variedad sintética se multiplica por polinización libre. Generalmente hay una determinada característica que es común en todas las líneas que se mezclan, como resistencia a enfermedades o al invierno (Poehlman, 1965).

#### **Variedades de Plantas Múltiples**

La variedad forrajera puede también ser obtenida mediante la combinación de plantas individuales. Se seleccionan plantas con características sobresalientes, se cruzan y la progenie se somete a pruebas por varios procedimientos para determinar su aptitud combinatoria (Poehlman, 1965).

## Mejoramiento de Zacates Apomícticos

El primer modelo para desarrollar líneas mejoradas de zacate buffel aprovechando el modo de reproducción sexual de TAM CRD B-1s fue propuesto por Taliaferro y Bashaw (1966). Ellos propusieron dos vías de mejoramiento de zacate buffel: una es por autofecundación y la otra es por hibridación (Figura 1).

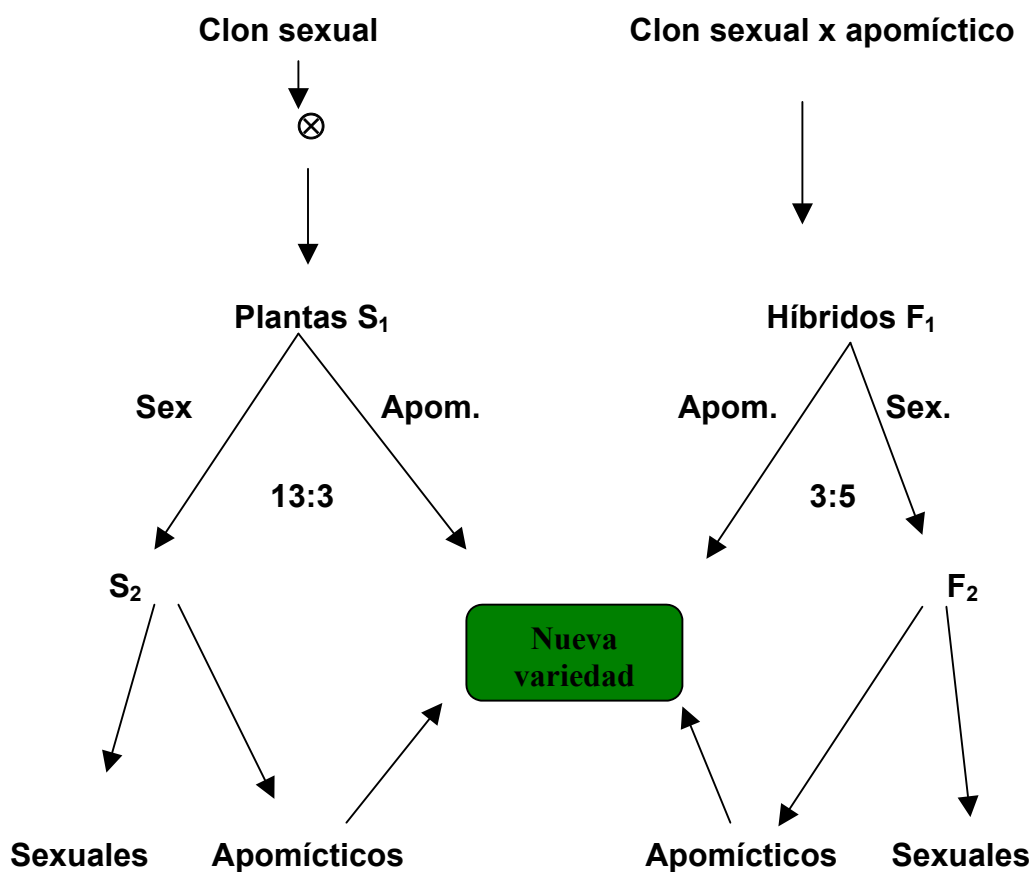


Figura 1. Métodos para desarrollar nuevas variedades apomícticas de zacate buffel (Taliaferro y Bashaw, 1966).

### **Autofecundación**

Como se observa en la Figura 1 la planta de reproducción sexual se autofecunda y segrega una proporción de sexuales a apomícticos de 13:3. Esto es debido que las especies apomícticas son altamente heterocigotas por lo que al ser rota la barrera de la apomixis liberan una tremenda variabilidad debido al aislamiento al que han sido sometidas por años a causa de la apomixis. Se realiza una prueba de progenie para determinar el modo de reproducción de las plantas. Las plantas sexuales son autofecundadas nuevamente y las plantas de reproducción apomíctica después de una serie de evaluaciones pueden ser liberadas como una nueva variedad.

### **Hibridación**

Consiste en la cruce del clon sexual con materiales apomícticos. Las mejores plantas sexuales pueden ser utilizadas como fuente de germoplasma para cruzarse con plantas apomícticas, mientras las progenies de reproducción apomíctica pueden ser liberadas como variedades potenciales después de una serie de evaluaciones. Como se observa en la Figura 1 la proporción esperada de sexuales a apomícticos es de 5:3. De esto se desprende que el esquema de hibridación es el más conveniente, ya que los híbridos no solamente proporcionan nuevas combinaciones de genes sino que se incrementa sustancialmente la proporción de progenies apomícticas comparadas con el esquema de autofecundación.

La hibridación en especies apomícticas es relativamente nueva (Bashaw y Hanna, 1990), esto fue posible gracias a el descubrimiento de una planta de reproducción sexual que al cruzarla con apomícticos obligados permitió la combinación de características deseables. La heterosis exhibida en la  $F_1$  puede ser mantenida por generaciones infinitas, lo que no es posible en especies sexuales. De esta forma se desarrollaron los primeros híbridos de zacate buffel Nueces y Llano resultado de la cruce del clon sexual (B-1s) con machos apomícticos (Bashaw, 1980b). Posteriormente en México se liberó el híbrido H-17 resultado de la cruce del Clon Sexual B-1s con Zaragoza-115 (González y Gómez, 2000).

La apomixis obligada anteriormente era considerada un obstáculo para el mejoramiento de plantas, ahora se convierte en una herramienta eficaz que fija el genotipo, y permite el mantenimiento de caracteres deseables a pesar de la heterocigosis. Con la planta sexual se hace más factible la manipulación de germoplasma, la cual no estaba disponible al genetista y al mejorador de plantas a causa de la apomixis obligada (Taliaferro y Bashaw, 1966).

De acuerdo con lo anterior Hatch y Hussey (1991) mencionan que la hibridación de plantas sexuales con tipos apomícticos continúa siendo la técnica o el método más eficaz para mejorar el zacate buffel en México y regiones tropicales del mundo.

## **Hibridación en México**

En el Programa de Pastos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro se ha utilizado el esquema de hibridaciones utilizando el clon sexual (TAM CRD-B1s) como hembra y varios materiales apomícticos como macho. Gómez (1994) y González *et al.* (2001) describieron el proceso utilizado para desarrollar el primer híbrido mexicano de zacate buffel H-17, que presenta una mayor producción de forraje, resistencia al tizón del zacate buffel y puede ser utilizado en localidades más al norte, donde el buffel Común no prospera debido a las bajas temperaturas.

## **Fertilización de Huevos no Reducidos**

Otro mecanismo de hibridación que puede ser utilizado para mejorar especies apomícticas, es la fertilización de huevos no reducidos, este fenómeno se presenta en la naturaleza en especies apomícticas obligadas, con un incremento en el número cromosómico. Debido a lo anterior fueron llamados híbridos BIII, término sugerido por Rutishauser (1948) para designar híbridos  $2N + N$  y BII para híbridos regulares  $N + N$ . Aun cuando este fenómeno ocurre en baja frecuencia, ofrece la oportunidad única para cruzar plantas apomícticas obligadas, incrementando la variabilidad en estas especies, ya que permite la incorporación de genomios extraños completos mientras se retiene el

complemento cromosómico somático entero del progenitor femenino apomítico (Bashaw y Hignight, 1990).

Bashaw y Hignight, (1990) determinaron el potencial para transferencia de genes, utilizando como progenitor hembra un apomítico pentaploide con un genómio extraño ( $2N=5X=45$ ) cruzado con *Cenchrus setigerus* un apomítico tetraploide ( $2N=4X=36$ ). Ellos obtuvieron de una progenie de 950, 1.3 por ciento de híbridos BIII, los cuales tuvieron un complemento cromosómico de  $24=7X=63$  cromosomas. Todos los individuos fueron apomíticos obligados y se originaron de la unión de gametos  $2N+N$ , ya que se confirmó en la progenie la presencia de un genómio extraño del progenitor femenino y las características morfológicas del progenitor macho.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Sitio Experimental**

La presente investigación se desarrolló en el Campo Experimental de Zaragoza, Coahuila de la Unidad Norte perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. El Campo se encuentra ubicado a 12 km de la ciudad de Zaragoza, Coahuila, localizada entre las coordenadas geográficas de 100° 55' de longitud Oeste y 28° 33' de latitud Norte y una altitud de 350 msnm.

### **Clima**

La región presenta la fórmula climática Bso hx'(e) (según la clasificación climática de Köppen, modificada por García, 1987); lo que significa que se trata de un clima seco, semicálido, extremoso, con lluvias intermedias entre el verano e invierno; presenta una precipitación invernal arriba de 10%. La temperatura media anual es de 22 a 24°C y la precipitación con un rango de 300 a 400 mm con un régimen de lluvias durante los meses de abril a noviembre y escasas en el resto del año. Los vientos prevaecientes tienen dirección noreste con velocidad promedio de 15 km/hr, la frecuencia anual de heladas es de 0 a 2 días y granizadas de 1 a 2 días. Durante el período de



evaluación del mes de mayo a noviembre del 2003 la precipitación total fue de 431.3 mm con una temperatura promedio de 25.2°C (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Temperatura promedio y precipitación durante el período de evaluación. Zaragoza, Coahuila. 2003.**

<b>MES</b>	<b>Temperatura °c</b>	<b>Precipitación mm</b>
<b>Mayo</b>	28.5	19.6
<b>Junio</b>	28.7	110.8
<b>Julio</b>	27.5	39.8
<b>Agosto</b>	26.8	15.8
<b>Septiembre</b>	25.0	123.6
<b>Octubre</b>	20.9	93.9
<b>Noviembre</b>	19.5	27.8
	<b>Promedio: 25.2</b>	<b>Total: 431.3</b>

Fuente: Departamento de Agrometeorología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

### **Material Genético**

Se evaluaron 50 familias  $F_3$  provenientes de la cruce del clon sexual TAM CRD B-1s (tetraploide) x Común II (macho apomíctico hexaploide) y cinco variedades comerciales como testigo: Común, Común II, H-17, Nueces y Formidable.

Se evaluaron 23 familias  $F_4$  producto de las cruzas del clon sexual tetraploide (TAM CRD B-1s) con tres machos apomícticos tetraploides:

<b>Progenitor Femenino</b>		<b>Progenitor Masculino</b>
B-1s	x	Común
B-1s	x	Zaragoza –115
B-1s	x	H-17

Para el caso de los híbridos producto de una cruce de B-1s con H-17 se trata de una retrocruza ( $BC_1$ ), ya que el H-17 proviene de la cruce del B-1s con Z-115. Se incluyeron en las evaluaciones, seis variedades comerciales como testigo: Común, Común II, H-17, Zaragoza-115, Nueces y Formidable.

### **Común**

Es la variedad más utilizada en Estados Unidos y México. Es un apomíctico obligado de  $4X= 36$  cromosomas (Gómez, 1994). Produce abundante follaje y se comporta bien en suelos livianos hasta semipesados. Es clasificada de altura mediana (1m), el color del follaje es verde claro, con inflorescencias púrpuras y reúne las características de buena producción de forraje y semilla, es muy resistente a la sequía (Ayerza, 1981). En la última década se ha tornado tremendamente susceptible al tizón de la hoja causado por el hongo Pyricularia grisea (Gómez, 1994; González, 2002; Rodríguez, et al., 1999).

### **Zaragoza-115**

Es un apomítico obligado tetraploide de  $4X= 36$  cromosomas (Gómez, 1994) fue liberada por el Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias de Coahuila del INIFAP. Mide 1.55 m de altura, las plantas de esta variedad son de color verde cenizo y las inflorescencias de color crema. La producción de forraje bajo temporal es de buena calidad nutricional superior al buffel Común (Osuna, 1986).

### **Común II**

En una población de Común completamente infestada por *Pyricularia grisea* fue encontrada una planta sana, libre de la enfermedad por el Dr. González Domínguez, esta planta fue propagada vegetativamente y se le nombró experimentalmente Común II. Las plantas son morfológicamente similares a Común en cuanto al color del follaje y de la espiga, sin embargo, citológicamente son diferentes, ya que se trata de un material hexaploide de 54 cromosomas (Ramírez *et al.*, 1998). Esta evidencia hace suponer que este material fue derivado de la fertilización de un huevo no reducido con 36 cromosomas por un gameto masculino normal con 18 cromosomas (González, 1998). La producción de híbridos BIII producto de la fertilización de un huevo no reducido con el subsecuente aumento en el nivel ploidía se ha reportado (Bashaw y Hignight, 1990). El rendimiento de forraje de Común II es superior a la variedad Común, además que se encuentra libre de la enfermedad del tizón foliar (González *et al.*, 2000).

### **AN – 17– PS**

Comercialmente conocido como H-17, es un híbrido apomítico generado en el Programa de Pastos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro producto de la cruce del clon sexual TAM CRD B-1s por Zaragoza-115, un material apomítico utilizado como macho. El híbrido H-17 es rizomatoso, son plantas de color verde más oscuro que las de Común, vigorosas y de altura de 1.30 a 1.40 m, las espigas son de color púrpura de 12 cm de largo. Es un material que ha demostrado ser resistente al tizón foliar del zacate buffel causado por el hongo *Pyricularia grisea*, tiene mayor tolerancia a heladas que Común, además es un buen productor de forraje y semilla (González y Gómez, 2000).

### **Nueces**

Es un híbrido apomítico F<sub>1</sub> producto de una cruce del clon sexual TAM CRD B-1s con una planta apomítica de buffel azul. Es clasificado como una variedad alta aproximadamente de 1.5 m, posee follaje de color azul verdoso, con una inflorescencia marrón oscura, es 30% más larga que la de Llano. Es una planta rizomatosa por lo que presenta mas tolerancia a las heladas que Común y Higgins (Ayerza, 1981; Bashaw, 1980b). Reportado como hipersensible y susceptible al tizón causado por *Pyricularia grisea* (Ocumpaugh y Rodríguez, 1998).

## **Formidable**

Este material fue encontrado como una variante en una población de la variedad Biloela en Cuba (Comunicación personal del Ing. Célido Matías).

### **Siembra en Invernadero**

La siembra de las semillas para la producción de plantas  $F_3$  y  $F_4$  se realizó del día 8 al 10 de abril del 2003 en los invernaderos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Las semillas se sembraron en charolas de nieve seca de 200 cavidades, se utilizó el producto comercial promix como sustrato. En las familias  $F_3$  se sembraron 2 hileras (20 cavidades) de cada material dejando una hilera libre. Se realizaron sorteos para la secuencia de la siembra en las charolas que correspondería a la distribución de los materiales en el campo de las 50 familias. El 3 de mayo se realizó el aclareo dejando una sola planta por cavidad. Para el caso de las familias  $F_4$  se siguió la misma metodología, la preparación de las semillas y los sorteos de las 23 familias seleccionadas se realizaron con anterioridad de tal manera que se facilitara el transplante en el campo. A las charolas se les proporcionó la atención adecuada para su desarrollo hasta que la plántula alcanzó una altura adecuada para el transplante (12-15 cm).

## Transplante

El transplante de los materiales en el campo se realizó el día 19 de Junio del 2003 manualmente. Las familias  $F_3$  se establecieron en seis franjas a través de cinco melgas con dos parcelas por melga de manera que en cada franja se pusieron 10 familias hasta la franja cinco, en la franja seis se ocuparon solamente dos melgas (cuatro parcelas).

Se establecieron las 50 familias  $F_3$  y las variedades: Común II, H-17, Nueces, y Formidable en parcelas de 3 surcos con 10 plantas por surco. El surco central ocupado por una familia  $F_3$  y los dos surcos orilleros de cada parcela fue de la variedad Común, para que sirviera de infestación del tizón del zacate buffel y para comparar cada familia o variedad comercial directamente con Común que fue el testigo. Se dejó un surco libre entre parcelas con una distancia de 0.90 m entre surcos y 0.50 m entre plantas con una repetición. De esta forma las progenies así como el resto de las variedades comerciales tuvieron competencia completa y Común se mantuvo sin competencia.

Se establecieron 23 familias  $F_4$  y las variedades comerciales: Común II, H-17, Nueces, Zaragoza-115 y Formidable con dos repeticiones, en la repetición I se transplantó una familia por surco con 10 plantas y dos surcos orilleros con la variedad Común para que el surco central tuviera competencia completa, con una distancia entre surcos de 0.90 m y 0.50 m entre plantas. Por

falta de planta, en la segunda repetición se transplantaron únicamente 18 progenies  $F_4$  con una familia por surco y no se transplantaron surcos orilleros.

Los experimentos se condujeron bajo condiciones de temporal, no se le aplicó ningún riego durante el año, únicamente se aplicó un litro de agua a cada planta al momento del transplante.

### **Toma de Datos**

#### **Establecimiento**

El 4 de septiembre del 2003 se tomaron los datos del número de plantas que persistieron durante los meses de evaluación en los lotes de las familias  $F_3$  y  $F_4$ .

#### **Datos Cualitativos**

Se realizaron evaluaciones visuales de las progenies  $F_3$  el día 4 de septiembre del 2003 y para las familias  $F_4$  el día 4 de octubre de 2003, sobre el modo de reproducción de las progenies en base a uniformidad o desuniformidad de las mismas, color del follaje, vigor de la planta, producción de espiga y reacción al tizón foliar del zacate buffel.

### **Materia Seca**

Se realizó un corte de forraje el 4 de diciembre del 2003 en ambas familias, se consideró como materia seca debido a que a la fecha del corte la planta estaba completamente seca. Se cortaron las 10 plantas de la parcela útil en cada una de las familias  $F_3$  y  $F_4$  ocupando una superficie de  $4.0 \text{ m}^2$  y se cortó el forraje de 10 parcelas de los dos surcos orilleros utilizados como testigo (Común) en las progenies  $F_3$  (un total de 20 muestras) y 11 parcelas testigos de Común en las familias  $F_4$  (un total de 22 muestras).

El diseño experimental para las familias  $F_4$  fue un bloques completamente al azar con 24 tratamientos y dos repeticiones.

### **Análisis Estadístico**

En las familias  $F_3$  por la naturaleza de los datos, se analizaron por estadística univariada obteniendo la media, desviación estándar, varianza, así como los valores máximos y mínimos de las progenies y de las variedades comerciales.

En las familias  $F_4$ , se analizaron de dos formas: Para la primera repetición se utilizó estadística univariada obteniendo la media, desviación estándar y el coeficiente de variación de las progenies y testigo (28 tratamientos). Los datos obtenidos de la I y II repetición fueron sometidos al



análisis de varianza y se utilizó la prueba DMS para la comparación de medias al  $\alpha = 0.05$ .

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Familias F<sub>3</sub>**

#### **Establecimiento de Familias F<sub>3</sub>**

El establecimiento en las 50 familias F<sub>3</sub>, así como en las cuatro variedades comerciales y la variedad Común que se estableció en los surcos orilleros de cada parcela fue de 100%. No hubo fallas en el transplante, a pesar de que el experimento se condujo bajo condiciones de temporal.

#### **Rendimiento de Materia Seca**

En el Cuadro 3 se observa que los rendimientos de materia seca del corte realizado el 4 de diciembre de 2003 en las familias F<sub>3</sub>, oscilaron de 3,555 a 12,111 kg/ha con una media de 7,300 y una desviación estándar de 1,739 kg/ha. La media del testigo buffel Común fue de 7,305 kg/ha y la desviación estándar de 540 kg/ha, con un rango en el rendimiento de 6,722 a 8,278 kg/ha.

La media de las cuatro variedades comerciales: H-17, Común II, Nueces, y Formidable fue de 8,055 kg/ha con una desviación estándar de 1,609 kg/ha. El rango en el rendimiento fue de 7,000 a 10,444 kg/ha con una diferencia entre el valor mínimo y máximo de 3,444 kg/ha.

**Cuadro 3. Rendimiento promedio de materia seca (kg/ha) de 50 familias F<sub>3</sub> y cinco variedades comerciales de zacate buffel. Zaragoza, Coahuila. 2003.**

Híbridos y/o Variedades	Parcelas Evaluadas	Materia seca (kg/ha)			
		Media	Desviación Estándar	Rango	
				Mínimo	Máximo
<b>Progenies F<sub>3</sub></b>	50	7,300	1,739	3,555	12,111
<b>Común</b>	20	7,305	540	6,722	8,278
<b>Variedades Comerciales</b>	4	8,055	1,609	7,000	10,444

Las variedades comerciales superaron en 10.2% el rendimiento de materia seca de la variedad Común, aun cuando esta se estableció a los dos lados de cada progenie y con un surco libre entre parcelas, condiciones que favorecieron su desarrollo, ya que estas plantas no tuvieron competencia completa. La media del rendimiento de materia seca de Común fue la misma que la de las progenies F<sub>3</sub>.

En el Cuadro 3 se observa un amplio rango en el rendimiento de materia seca de las progenies F<sub>3</sub>, con una diferencia de 8,556 kg/ha entre el valor mínimo y máximo, lo que nos indica que en estas familias existe la variabilidad suficiente para seleccionar materiales que tengan buenas características como nuevas variedades. El rango de rendimiento de las progenies F<sub>3</sub> fue más amplio que el de la variedad Común (1,556 kg/ha). Esto es de esperarse ya que aunque el rendimiento de esta variedad se obtuvo de 10 parcelas (dos muestras

de cada parcela), se trata del mismo genotipo, que además por su modo de reproducción apomíctico es altamente uniforme y por lo tanto es de esperarse que las diferencias obtenidas entre parcelas se deban principalmente a factores ambientales, mientras que las diferencias en rendimiento en las progenies  $F_3$  y las variedades comerciales involucra tanto variabilidad genética como ambiental. Estas mismas diferencias entre valores mínimos y máximos fueron observadas por Gómez (1994) en 98 progenies  $F_2$  apomícticas (8,541 kg/ha), 10 progenies sexuales (7,615 kg/ha) y 12 parcelas de Común con un rango de 1,218 kg/ha.

En un estudio realizado por Briones (1991) en Ocampo, Coahuila en el que incluyó siete materiales de lugares altos y tres variedades comerciales como testigo reportó un rendimiento de forraje seco de 9,100 kg/ha para la variedad Común. Sin embargo, Gómez (1994) en esa misma localidad reportó un rendimiento de materia seca de 2,803 kg/ha para esta variedad promedio de 12 parcelas. Ella atribuyó este bajo rendimiento al estrés al que estuvieron sometidas las plantas por efecto del daño causado por el tizón de la hoja producido por el hongo *Pyricularia grisea*, ya que en ese año se detectó por primera vez la enfermedad en las parcelas de Común.

De las variedades comerciales el híbrido H-17 fue el que obtuvo el rendimiento más alto con 10,444 kg/ha ocupando el 4º lugar, las progenies 33, 43 y 41 superaron este rendimiento ocupando el 1º, 2º, 3º lugar con 12,111, 11,222 y 10,888 kg/ha respectivamente (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Rendimiento de materia seca (kg/ha) de 50 familias F<sub>3</sub> y cinco variedades comerciales de zacate buffel. Zaragoza, Coahuila. 2003.**

Híbrido y/o Variedad	Materia seca	
	Kg/parcela	kg/hectárea
33	5.450	12,111
43	5.050	11,222
41	4.900	10,888
<b>H-17</b>	4.700	10,444
14	4.450	9,888
45	4.350	9,666
31	4.350	9,666
5	4.350	9,666
15	4.050	9,000
42	4.000	8,888
24	4.000	8,888
7	3.900	8,666
21	3.750	8,333
16	3.600	8,000
47	3.550	7,888
18	3.550	7,888
36	3.550	7,888
50	3.550	7,888
9	3.550	7,888
17	3.500	7,777
<b>Nueces</b>	3.400	7,555
29	3.400	7,555
2	3.400	7,555
34	3.400	7,555
40	3.300	7,333
<b>Común</b>	3.288	7,305
<b>Formidable</b>	3.250	7,222
37	3.200	7,111

Cuadro 4. Continuación .....

Híbrido y/o Variedad	Materia seca	
	kg/parcela	kg/hectárea
22	3.150	7,000
<b>Común II</b>	3.150	7,000
1	3.100	6,888
35	3.100	6,888
23	3.050	6,777
48	3.000	6,666
11	3.000	6,666
27	2.900	6,444
8	2.850	6,333
46	2.800	6,222
30	2.800	6,222
39	2.800	6,222
3	2.800	6,222
32	2.800	6,222
4	2.800	6,222
26	2.750	6,111
44	2.750	6,111
10	2.700	6,000
20	2.700	6,000
6	2.600	5,777
25	2.550	5,666
12	2.400	5,333
19	2.400	5,333
28	2.400	5,333
38	2.200	4,888
13	2.100	4,666
49	1.600	3,555

Veinte materiales superaron el rendimiento de Nueces que obtuvo un valor de 7,555 kg/ha, este valor fue igual al de tres progenies. Común, Formidable y Común II ocuparon los lugares 26, 27, y 30 con 7,305, 7,222 y 7,000 kg/ha respectivamente. Común y Formidable fueron superados en rendimiento de materia seca por 25 materiales y Común II por 29 materiales.

El testigo H-17 superó el rendimiento de materia seca de 47 progenies y de las cuatro variedades testigo incluidas. Las plantas de Común se establecieron en una situación que favoreció su desarrollo, ya que esta variedad se transplantó en los surcos orilleros de cada parcela y por lo tanto las plantas de Común no tuvieron competencia de luz, agua y nutrientes. Caso contrario, las plantas de las progenies  $F_3$  y las variedades comerciales tuvieron competencia completa ya que estaban rodeadas por las plantas de Común, por las razones expuestas en materiales y métodos.

El híbrido H-17 superó los rendimientos de Nueces, Común, Formidable y Común II en un 38.23, 42.97, 44.61 y 49.2 por ciento respectivamente. El rendimiento promedio de las 50 progenies  $F_3$  fue superado por H-17 en un 43%.

El rendimiento de materia seca de H-17 en esta investigación fue de 10,444 kg/ha el cual coincide con los rendimientos reportados por Carbajal (1996) quien realizó una investigación con 23 híbridos de zacate buffel en

Ocampo, Coahuila, reportó un rendimiento de materia seca para H-17 de 8,487 kg/ha y con los resultados de Pérez (1998) en Zaragoza, Coahuila quien reportó un rendimiento de 9,767 kg/ha de materia seca, para este híbrido.

En un estudio realizado por Vázquez (2000) para evaluar el efecto del nitrógeno sobre el rendimiento de la variedad Común II de zacate buffel en esta misma localidad, él reportó rendimientos de forraje seco de 4,430, 5,230, 7,055 y 7,800 kg/ha para 0, 40, 80 y 120 kg N/ha respectivamente, concluyó que la aplicación de fertilizante nitrogenado incrementa el rendimiento de materia seca.

Los rendimientos obtenidos por las progenies son aceptables aun cuando, el experimento se condujo bajo condiciones de temporal. Sin embargo, el mes de junio, fecha del transplante, la precipitación en la región en ese mes fue de 110 mm, lo que nos indica que las plantas tuvieron la humedad suficiente para desarrollar su sistema radicular primario y secundario. Este último es el sistema radicular permanente en las gramíneas y se desarrolla de 6 a 10 semanas después del establecimiento, por lo que si en este tiempo no existen las condiciones adecuadas de humedad las plantas pueden morir. La precipitación total durante el desarrollo de las plantas fue de 431.3 mm (Cuadro 2).



### **Evaluación Cualitativa**

En la evaluación visual realizada el 4 de septiembre del 2003, se confirmó que todas las progenies  $F_3$  fueron uniformes dentro de familias, lo que nos indicó que estas familias son de reproducción apomíctica. El objetivo de la presente investigación fue evaluar híbridos  $F_3$  para seleccionar los mejores como variedades potenciales, por ello en la generación  $F_2$  se seleccionaron los mejores materiales y que además fueran de reproducción apomíctica ya que se ha comprobado que estos son mas vigorosos que las progenies sexuales. Así mismo se ha reportado que estos sufren una severa depresión endogámica (Gómez, 1994; Bashaw y Hanna, 1990). En las progenies  $F_2$  se seleccionaron estas 50 progenies por su modo de reproducción apomíctico y durante la generación  $F_3$  se mantuvo este modo de reproducción en las familias, se seleccionaron además por su resistencia al tizón del zacate buffel (*Pyricularia grisea*) y por su producción de semilla y forraje.

El rendimiento de semilla de las progenies se evaluó indirectamente por medio de una evaluación visual de producción de espigas, ya que se ha considerado por varios autores el número de espigas por planta o por unidad de superficie, como el componente más importante del rendimiento de semilla (González y Gaytan, 1992; Gómez y González, 1992). Veintiséis familias  $F_3$  presentaron una buena producción de espigas que corresponde a 48% de los materiales evaluados, el tamaño de las mismas fue variable: cortas, medianas y largas. Esta es una característica importante que no puede pasarse por alto en

la selección de nuevos materiales, ya que el éxito de una especie forrajera depende en gran parte de una buena producción y calidad de semillas (González y Gómez, 1992; Martínez, 1999). Excelentes variedades de buffel como Llano y Nueces han sido un fracaso por su pobre producción de semillas.

El color de la espiga de la mayoría de las progenies fue de color púrpura oscura a excepción de seis materiales que mostraron espigas de color crema. Esto es de esperarse ya que el progenitor macho de estas progenies es Común el cuyo color de espiga es púrpura. Por otro lado el color de la espiga varía con el grado de madurez de la espiga. El color de follaje fue verde brillante parecido a Común, y un solo material fue del tipo buffel azul y otro intermedio entre el buffel azul y Común.

### **Susceptibilidad al Tizón del Zacate Buffel**

Para que se presente una enfermedad son necesarias tres condiciones: la presencia del inóculo, de un genotipo susceptible y las condiciones ambientales que permita el desarrollo del patógeno (Agrios, 2001). Para que se desarrolle el hongo que causa el tizón del zacate buffel son necesarias condiciones de altas temperaturas y alta humedad relativa.

El tizón del zacate buffel estuvo presente en todas las plantas del testigo Común, desde el mes de agosto, cuando las plantas tenían apenas dos meses de establecimiento. Las plantas se mostraron totalmente infestadas, sin

embargo, las familias  $F_3$  estaban libres de la enfermedad. En el mes de octubre las condiciones ambientales fueron las ideales para la manifestación y desarrollo del tizón, ya que a la fecha se habían acumulado 403.5 mm de precipitación (Cuadro 2). Las condiciones excepcionales de humedad para esta región presentes durante el año 2003 propiciaron rasgos de susceptibilidad e hipersensibilidad al tizón en todos los materiales, con excepción de dos progenies  $F_3$ , ya que durante las evaluaciones realizadas en las progenies  $F_1$  y  $F_2$  durante 2001 y 2002 respectivamente, las plantas del testigo Común se mostraron totalmente susceptibles al hongo, mientras que todas las progenies fueron resistentes.

## **Familias $F_4$**

### **Establecimiento de Familias $F_4$**

El establecimiento en la primera repetición de las 23 familias  $F_4$  así como las variedades comerciales y la variedad Común fueron de 100%, no hubo fallas en el transplante a pesar que el experimento se condujo bajo condiciones de temporal. En la segunda repetición se transplantaron únicamente 18 progenies, ya que no hubo planta suficiente para transplantar todas las familias  $F_4$  y aun dentro de cada familia el número de plantas no fue el mismo, sin embargo se estableció el 100% de las plantas transplantadas.

## Rendimiento de Materia Seca

### Análisis Univariado

El análisis de las 23 familias F<sub>4</sub> de la I repetición se presenta en el Cuadro 5. Los rendimientos de materia seca del corte realizado el 4 de diciembre de 2003 de las familias F<sub>4</sub> fueron de 4,333 hasta 12,222 kg/ha con una media de 9,016 y una desviación estándar de 2,259 kg/ha, con una diferencia entre el valor mínimo y máximo de 7,889 kg/ha.

**Cuadro 5. Rendimiento promedio de materia seca (kg/ha) en 23 familias F<sub>4</sub> y seis variedades comerciales de zacate buffel. Zaragoza, Coahuila. 2003.**

Híbrido y/o Variedad	Parcelas Evaluadas	Materia seca (kg/ha)			
		Media	Desviación Estándar	Rango	
				Mínimo	Máximo
<b>Progenies F<sub>4</sub></b>	23	9,016	2,259	4,333	12,222
<b>Común</b>	22	7000	855	5,222	8,444
<b>Variedades Comerciales</b>	5	8,711	1,811	6,666	10,777

La media del testigo buffel Común fue de 7,000 kg/ha y la desviación estándar de 855 kg/ha con un rango en el rendimiento de 5,222 a 8,444 kg/ha. Estos datos fueron muy similares a los obtenidos con la variedad Común en el experimento de familias F<sub>3</sub>.

La media de las cinco variedades comerciales fue de 8,711 kg/ha con una desviación estándar de 1,811kg/ha, el rango de rendimiento fue de 6,666 a 10,777 kg/ha. Las progenies superaron al testigo Común en un 28.8% y al promedio de las variedades comerciales con solo 3.5%.

El rango en el rendimiento de las progenies  $F_4$  fue más amplio que la variedad Común, aunque el rendimiento de esta variedad se obtuvo de 24 muestras, se trata del mismo genotipo y por lo tanto las diferencias detectadas se deben principalmente a factores ambientales, mientras que las diferencias observadas en las progenies  $F_4$  y variedades comerciales involucran tanto variabilidad genética como ambiental.

Las progenies 12, 21 y 7 ocuparon el 1°, 2° y 3° lugar con 12,222 12,000 y 11,888 kg/ha respectivamente. Las progenies con los valores más bajos son la 9, 19 y 16 ocupando el 27°, 28° y 29° lugar con 6,355 5,333 y 4,333 kg/ha respectivamente (Cuadro 6).

En cuanto a las variedades comerciales la variedad Z-115 fue la que obtuvo el rendimiento más alto con 10,777 kg/ha ocupando el noveno lugar seguida por H-17, Nueces, Común II, Común y Formidable que obtuvieron 10,333, 8,666, 7,111, 6,866 y 6,800 kg/ha ocupando el 12°, 14°, 22°, 23° y 24° lugar respectivamente.

**Cuadro 6. Rendimiento de materia seca (kg/ha) de 23 familias F<sub>4</sub> y seis variedades comerciales de zacate buffel. Zaragoza, Coahuila. 2003.**

<b>Híbridos y/o Variedades</b>	<b>Materia seca kg/ha</b>
12	12,222
21	12,000
7	11,888
24	11,333
5	10,977
27	10,977
25	10,777
11	10,777
<b>Z-115</b>	10,777
26	10,444
17	10,333
<b>H-17</b>	10,333
18	9,377
<b>Nueces</b>	8,666
13	8,666
1	8,666
14	8,555
15	8,244
4	8,155
8	7,533
2	7,333
<b>Común II</b>	7,111
<b>Común</b>	6,866
<b>Formidable</b>	6,800
23	6,666
28	6,422
9	6,355
19	5,333
16	4,333

El rendimiento de Z-115 fue superado por ocho progenies  $F_4$  y 10 progenies  $F_4$  superaron al rendimiento de H-17.

El rendimiento promedio de las 23 progenies  $F_4$  fue superado por Z-115 y H-17 en un 19 y 14.6% respectivamente.

En el Cuadro 6 se observa un amplio rango en el rendimiento de materia seca de las progenies  $F_4$  lo que al igual que en las  $F_3$  nos indica que en estas progenies existe la variabilidad suficiente para seleccionar materiales que tengan potencial como nuevas variedades.

#### **Análisis de Varianza de Familias $F_4$**

El análisis de varianza para 18 familias  $F_4$  y seis variedades comerciales detectó diferencias altamente significativas entre bloques y entre tratamientos (Cuadro 7), significa que los genotipos evaluados tuvieron diferente comportamiento en la producción de materia seca. Estas diferencias eran de esperarse debido a que los apomícticos son altamente heterocigotos y liberan una gran variabilidad cuando la barrera de la apomixis es rota (Bashaw, 1975).

**Cuadro 7. Análisis de varianza de rendimiento de materia seca de 18 familias F<sub>4</sub> y seis variedades comerciales de zacate buffel. Zaragoza, Coahuila. 2003.**

F.V.	GL	SC	CM	FC	F $\alpha$	
					0.05	0.01
<b>Tratam.</b>	23	0.6353	0.0276	5.24**	2.01	2.62
<b>Bloques</b>	1	0.0912	0.0912	17.31**	4.28	7.88
<b>Error Exp.</b>	23	0.1212	0.0052			
<b>Total</b>	47	0.8479				

**C.V. = 16 %**

En el Cuadro 8 se presenta la comparación de medias obtenidas con las progenies F<sub>4</sub> y los testigos. El grupo superior estuvo formado por las progenies 24, 25, 21, 7, H-17, y Z-115 con 14,922, 14,555, 13,688, 12,666, 12,388, 11,777 kg/ha respectivamente los cuales tuvieron un rendimiento superior a las 11 toneladas.

El ultimo lugar lo obtuvo la progenie 16 con 4,722 kg/ha la cual fue estadísticamente igual a Común II, Común, Formidable y la progenie 19 que ocuparon el 20°, 21°, 22° y 23° lugar con 7,777, 6,899, 6,877 y 6,488 kg/ha respectivamente. Nueces ocupó el 12° lugar con 9,944 kg/ha. Las variedades H-17, Z-115 y Nueces son iguales estadísticamente entre sí, pero diferentes a Común II, Común y Formidable que a la vez fueron iguales entre sí.



**Cuadro 8. Rendimiento de materia seca (kg/ha) de 18 familias F<sub>4</sub> y seis variedades comerciales de zacate buffel. Zaragoza, Coahuila. 2003.**

<b>Híbridos y/o Variedades</b>	<b>Materia seca kg/ha</b>	
24	14,922	a
25	14,555	a
21	13,688	a b
7	12,666	a b c
<b>H-17</b>	12,388	a b c
<b>Z-115</b>	11,777	a b c d
26	11,111	b c d e
11	10,944	b c d e
5	10,544	b c d e
13	10,333	c d e
18	10,244	c d e
<b>Nueces</b>	9,944	c d e f
17	9,422	c d e f g
1	8,922	d e f g
23	8,677	d e f g
4	8,522	d e f g
28	8,155	e f g
14	8,111	e f g
2	8,111	e f g
<b>Común II</b>	7,777	e f g H
<b>Común</b>	6,899	f g H
<b>Formidable</b>	6,877	f g H
19	6,488	g H
16	4,722	H

1. Valores con diferentes literales son estadísticamente diferentes (DMS  $\alpha= 0.05$ )

El híbrido H-17 superó el rendimiento de materia seca de las variedades Z-115, Nueces, Común II, Común y Formidable en un 5.11, 24.57, 59.29, 79.56, y 80 % respectivamente.

En la evaluación de las familias F<sub>3</sub>, el híbrido H-17 quedó en cuarto lugar mientras que en este experimento (Familias F<sub>4</sub>) ocupó el quinto lugar numéricamente, sin embargo el rendimiento fue mayor en este experimento que en familias F<sub>3</sub>. Así mismo, el rendimiento de materia seca fue superior al reportado por Carbajal (1996) con un rendimiento de 8,487 kg/ha en Ocampo, Coahuila y por Pérez (1998) con una producción de 9,767 kg/ha en esta misma localidad.

Briones (1991) reportó a la variedad Z-115 en primer lugar en producción de materia seca con un rendimiento de 12,880 kg/ha, mientras que en esta evaluación produjo 11,777 kg/ha quedando en el sexto lugar, pero superó a lo reportado por Gómez (1994) que obtuvo una producción de 9,124 kg/ha y Carbajal (1996) con un rendimiento de 7,450 kg/ha, ambos experimentos fueron llevados a cabo en Ocampo, Coahuila.

### **Evaluación Cualitativa**

En la evaluación visual para el modo de reproducción realizada el 4 de octubre del 2003 se observó que el 56% de las familias fueron uniformes, las familias restantes mostraron algún tipo de diferencia dentro de familias. Estas

familias fueron seleccionadas en la  $F_2$  por su uniformidad, además de otras características agronómicas deseables. Sin embargo, en esta generación se observaron diferencias dentro de familias, debido tal vez a que la apomixis presente en estos materiales es facultativa. Se ha reportado que la apomixis esta controlada genéticamente, sin embargo, las condiciones ambientales principalmente el fotoperíodo y la temperatura, alteran el nivel de apomixis en los facultativos, por lo tanto influyen en el desarrollo de sacos embrionarios sexuales o apósporos (Burson y Young, 2001). El 21% de las familias mostraron follaje de color verde claro similares a Común. Algunas familias produjeron espigas de color púrpura y otras de color intermedio entre púrpura y crema

### **Susceptibilidad al Tizón del Zacate Buffel**

Las enfermedades de las plantas se presentan cuando existen las condiciones adecuadas para su desarrollo. En este caso la temperatura y la humedad relativa fueron factores importantes para que se presentara el tizón del zacate buffel. Desde el mes de agosto el tizón estuvo presente en las plantas de Común mostrándose completamente infestadas las cuales sirvieron como fuente de inóculo en las progenies de las familias  $F_4$ . En esa fecha se observó una completa sanidad de las progenies y las variedades comerciales. Observaciones realizadas posteriormente, el 4 de octubre del 2003, detectaron que en la mayoría de las familias  $F_4$  estaba presente el tizón con diferentes

grados de susceptibilidad e hipersensibilidad, únicamente tres familias  $F_4$  se mostraron completamente resistentes.

## CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos y los objetivos planteados se llegó a las conclusiones siguientes:

- Las progenies  $F_3$  se formaron por reproducción apomíctica de las plantas  $F_2$  correspondientes, en todos los casos.
- Entre las familias  $F_3$  existen algunas con alto rendimiento que pueden ser seleccionadas como materiales potenciales por su producción de materia seca.
- Bajo las condiciones ambientales del otoño de 2003, las familias  $F_3$  no mostraron niveles adecuados de resistencia al tizón.
- El 56% de las progenies  $F_4$  mostraron ser de reproducción apomíctica.
- Entre las progenies  $F_4$  hay suficiente variabilidad genética para producción de forraje, por lo que la selección para esta característica podría ser eficiente.
- Al menos tres progenies  $F_4$  mostraron niveles aceptables para producción de forraje y resistencia al tizón.

## LITERATURA CITADA

- Agrios, G.N. 2001. Fitopatología. 2<sup>da</sup> edición. Editorial Limusa, S. A. de C.V. Grupo Noriega Editores. México, D.F. 838 p.
- Asker, S. 1979. Progress in apomixis research. *Hereditas* 9:231-240.
- Ayerza R., H. 1981. El Buffel Grass: Utilidad y manejo de una promisoría gramínea. Editorial Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires, Argentina. 139 p.
- Bashaw, E. C. 1962. Apomixis and sexuality in buffelgrass. *Crop Sci.* 2:412-415.
- Bashaw, E. C. 1975. Problems and possibilities of apomixis in the improvement of tropical forage grasses. In: E.C. Doll and G.O. Mott, (eds.). *Tropical forage in livestock production systems*. Am. Soc. Agron. Special pub. No. 24. pp. 23-30.
- Bashaw, E. C. 1976. Buffelgrass. In: E. C. Holt and R. D. Lewis (eds.). *Grasses and legumes in Texas: Development, production and utilization*. The Texas Agric. Exp. Stat. Texas A&M Univ. College Station.
- Bashaw, E. C. 1980a. Apomixis and its application in crop improvement. In: Fehr W. R. and H. I. Hadley (eds.) *Hybridization of crop plants*. Am. Soc. Agron. Press, Madison, Wis. pp. 45-63.
- Bashaw, E. C. 1980b. Registration of Nueces and Llano buffelgrass. *Crop Sci.* 2:112.
- Bashaw, E. C. 1985. Buffelgrass origins. In: E.C.A. Runge and J.L. Schuster (eds). *Buffelgrass: 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 W. W. Hanna. 1990. Apomictic reproduction. In: G. P. Chapman (ed.) *Reproductive versatility in the grasses*. Cambridge University Press. Chapter 5. pp. 100-130.

- Bashaw, E. C. and K. W. Hignight. 1990. Gene transfer in apomictic buffel grass through fertilization of an unreduced egg. *Crop Sci.* 30:571-575.
- Beharathi, M.; U. R. Murty., KBRS Visarda and A. Annapurna, 1991. Possibility of transferring obligate apomixis from *Cenchrus ciliaris* L. to *Sorghum bicolor* L. Moench. Y. Savidan, Ch. F. Crane (eds.). *Apomixis Newsletter* 3:13-14.
- 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.
- Breese, E. L. and M. D. Hayward. 1972. The genetic basis of present breeding methods in forage crops. *Euphytica* 21:324-336.
- Briones R., M. A. 1991. Características de producción de semilla de 10 materiales de zacate buffel *Cenchrus ciliaris* L. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. 57 p.
- Brown, W. V. and W. H. Emery. 1958. Apomixis in the gramineae: Panicoideae. *Amer. J. Bot.* 45:253-263.
- Burson, B. L. and B. A. Young. 2001. Breeding and improvement of tropical grasses. In: A. Sotomayor-Rios. and W. D. Pitman (eds.) *Tropical Forage Plants: Development and Use*. Ed. CRC. Boca Raton. Washington, D.C. Chapter 5. pp. 59-79.
- Cantú B., J. E. 1989. 150 Gramíneas del norte de México. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coah. 116 p.
- Carbajal C., J. A. 1996. Evaluación de híbridos apomícticos de zacate buffel en la región desértica de Ocampo, Coahuila. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. 78 p.
- Cavaye, J. M. 1988. Buffel grass basics. *Queensland Agri. Journal* 13: 69-72.
- Committee on Genetic Vulnerability of Major Crops. 1972. Genetic vulnerability of major crops. National Academy of Sciences. Washington, D.C.
- 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 Koppen. 4<sup>ta</sup> edición. México, D.F. 217 p.
- Gómez M., S. 1994. Autofecundación e hibridación en un clon sexual del zacate apomítico *Cenchrus ciliaris* L. Tesis Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 110 p.
- Gómez M., S. y J. R. González D. 1992. Rendimiento y componentes del rendimiento de semillas de líneas y variedades de zacate buffel. Memoria XIV Congreso Nacional de Fitogenética. SOMEFI. 4-9 octubre. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. p 468.
- Gómez M., S. y J. R. González D. 1997. Modo de reproducción y potencial forrajero de híbridos del zacate buffel. Agraria 13:22-33. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. México.
- González D., J. R. 1982. Perspectivas y plan para el mejoramiento genético de las gramíneas forrajeras de la zona árida y semiárida de México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, saltillo, Coah. México. 18 p.
- González D., J. R. 1998. Generación de nuevos cultivares en gramíneas forrajeras apomíticas. Memorias Primer Simposium Internacional de Semillas Forrajeras. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 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 A. Gaytan M. 1992. Fertilización, rendimiento, pureza y calidad de semilla de dos variedades de zacate banderilla. Revista Fitotecnia Mexicana 15:159-168.
- González D., J. R. y S. Gómez M. 1992. Semilla pura y sus componentes en zacate buffel *Cenchrus ciliaris* L. Memoria XIV Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. 4-9 octubre. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. p. 467.



- 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, Coah. México. pp. 19-24.
- 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 *Pennisetum ciliare*. Memoria. XVIII Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. 15-20 octubre. 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. 2<sup>nd</sup> International Apomixis Conference. Como, Italy. p. 60.
- Gustafsson, A. 1946. Apomixis in higher plants. Part I. The mechanism of apomixis. Lunds Univ. Arsskr. N. F. 42: 1-66.
- 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. and D. Johnson. 1991. Establecimiento y manejo de praderas de zacate buffel común en el Sur de Texas y México. Séptimo Congreso Nacional SOMMAP. Simposium Internacional Aprovechamiento Integral del Zacate Buffel. 20-23 de agosto. Cd. Victoria, Tamps. México. pp. 54-59.
- Hatch, S. L. y M. A. Hussey. 1991. Origen, taxonomía y oportunidades de mejora genética de zacate buffel y especies afines. Séptimo Congreso Nacional. SOMMAP. Simposium Internacional Aprovechamiento Integral del Zacate Buffel. 20-23 Agosto. Cd. Victoria, Tamaulipas, México. pp. 3-13.
- Hignight, K. W., E.C. Bashaw and M.A. Hussey. 1991. Cytological and morphological diversity of native apomictic buffelgrass, *Pennisetum ciliare* L. Bot. Gaz. 152 (2):214-218.
- Holt, E. C. 1985. Buffelgrass-A brief history. In: E.C.A. Runge and J.L. Schuster (eds). Buffelgrass: 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.

- Holt, E. C. and E.C. Bashaw. 1976. Developing improved grasses and legumes. In: Holt, E. C. and R.D. Lewis (eds) grasses and legumes in Texas: development, production and utilization. Texas Agri. Exp. Stat Texas A&M Univ. College Station, Texas. Research Monograph G. pp 7-9.
- Humphreys, L. R. 1967. Buffelgrass (*Cenchrus ciliaris*) in Australia. Trop. Grassland 1:123-134.
- 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. México. pp. 14-28.
- Ibarra-F, F., J. R. Cox., M. Martín-R., T. A. Crowl and C. A. Call. 1995. Predicting buffelgrass survival across a geographical and enviromental gradient. Journal of Range Management 48:53-59.
- Knox, R. B. and Heslop-Harrison, J. 1963. Experimental control of aposporous apomixis in a grass of the Andropogoneae. Bot. Notiser 116:127-141.
- Koltunow, A.M. and U. Grossniklaus. 2003. Apomixis: A developmental perspective. Annu. Rev. Plant Biol. 54:547-574.
- Lahiri, A. N., S. Kathju and K. A. Shankarnarayan. 1982. Comparative performance of *Cenchrus ciliaris* pastures raised from large and small seeds. Seed Sci. & Technol. 10: 207-215.
- Mangelsdorf, P. C. 1927. Progress and possibilities in forage crop improvement. Jour. Amer. Soc. Agron. 19: 239-251.
- Martínez R., J. M. 1999. Mejoramiento genético de gramíneas forrajeras. Memorias de la XXXV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria Yucatán 1999. 19-22 octubre. Mérida, Yucatán. pp. 53-59.
- Moreno M., E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. 3<sup>era</sup> edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. 393 p.
- Nogler, G. A. 1984. Gametophytic apomixis. In: B.M. Johri (ed.) Embryology of angiosperms. Ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. pp. 475-518.
- Noyes, D. R. and L. H. Rieseberg, 2000. Two independent loci control agamospermy (apomixis) in the triploid flowering plant *Erigeron annuus*. Genetic 155:379-390.

- Ocuppaugh, W. and O. Rodríguez. 1998. Pasture forage production: Intergration of improved pasture species into South Texas livestock production systems. Proceedings, management of grazinglands in Northern México and South of Texas. Workshop. Texas A&M International University. Laredo, Texas. pp. 49-60.
- Osuna R., O. M. 1986. Buffel Zaragoza-115 para el norte de Coahuila. CAEZAR-CIAN-INIFAP-SARH. Desplegable CAEZAR 1.
- Paull, C. J. and G. R. Lee. 1978. Buffel grass in Queensland. Queensland Agric. Journal 104:57-75.
- Pérez P., L. 1998. Caracterización de híbridos apomícticos de zacate buffel *Cenchrus ciliaris* L. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 69 p.
- Perrot, R. F. and S. Chakraborty. 1999. *Pyricularia grisea* causes blight of buffelgrass *Cenchrus ciliaris* L. in Queensland, Australia. Tropical Grassland 33:201-206.
- Poehlman, J. M. 1965. Mejoramiento genético de las cosechas. 1<sup>era</sup> edición. Editorial Limusa. México. 453 p.
- 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. Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. Universidad Autónoma de Guerrero. Acapulco, Guerrero, México. p. 397.
- Read, J. C. and E. C. Bashaw. 1969. Cytotaxonomic relationships and the role of apomixis in speciation in buffelgrass and birdwoodgrass. Crop Sci. 9:805-806.
- Robles S., R., O. Eichelmann B. y O. Alvarado A. 1990. Cultivo de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). In: R. Robles S. (ed.) Producción de granos y forrajes. Editorial Limusa. Quinta edición. México. pp 443-455.
- Rodríguez, O. 1998. Breeding for cold tolerance and disease resistance on buffelgrass. In: Proc. American Forage and Grassland Council. pp. 144-147.
- Rodríguez, O., J. González-Domínguez, J.P. Krausz, 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 Dis. 83:398.

- Saldívar F., A. 1990. Genética de gramíneas y sus efectos a corto plazo en la productividad. IV Conferencia Internacional de Ganadería Tropical. Cd. Victoria, Tamps. México. pp. 5-7.
- 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., México. pp. 60-66.
- Savidan, Y. H. 1999. Proyecto de apomixis. Transferencia de apomixis del *Tripsacum dactiloides* al maíz. CIMMYT-IRD.  
<http://www.cimmyt.org/ABC/Researchproject/Apomixis/Apomixisbroch/apomixisbroch-spa.htm>
- Sherwood, R.T., B.A. Young and E.C. Bashaw. 1980. Facultative apomixis in buffelgrass. *Crop Sci.* 20:375-379.
- Snyder, L. A., A. R. Hernández and H. E. Warmke. 1955. The mechanism of apomixis in *Pennisetum ciliare*. *Bot. Gaz.* 116: 209-221.
- Stebbins, G. L. 1941. Apomixis in the Angiosperms. *Bot. Rev.* 7:507-542.
- Taliaferro, C. M. and E. C. Bashaw, 1966. Inheritance and control of obligate apomixis in breeding buffelgrass, *Pennisetum ciliare*. *Crop Sci.* 6:473-476.
- Toenniessen, G. H. 2001. Feeding the world in the 21<sup>st</sup> century: Plant breeding biotechnology and the potential role of apomixis. In: Y. Savidan, J.G. Carman and T. Drasselhaus (eds.) The flowering of apomixis: From mechanisms to genetic engineering. México D.F. CIMMYT, IRD, European Commision Dg VI (Fair). Chapter I. pp 1-7.
- Vázquez M., Casto. 2000. Efecto del nitrógeno y fósforo sobre el rendimiento de semilla y sus componentes en zacate buffel. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coahuila, México. 94 p.
- Voigt, P. W., B. L. Burson, and M. C. Engelke. 1977. Breeding apomictic grasses. *Proc. 34<sup>th</sup> South, Past. Forage Crop Imp. Conf.* 104-112.
- Whiteman P. C.; L. R. Humphreys and V.H. Monteith. 1974. *Cenchrus ciliaris* L. (Buffelgrass). A. Course Manual in Tropical Pastures Science. pp 306-312.