

Manual para la producción del Híbrido Sorgo Ganadero en Zamorano, Honduras

Ever Magdiel Argueta Avelar

HONDURAS

Diciembre, 2002

ZAMORANO
CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Manual para la producción del Híbrido Sorgo Ganadero en Zamorano, Honduras

Proyecto especial como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura.

Presentado por

Ever Magdiel Argueta Avelar

Honduras
Diciembre, 2002

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor

Ever Magdiel Argueta Avelar

Honduras
Diciembre, 2002

**Manual para la producción del Híbrido Sorgo Ganadero en
Zamorano, Honduras**

presentado por

Ever Magdiel Argueta Avelar

Aprobada:

David Moreira M.A.E.
Asesor Principal

Jorge Iván Restrepo, M.B.A
Coordinador Carrera de Ciencia
y Producción Agropecuaria

Oscar Díaz M.A.E.
Asesor

Antonio Flores, Ph. D.
Decano

Alfredo Rueda, Ph. D.
Coordinador de Área Temática

Mario Contreras, Ph. D.
Director

DEDICATORIA

A Dios Todopoderosos por darme fuerza y voluntad hasta el ultimo momento, además por haberme permitido alcanzar esta meta, por su gran amor y porque nunca se aparto de mí.

A mis padres José Trinidad Argueta y Juana Avelar, por todo su apoyo y por ser los mejores ejemplos a tomar.

A mis hermanos Xiomara, Belquis, Gerson, Cledis, Jairo, Junior y Denilson, porque siempre fueron mi gran apoyo, y por confiar plenamente en mí.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso.

A mis padres José Trinidad Argueta y Juana Avelar.

A mis hermanos por darme todo su apoyo.

Al Ing. David Moreira por su dedicación y apoyo.

Al Ing. Oscar Díaz por su dedicación y apoyo.

A mis colegas y amigos los ingenieros Hugo, José R., Rony, Yury, Ever Cruz, Luciano, Victoria, Frank, Melvin, Agustín, Kenny, Norberto, por estar siempre conmigo en los buenos y malos momentos.

Al personal de la Zamoempresa de Cultivos Extensivos.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

Agradezco a la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG), por haber contribuido económicamente en mi estadía en Zamorano.

Al programa “Food for Progress”.

A la Asociación Sueca para el Desarrollo Internacional (ASDI).

RESUMEN

Argueta Avelar, Ever. 2002. Manual para la producción del Híbrido Sorgo Ganadero en Zamorano, Honduras. Proyecto especial del programa de Ingeniero Agrónomo con el grado de Licenciatura. Zamorano, Honduras. 43 p.

El sorgo, *Sorghum bicolor* (L.), es el quinto cultivo de importancia entre los cereales del mundo. Una de las mejoras hechas en el cultivo es la hibridación (para aprovechar el alto vigor híbrido), que comenzó comercialmente mediante la utilización de la Esterilidad Masculina Genética (EMG) y Citoplásmica (EMC), descubiertas en 1937 y 1950, respectivamente. La importancia de la elaboración de este manual de producción de híbridos está en que sirve como una guía a seguir por los responsables de la producción de las líneas parentales y del Híbrido Sorgo Ganadero. El objetivo fue describir, de acuerdo a una revisión de literatura, el proceso de producción en el campo para obtener y mantener las líneas parentales del Híbrido Sorgo Ganadero en Zamorano. Según la información recopilada el proceso para la producción del híbrido es el siguiente: a) Producción de la semilla genética de las líneas parentales ATx623, BTx623 y RTx2784, donde en la siembra se usa semilla genética almacenada (panoja por sobre) en condiciones óptimas, se siembra una panoja por surco y se utilizan lotes aislados por espacio o por tiempo, para las líneas A y B se siembran en surcos apareados en el mismo lote. b) Producción de semilla básica de las líneas parentales; en este caso se usa un grupo de semilla genética de cada línea (A, B, y R), las líneas A y B se siembra en surcos apareados igual que en la producción de semilla genética, ya que la línea B funciona como polinizador de la línea A, la cual es masculina estéril, se protegen con bolsas de polinización para evitar contaminación, en algunos casos se pueden utilizar lotes aislados en espacio o tiempo con el mismo objetivo. c) Producción del Híbrido Sorgo Ganadero, se usa semilla básica de la línea ATx623 y RTx2784 la cual es el progenitor masculino (restaurador de la fertilidad en el híbrido resultante), se siembran en una proporción de seis surcos A y tres surcos R o 12 surcos A y seis surcos R. Para asegurar la pureza varietal de las líneas parentales y del híbrido se debe supervisar los lotes antes y durante la floración y antes de la cosecha de la semilla genética, básica y la semilla híbrida. Los factores a tomar en cuenta en la inspección son las distancias de aislamiento, presencia de plantas atípicas y malezas nocivas.

Palabras clave: Aislamiento, esterilidad masculina, línea, semilla básica, *Sorghum bicolor*, vigor híbrido.

Dr. Abelino Pitty

NOTA DE PRENSA

Se elabora el manual para la producción del Híbrido Sorgo Ganadero en Zamorano, Honduras.

La hibridación es una de las formas en que se ha mejorado considerablemente la productividad del cultivo del sorgo, ésta ha sido utilizada comercialmente desde la década de los 50.

El Híbrido Sorgo Ganadero se puede utilizar para pasto de corte, pastoreo y para la producción de ensilaje en la alimentación de ganado vacuno y es el resultado del cruce de la línea ATx623 (hembra) y la línea RTx2784 (macho). Este híbrido era producido por el programa INTSORMIL (Programa internacional del Sorgo y Mijo), el cual funcionó hasta 1999, por lo que ante la ausencia de este programa, se necesitaba la elaboración de un manual que indicase todo el proceso que conlleva su producción.

Mediante la recopilación de información en literatura y de la experiencia de personas que estuvieron relacionadas a la producción del Híbrido Sorgo Ganadero, se elaboró en Zamorano en el periodo comprendido de julio a octubre, el manual para su producción y para el mantenimiento de las líneas que se utilizan como padres en el cruzamiento para obtener el híbrido.

El manual indica que los pasos a seguir para la obtención del Híbrido Sorgo Ganadero son: a) Mantenimiento de la semilla genética de las líneas padres. b) Producción de la semilla básica de las líneas padres. c) Producción del Híbrido Sorgo Ganadero. La semilla híbrida obtenida es vendida a los ganaderos quienes son los principales usuarios de este híbrido.

Para asegurar la pureza de las líneas en cada paso y del Híbrido Sorgo Ganadero, se deben cumplir ciertos requisitos como aislamiento e inspección de los lotes en donde se producen las diferentes categorías de semilla y el híbrido, los cuales están contemplados en la Ley de Semillas de Honduras.

CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Agradecimiento a patrocinadores.....	vi
	Resumen.....	vii
	Nota de prensa.....	viii
	Contenido.....	ix
	Índice de cuadros.....	xi
	Índice de figuras.....	xii
	Índice de anexos.....	xiii
1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVOS.....	3
1.1.1	Objetivo General.....	3
1.1.2	Objetivos específicos.....	3
2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1	ORIGEN Y CLASIFICACIÓN DEL SORGO.....	4
2.1.1	Origen.....	4
2.1.2	Clasificación.....	4
2.1.1.1	Clasificación de Snowden.....	4
2.1.1.2	Clasificación de Doggett.....	4
2.1.1.3	Clasificación de de Wet.....	6
2.2	ANATOMÍA Y MORFOLOGÍA DEL SORGO.....	8
2.2.1	Órganos vegetativos.....	8
2.2.1.1	El tallo.....	8
2.2.1.2	El pedúnculo.....	8
2.2.1.3	Hojas.....	8
2.2.1.4	Vaina de la hoja.....	8
2.2.1.5	Sistema radicular.....	8
2.2.2	Órganos reproductivos.....	9
2.2.2.1	La panícula.....	9
2.3	CRECIMIENTO Y DESARROLLO.....	9
2.4	AGRONOMÍA DEL SORGO.....	9
2.4.1	Selección de la variedad, línea o híbrido.....	9
2.4.2	Requerimientos de suelo.....	9
2.4.3	Requerimientos de agua.....	10
2.4.4	Requerimientos de fertilizantes.....	10
2.4.5	Plagas y enfermedades.....	10
2.4.5.1	Plagas.....	10
2.4.5.2	Enfermedades.....	11
2.5	Prácticas culturales.....	12
2.5.1	Preparación del terreno.....	12

2.5.2	Siembra.....	12
2.5.3	Fertilización.....	13
2.5.4	Riego del cultivo.....	13
2.5.5	Control de malezas.....	13
2.5.6	Control de plagas y enfermedades.....	14
2.6	MÉTODOS DE MEJORAMIENTO	14
2.6.1	Introducción de material genético.....	14
2.6.2	Selección.....	14
2.6.3	Hibridación.....	15
2.7	OBJETIVOS DEL MEJORAMIENTO	15
2.7.1	Mejoramiento para la producción.....	15
2.7.2	Mejoramiento nutricional.....	16
2.7.3	Resistencia al acame y al desgrane.....	16
2.7.4	Tolerancia a la sequía y al calor.....	16
2.7.5	Resistencia a las enfermedades.....	17
2.7.6	Resistencia a los insectos.....	17
3	PRODUCCIÓN DE HÍBRIDOS DE SORGO	18
3.1	EMASCULACIÓN MANUAL.....	18
3.2	EMASCULACIÓN CON AGUA CALIENTE.....	18
3.3	SISTEMAS DE ESTERILIDAD MASCULINA.....	18
3.3.1	Esterilidad masculina de Day.....	18
3.3.2	Esterilidad masculina genética-citoplásmica.....	19
3.3.3	Sistemas de esterilidad genética-citoplásmica en el sorgo.....	20
3.4	OBTENCIÓN Y SELECCIÓN DE LAS LÍNEAS A, B Y R.....	20
3.4.1	Identificación de las estirpes por su reacción de línea B o R.....	21
3.4.2	Androesterilización de las líneas B o conversión a las líneas A.....	22
3.4.3	Selección de la línea R.....	24
3.4.4	Mantenimiento de las líneas A, B y R.....	24
4	MATERIALES USADOS	25
5	PRODUCCIÓN DEL HÍBRIDO SORGO GANADERO	26
5.1	MANTENIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE LAS LÍNEAS ATx623, BTx623 Y RTx2784 PARA LA PRODUCCIÓN DEL SORGO HÍBRIDO GANADERO.....	26
5.1.1	Mantenimiento de la semilla genética de la línea RTx2784.....	28
5.1.2	Producción de la semilla básica de la línea RTx2784.....	30
5.1.3	Mantenimiento de la semilla genética de las líneas ATx623 y BTx623..	30
5.1.4	Producción de semilla básica de las líneas ATx623 y BTx623.....	32
5.1.5	Producción de semilla del Híbrido Sorgo Ganadero.....	33
5.1.6	Contaminantes de la producción de semilla híbrida de sorgo.....	35
5.3	UTILIZACIÓN DEL HÍBRIDO SORGO GANADERO.....	36
6	RESULTADOS ESPERADOS	37
7	BIBLIOGRAFÍA	38
8	ANEXOS	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		
1	Aptitud combinatoria de los progenitores de sorgos híbridos.....	21
2	Principales características de una buena línea A.....	22
3	Principales características de una buena línea R.....	24
4	Características de las líneas parentales del híbrido de sorgo forrajero “Ganadero”.....	26
5	Características del híbrido de sorgo forrajero “Ganadero”.....	27
6	Aislamiento (m) del campo de producción de semillas de variedades de polinización libre con contaminantes de polen extraño.....	28
7	Aislamiento (m) necesario del campo de producción de semilla para híbridos con diferentes contaminantes de polen extraño.....	33
8	Numero de surcos borderos de machos utilizados a diferentes superficies del campo de producción de semilla para reducir la distancia de aislamiento.....	33
9	Tolerancia (no. de semillas) de campo para la semilla certificada de sorgos híbridos para grano y forraje.....	34
10	Composición química del ensilaje de sorgo “Ganadero”, cosechado en el estadio masoso duro.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1	Resumen de la clasificación del sorgo por Snowden, 1936.....	5
2	La clasificación del <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench según Doggett, 1988.....	6
3	La clasificación de <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench según de Wet, 1978.....	7
4	Método de androesterilización de la línea B, mediante retrocruzamiento, mostrando el porcentaje de genes de línea B incorporados en la línea A, adaptado de Jones and Davis, 1944.....	23
5	Arreglo apareado de los surcos de las líneas ATx623 y BTx623.....	30
6	Arreglo de los surcos en el campo de las líneas ATx623 y RTx2784.....	32

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo

1	Aspecto legal en la producción de semilla.....	40
---	--	----

1. INTRODUCCIÓN

El sorgo *Sorghum bicolor* (L.) es el quinto cultivo de importancia entre los cereales del mundo después del trigo, el maíz, el arroz y la cebada. Los países productores de sorgo más importantes son Estados Unidos, India, Argentina, China, México, Nigeria y Sudan. La producción de sorgo en Norteamérica, Sudamérica, Europa y Australia, se destina para la alimentación animal; en Asia, África, Rusia, China y América Central además de ser utilizado para la alimentación animal el grano es importante como alimento humano. La planta de sorgo se adapta a varios ambientes y produce grano bajo condiciones desfavorables para la mayoría de los otros cereales. Debido a su resistencia a la sequía, se considera como el cultivo más apto para las regiones áridas con lluvias erráticas (Compton, 1990).

La planta de sorgo se adapta a los climas más secos debido a que tiene la habilidad de permanecer en dormancia durante las sequías y después reiniciar su crecimiento, sus hojas se pueden enrollar para tener menor área superficial expuesta a la transpiración, las hojas y tallos de este cultivo contienen una abundante capa de cera que los protege de la desecación, por lo tanto las plantas presentan una tasa de transpiración baja (Bennet *et al.*, 1990).

Según Bennet *et al.* (1990), una de las modificaciones más importantes que ha sufrido este cultivo es la hibridación, la cual comenzó a utilizarse comercialmente con el descubrimiento de la Esterilidad Masculina Genética (EMG) en el año 1937 y la Esterilidad Masculina Citoplásmica (EMC) en la década de los años 50, lo que le permitió a los fitomejoradores modificar la flor perfecta de la planta de sorgo, controlando la fertilidad para obtener plantas hembras y machos; permitiendo a los productores de semilla un sistema para la hibridación.

Anteriormente a este método de hibridación ya existían dos métodos con los cuales se había logrado producir híbridos de sorgo, pero por ciertos inconvenientes no podían ser usados a una escala comercial. Estos métodos eran: la técnica de emasculación con agua caliente y el triple cruzamiento usando la esterilidad masculina de Day.

Según Dogget (1988), la técnica de emasculación con agua caliente fue imposible de usar a gran escala debido a que era un proceso lento y muy costoso de realizar.

Poehlman (1965), argumenta que el método de triple cruzamiento usando la esterilidad masculina de Day era antieconómico, ya que las plantas de la línea que servirían como plantas hembras en el cruce presentaban 50% de fertilidad masculina, por lo que se tenían que eliminar las plantas con espigas fértiles afectando la producción de semilla de la línea parental que serviría como hembra, además se tenían que mantener tres lotes aislados de producción (para la línea estéril, el mantenimiento de la línea estéril, y para

la producción del híbrido) haciendo complicado el proceso e incrementando demasiado los costos de producción del híbrido.

Según Wall y Ross (1975), se ha logrado y simplificado la producción de híbridos de sorgo, mediante la utilización de la Esterilidad Masculina Genética y la Esterilidad Masculina Citoplásmica, donde la transferencia de los genes de esterilidad (*msc*) del sorgo de la raza Kafir al citoplasma del sorgo de la raza Milo (el cual tiene un citoplasma estéril), permite obtener una línea completamente androesteril. Para el mantenimiento de esta línea se usa una línea de la raza Kafir con los genes de esterilidad y citoplasma fértil, pero no para restaurar la fertilidad, después para la producción del híbrido se usa una línea restauradora de la fertilidad masculina con los genes (*Msc*) para restaurar la fertilidad masculina del híbrido.

Según Bennet *et al.* (1990), los híbridos de sorgo provienen de tres tipos de líneas:

Línea A:

Donde sus plantas presentan Esterilidad Masculina Citoplásmica (EMC), las cuales no pueden producir polen.

Línea B:

Esta línea es idéntica a la línea A, lo cual la convierte en isolínea de la línea A, sin embargo, se diferencia de la línea A en un gen (*msc*); además la línea B es normal en su citoplasma y puede producir polen, pero con la condición de que no pueden restaurar la fertilidad porque no contiene los genes de fertilidad (*Msc*), debido a esto se utiliza para realizar el aumento de la semilla de la línea A, sirviendo como la línea macho en el cruce BxA.

Línea R:

Estas líneas se conocen como restauradoras de la fertilidad y son las que se usan como macho en la producción de los híbridos, haciendo el cruce RxA.

Según Quimby (1974), debido al vigor híbrido y a la disponibilidad de semilla híbrida, la aceptación de estos híbridos fue rápida en los Estados Unidos, donde en los años, de 1953 a 1957 de la producción total de sorgo, el 15% era con híbridos y para el año 1960 la producción con híbridos había alcanzado el 95% de su uso.

El Híbrido Sorgo “Ganadero” es un híbrido del tipo forrajero, utilizado para corte, pastoreo y ensilaje, con alta capacidad de rendimiento. El híbrido fue desarrollado por un convenio por la Secretaria de Recursos Naturales (SRN), la Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano y el Proyecto Internacional de Sorgo y Mijo (INTSORMIL).

El sorgo Ganadero es un híbrido derivado de la cruce entre el sorgo granífero ATx623 y el sorgo sudan RTx2784; ambas líneas liberadas por la Universidad de Texas A&M. El híbrido ATx623 x RTx2784 resultó ser superior para todas las características de producción y resistencia evaluadas en conjunto y se denominó Ganadero en alusión al tipo de productor que usa esta clase de sorgo (EAP- SRN-INTSORMIL, 1993).

La producción de las líneas parentales y del híbrido Ganadero anteriormente era realizada por el proyecto INTSORMIL (Programa Internacional del Sorgo y Mijo),

pero debido a que este programa se trasladó a otro país de Centroamérica (Nicaragua y El Salvador), actualmente no se está realizando su producción y existe una demanda de semilla comercial por parte de los ganaderos del país que utilizan este híbrido por su potencial de producción como forraje. Debido a la demanda existente de semilla híbrida comercial del Ganadero en el país, la Zamoempresa de Cultivos Extensivos (ZECE) debe tomar la responsabilidad de reactivar la producción de la semilla básica de las líneas necesarias para la producción del híbrido, por lo que existe la necesidad de elaborar un manual que describa los pasos necesarios a seguir de acuerdo con la revisión de literatura existente para el mantenimiento y producción de las líneas para la producción del híbrido y de esta forma también apoyar el programa de producción de semilla básica de Zamorano que se está estableciendo recientemente.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Describir de acuerdo con la revisión de literatura disponible el proceso de producción a seguir para la obtención y mantenimiento de las líneas parentales para la producción del sorgo híbrido comercial Ganadero en Zamorano

1.1.2 Objetivos específicos

- Describir los pasos a seguir para seleccionar y producir las líneas A, B y R que son usadas para producir el sorgo híbrido comercial Ganadero.
- Como material de enseñanza explicar cómo ha evolucionado el mejoramiento genético del sorgo y el porqué este cultivo es de gran importancia para la alimentación en regiones donde no se dan las condiciones aptas de producir otros cultivos.
- Crear un documento como material de consulta que apoye el programa de semilla básica del sorgo Ganadero en Zamorano.
- Crear un documento que sea utilizado por los estudiantes como fuente de aprendizaje en su entrenamiento práctico en el programa del Aprender Haciendo en la Zamoempresa de Cultivos Extensivos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ORIGEN Y CLASIFICACIÓN DEL SORGO

2.1.1 Origen

Según Doggett (1988), los sorgos cultivados hoy en día se originaron del sorgo silvestre *Sorghum bicolor* Subs. *Arundinaceum* y la mayor variación en el género *sorghum* se encuentra en el cuadrante noreste del África, abajo del Sahara, en la región de Etiopía-Sudan donde el género ancestral, con número básico de cinco cromosomas, probablemente se originó hace 5000 a 6000 años (Compton, 1990).

2.1.2 Clasificación

En el año 1753, Linneus describió en su “Species plantearium” tres especies de sorgo cultivado:

Holcus sorghum, *H. saccharatus*, y *H. bicolor*. En el año 1794 Moench distinguió el genero *Sorghum* del género *holcus*; en el año 1805 Persoon creó el nombre *Sorghum vulgare* para *H. sorghum* (L.) y en el año 1961 Clayton consideró *Sorghum bicolor* (L.) Moench, como el nombre específico correcto de los sorgos cultivados y como tal ha sido aceptado desde entonces. (Doggett, 1988 y House, 1985; citados por Compton, 1990).

Varios taxónomos han clasificado el sorgo a través de los años, pero no es posible clasificar claramente las variedades simplemente examinando las panículas conservadas en un herbario. Son muy importantes las características de la planta viva, el tallo, las hojas, etc., para obtener una clasificación más correcta (Wall y Ross, 1970; citados por Compton, 1990).

2.1.2.1 Clasificación de Snowden. La clasificación más detallada (Figura 1) del sorgo fue realizada por Snowden (1936-1950), coincidiendo con otros taxónomos en que el sorgo pertenece a la tribu *Andropogoneae*, subtribu *Sorghastrae*, la cual tiene dos géneros: *Cleistachne* [Benth] con cuatro especies en Sudáfrica y la India, y *Sorghum* distribuido en las regiones más cálidas del viejo Mundo. Snowden dividió el género *Sorghum* en dos secciones: *Eusorghum* y *Parasorghum* (Purseglove, 1972; citado por Compton, 1990).

2.1.2.2 Clasificación de Doggett. Otra Clasificación (Figura 2) seguida por los agrónomos es la de Doggett (Compton, 1990).

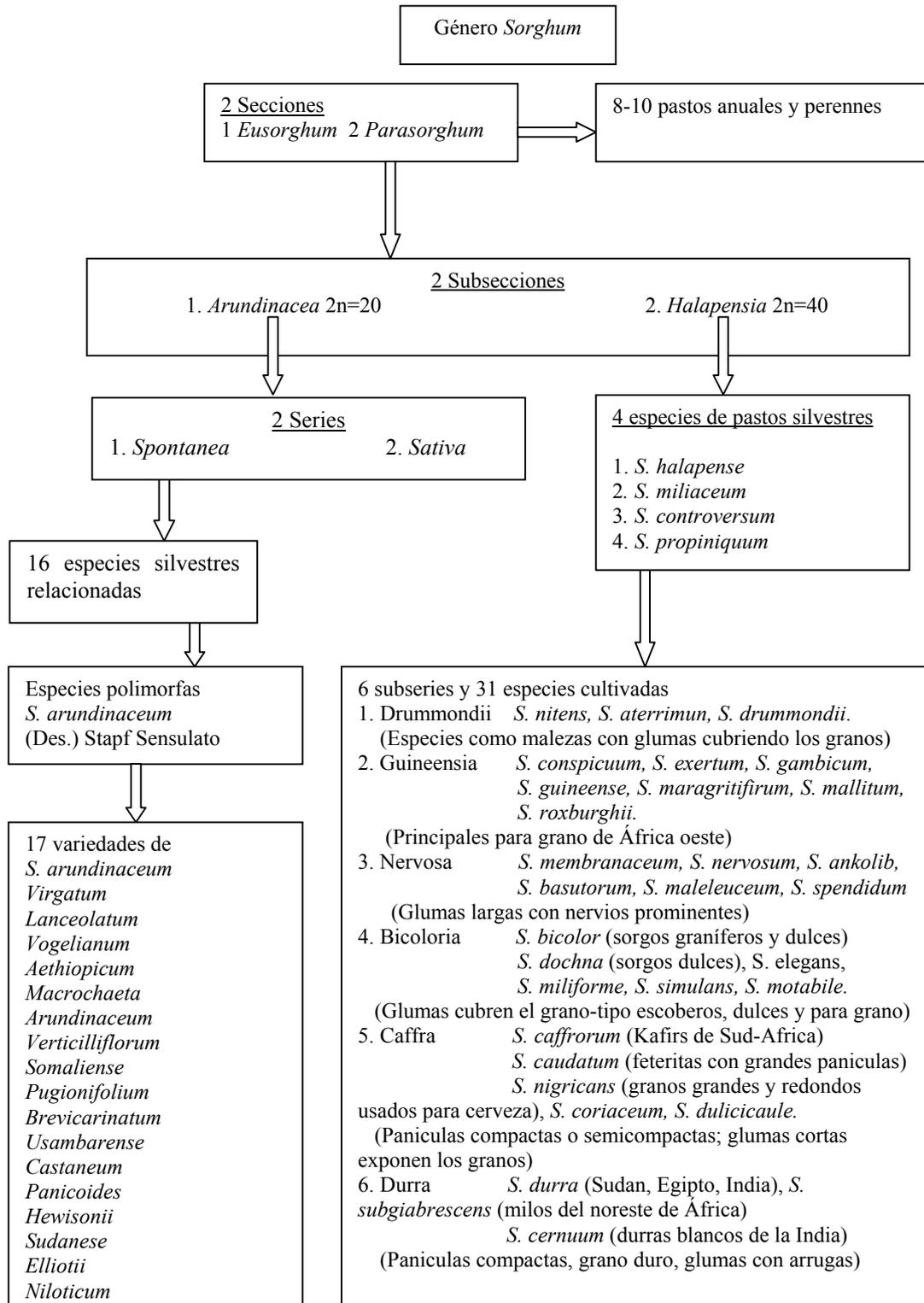


Figura 1. Resumen de la clasificación del sorgo por Snowden, 1936. (Compton, 1990).

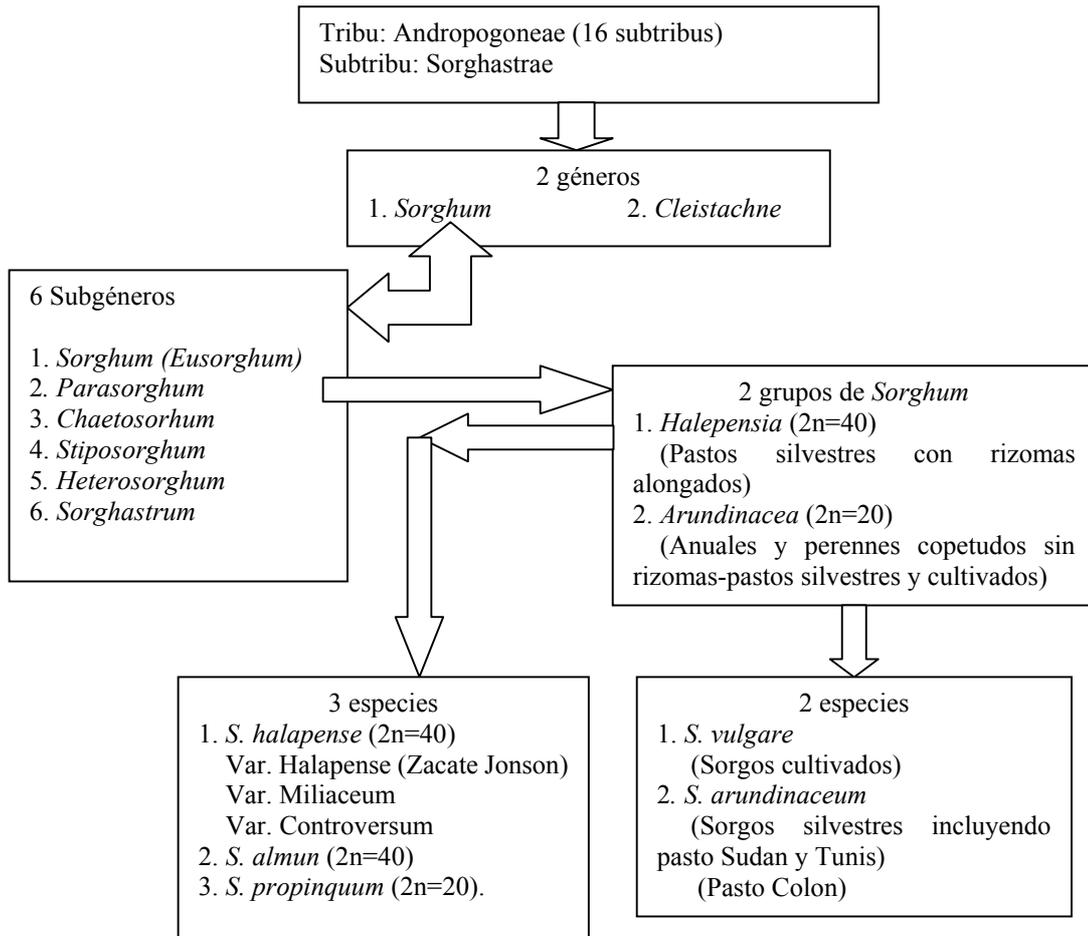


Figura 2. La clasificación del *Sorghum bicolor* (L.) Moench según Doggett, 1988. (Compton, 1990).

2.1.2.3 Clasificación de de Wet. de Wet (1978) mejoró las clasificaciones realizadas anteriormente por Snowden y Doggett (Figura 3) y reconoce cinco secciones del género *Sorghum*: *Stiposorghum*, *Parasorghum*, *Sorghum*, *Heterosorghum* y *Chaetosorghum* (Compton, 1990).

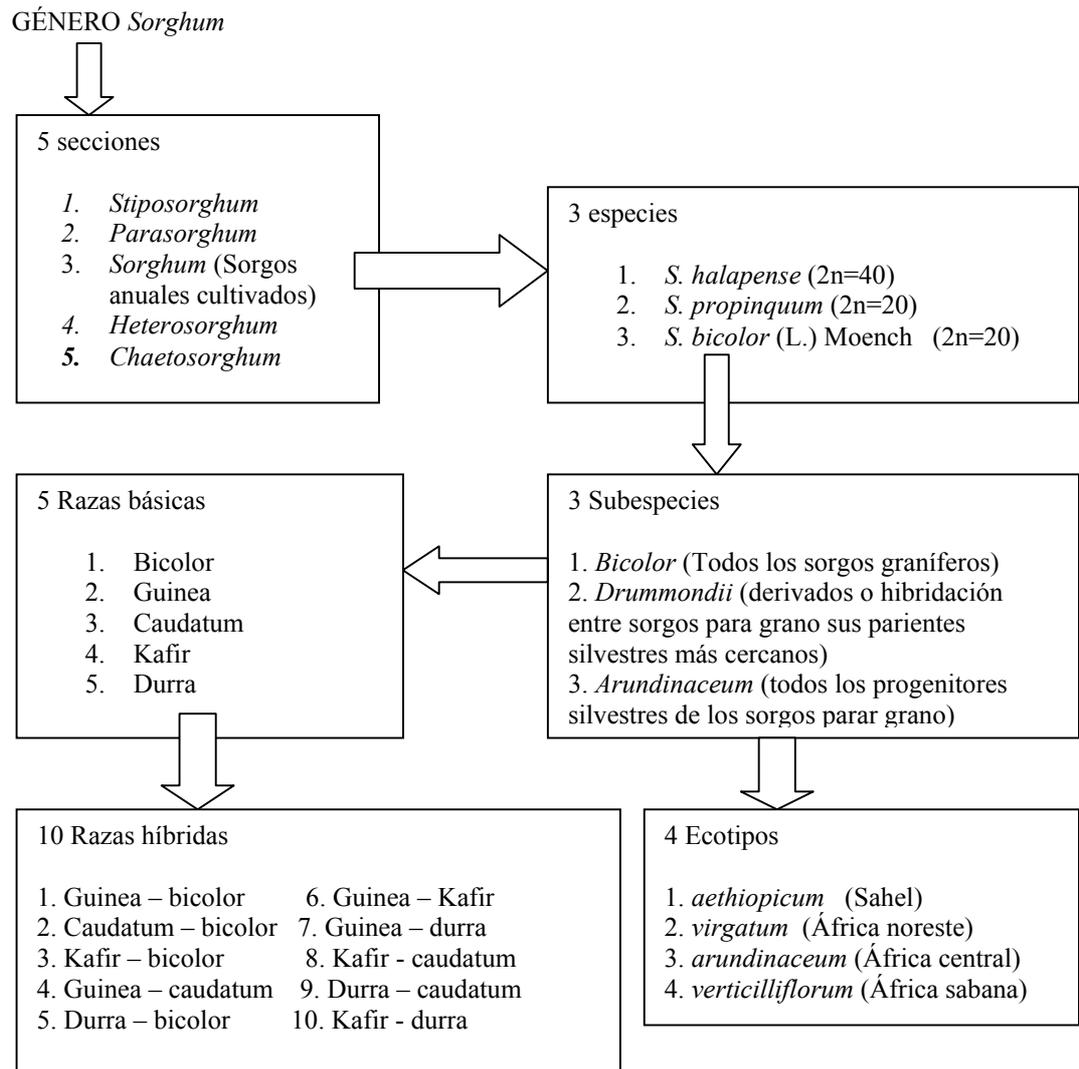


Figura 3. La clasificación de *Sorghum bicolor* (L.) Moench según de Wet 1978, (Compton, 1990).

2.2 ANATOMÍA Y MORFOLOGÍA DEL SORGO

2.2.1 Órganos vegetativos

2.2.1.1 El tallo. El sorgo es generalmente una planta con un solo tallo, pero varía mucho en su capacidad de ahijamiento dependiendo de la variedad, la población de plantas y el ambiente. La altura varía de 45 cm a más de cuatro metros y depende del número de nudos que es igual al número de hojas producidas y es en función del período de madurez de la planta. La altura también depende de las longitudes del entrenudo, el pedúnculo y la panícula, y todos estos factores están bajo control genético separado (Dogget, 1988).

2.2.1.2 El pedúnculo. El entrenudo más alto que lleva la inflorescencia es el pedúnculo y es siempre el más largo. Una buena ejerción permite que los granos queden fuera de la vaina de la hoja bandera y entonces se reduce el daño por plagas y enfermedades en la parte inferior de la panícula. La longitud del pedúnculo o ejerción, esta controlada genéticamente; factores ambientales como la deficiencia de agua, pueden ejercer efectos pronunciados (Compton, 1990).

2.2.1.3 Hojas. El número de hojas varía de 7 a 24 según la variedad y la longitud del período crecimiento. Las hojas son erectas hasta casi horizontales y se conservan con la edad. Las hojas maduras son de 30 a 135 cm de longitud y de 1.5 a 15 cm de ancho. Son alternas y lanceoladas o linear-lanceoladas con una superficie superior lisa y cerosa. Sus estomas están en fila sencilla o doble en ambas superficies de la lámina. Filas de células motoras en la epidermis superior facilitan el enrollamiento rápido hacia adentro de las hojas durante los períodos de sequía. En algunas variedades se encuentran células de sílice en las últimas hojas y esto puede estar relacionado con la resistencia a una plaga de la hoja (House, 1985; citado por Compton, 1990).

2.2.1.4 Vaina de la hoja. La vaina de la hoja circunda el tallo y frecuentemente tiene márgenes sobrepuestos. Su longitud varía de 15 a 35 cm con la máxima hacia el centro del tallo. Las vainas fijadas a los nudos inferiores frecuentemente cubren los nudos de arriba, pero las superiores no se extienden hasta el nudo de arriba (House, 1985; citado por Compton 1990). Una pelusilla blanca polvosa de cera se encuentra especialmente sobre las vainas superiores. Esta cera está presente también sobre el lado inferior de la lámina de la hoja y ayuda en la tolerancia a la sequía (Bennet *et al.*, 1990).

2.2.1.5 Sistema radicular. La radícula sencilla, es responsable del establecimiento de la plántula y es temporal. El sistema radical adventicio fibroso se desarrolla de los nudos más bajos del tallo. La profundidad de enraizado es generalmente de 1 a 1.3 m con 80% de las raíces en los primeros 30 cm (Maiti, 1986; citado por Compton, 1990).

Las raíces del sorgo se pueden dividir en dos sistemas: uno temporáneo y otro permanente. El temporáneo comprende la raíz primaria desarrollada de la radícula (o primera raíz de la plántula) y las raíces adventicias que nacen sobre la región del mesocótilo por debajo de la superficie. La raíz primaria y las adventicias producen raíces laterales que son comparativamente pequeñas y de diámetro casi uniforme en toda su longitud. Comprenden solo una pequeña parte de todo el sistema radicular. La raíces maduras son todas adventicias y emergen del nudo del coleóptilo y de otros

foliares que se hallan por encima de éste, para formar el sistema permanente (Wall y Ross, 1975).

2.2.2 Órganos reproductivos

2.2.2.1 La panícula. La cabeza del sorgo o inflorescencia es una panícula, su rango de longitud varía de 3 a 20 pulgadas y su ancho de 2 a 8 pulgadas. Algunas son clasificadas como abiertas con ramas primarias largas en un raquis principal y las compactas con ramas primarias cortas (Bennet *et al.* 1990). Según Compton (1990) la panícula puede ser corta o larga, suelta y abierta, y compacta o semi-compacta; el largo de la panícula puede variar entre 4 y 25 cm y el ancho entre 2 y 20 cm llevando de 400 a 8000 granos; su raquis puede tener ramas secundarias y terciarias que contienen racimos de espiguillas, las cuales pueden contener una o varias en pares (1 a 8), una sésil (esta contiene una florecilla perfecta y otra estéril) y la otra pedicelada (estas contienen dos florecillas, una masculina y otra estéril).

2.3 CRECIMIENTO Y DESARROLLO

El período de desarrollo del sorgo consiste de tres fases: la vegetativa, la reproductiva y el período de llenado del grano. La fase vegetativa (etapa de crecimiento 1 =EC1) se caracteriza por germinación, desarrollo de la plántula, crecimiento de las hojas y el establecimiento de una porción significativa del sistema radical completo. La segunda fase (EC2) empieza cuando el meristemo apical empieza a diferenciarse en un meristemo floral, continúa con el desarrollo de la inflorescencia y termina cuando tiene lugar la antesis; durante esta fase, hay una elongación rápida de los entrenudos del tallo y expansión de las hojas. La tercera fase (EC3), se caracteriza por el desarrollo y madurez del grano y la senescencia de las hojas (Compton, 1990).

2.4 AGRONOMÍA DEL SORGO

2.4.1 Selección de la variedad, línea o híbrido

En la actualidad existe una variedad de métodos con los cuales podemos mejorar la decisión de elegir una variedad, línea o híbrido sobre otros posibles.

Los métodos pueden ser: análisis de suelos, medición de la precipitación, intensidad de luz y horas luz, monitoreo de plagas y enfermedades, etc. Todo esto para tener información que nos ayude a tomar una decisión más acertada. La selección va a depender también si es para producir grano, forraje o semilla.

2.4.2. Requerimientos de suelo

El sorgo puede ser cultivado exitosamente en un amplio rango de suelos. Puede tolerar rangos de pH de 5.5 a 8.5 y también algún grado de salinidad, alcalinidad y pobre drenaje. En los trópicos el sorgo tiende a ser cultivado en las tierras más pesadas y el milo perla en las arenas y suelos livianos o ligeros (Doggett, 1988).

2.4.3 Requerimientos de agua

Para el cultivo del sorgo debe considerarse la cantidad de lluvia y su distribución en el tiempo y el espacio. Según Cristiani (1987), el sorgo requiere 105 mm de agua en la EC1, 245 mm en la EC2 y 200 mm en la EC3.

2.4.4 Requerimientos de fertilizantes

La fertilización adecuada de un cultivo, involucra el uso de la clase apropiada del fertilizante aplicado en la cantidad óptima, en el lugar correcto, en la forma más eficiente y en el momento más oportuno. La cantidad de fertilizante que se aplica está relacionada con la ganancia neta de su uso en los niveles particulares de manejo y la cantidad que da el rendimiento máximo no es necesariamente aquella que da la máxima ganancia neta (Compton, 1990).

Según Doggett (1988), la cantidad a aplicar dependen del estado nutricional del suelo y del objetivo de la producción. Los requerimientos de kg/ha están entre 60 y 220 de N, 45 y 100 de P e igual para K, si existen deficiencias de este elemento.

2.4.5 Plagas y enfermedades

2.4.5.1 Plagas. Según Compton (1990), el sorgo es atacado por un gran número de plagas tales como:

- Insectos del suelo.
 - a) alambre (*Elateridae spp, tenebrionidae spp*).
 - b) Gusano Gallina ciega (*Phyllophaga crinita*)
 - c) Gusano cortadores (*Agrotis ipsilon, Diabrotica undecimpunctata howardi*)
 - d) Milpiés (*Diplododa spp*)
 - e) Grillo cebollero (*Gryllotalpa spp*)
 - f) Hormigas (*Solenopsis molesta*).

Estos insectos causan daños a la semilla, a las raíces de las plántulas y a las plántulas mismas.

- Insectos del follaje y del tallo.
 - a) Áfidos (*Schizaphis graminun, Rhopaliphum maidis, Melanaphis sacchari*)
 - b) Chinche (*Blissus leucopterus*)
 - c) Gusano soldados (*Spodoptera frugiperda, S. exempta*)
 - d) Barrenadores del tallo (*Diatraea saccharalis, D. lineolata, D. grandiosella*)
 - e) Escarabajuelo (*Chaetocnema pulicaria*)
 - f) Arañas rojas (*Oligonychus spp., Tetranychus spp.*)
 - g) Saltamontes o chapulines (*Oedaleus senegalensis, Aliopus simulatrix*)

Los daños de estos son: transmisión de enfermedades como “el virus mosaico del enanismo del maíz” transmitido por áfidos, daños a las hojas al alimentarse de éstas saltamontes y gusanos soldado, y galerías causadas en los tallos por los gusanos barrenadores.

- Insectos de la panoja:
 - a) Mosquita del sorgo (*Contarinia sorghicola*)

- b) Gusano telarañero del sorgo y de la panícula (*Nola sorghiella*, *Cryptoblabes gnidiella*)
- c) Gusano de la mazorca del Maíz (*Heliothis zea*).

Los daños son: destrucción del ovario de las florecillas y de las florecillas por las larvas de estos insectos, las pérdidas pueden ser hasta del 100% en el caso de la mosquita del sorgo.

- Nemátodos. Según Doggett (1988), el sorgo es huésped de *Radopholus similis* el cual ataca al banano, también menciona que es afectado por: *Belonolaimus longicaudatus*, *Creconemoides ornatus*, *Pratylenchus brachyurus*, *P. zea*, *Trichodorus christiei*, *Tylenchorhynchus martini*, *T. crassicaudatus* y *Xiphinemun*

Los daños son principalmente al sistema radicular de las plantas, al alimentarse de éstas y al favorecer la entrada de otros patógenos.

2.4.5.2 Enfermedades. Según Compton (1990), las enfermedades más comunes del sorgo son las siguientes:

- Pudrición de la semilla y la plántula (*Fusarium moniliforme*, *Pythium arrhenomanes*) que atacan a la semilla y plántula. Otros como *Penicillium oxalicum*, y *Exserohilum turcicum* atacan al cogollo joven y los tejidos radicales.

- Enfermedades foliares:

- a) Roña de la hoja (*Exserohilum turcicum*)
- b) Listado bacteriano (*Xanthomonas holcicola*)
- c) Rayado bacteriano (*Pseudomonas andropogoni*)
- d) Mildiú veloso (*Peronosclerospora sorghi*)
- e) Mancha gris de la hoja (*Cercospora sorghi*)
- f) Mancha zonada de la hoja (*Gloeocercospora sorghi*)
- g) Roya (*Puccinia purpurea*)
- h) Antracnosis (*Colletotrichum graminicola*)
- i) Tizón bandeado de la hoja y de la vaina (*Rhizoctonia spp.*)

Causan zonas necróticas en la hoja, disminuyendo capacidad fotosintética de la planta.

- Enfermedades de la raíz y del tallo:
 - a) Antracnosis (*Colletotrichum graminicola*)
 - b) Podredumbre carbonosa (*Macrophomina phaseolina*)
 - c) Pudrición por fusarium (*Fusarium moniliforme*)
 - d) Pudrición de la raíz por periconia o enfermedad del milo (*Periconia circinata*)
 - e) Marchites por acremonium (*Acremonium strictum*)
 - f) Virus mosaico del enanismo del maíz (MDMV)

Los daños son pudriciones causadas en la raíz y en el tejido vascular del tallo, y la disminución o atrofia del crecimiento causada por el MDMV.

- Enfermedades de la panícula:

- a) Carbones (*Sphaleotheca sorghi*, *S. cruenta*, *S. reiliana*)
- b) Tizón de la panícula (*Fusarium moniliforme*)
- c) Mohos del grano, los principales son: *Fusarium moniliforme*, *F. semitectum*, *Curvularia lunata*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium oxalicum*, *Alternaria spp.*, *Phoma spp.*, *Colletotrichum graminicola* y *Rhizopus tritici*.

La invasión de las florecillas y ovario por las hifas de estos hongos, da lugar a panículas totalmente cubiertas por las estructuras de éstos. En el caso de los mohos, éstos secretan enzimas que degradan el endosperma y el tejido del germen, reduciendo el valor nutritivo y la viabilidad del grano.

2.5 PRÁCTICAS CULTURALES

2.5.1 Preparación del terreno

De la preparación, depende mucho la germinación de la semilla que se sembrará y por ende el éxito del cultivo. Debido a que la semilla del sorgo es muy pequeña la preparación debe dejar el terreno bien pulido y uniforme, libre de rastros y terrones para poder controlar bien la profundidad de la siembra y que la semilla no quede en los espacios entre los terrones y rastrojo, y así no afectar la germinación de la misma.

2.5.2 Siembra

Preferiblemente la semilla debe estar tratada con algún fungicida y secada a una humedad entre 12 y 14%. Al momento de la siembra se recomienda usar algún insecticida para proteger a la semilla y plántula después de la germinación. Para el control temprano de malezas se puede usar un herbicida preemergente para gramíneas y para hojas anchas, en el caso de que el herbicida para gramíneas no sea selectivo al sorgo, se debe usar un protectante para la semilla; éste es específico al herbicida que se está usando. La densidad de siembra dependerá en primer lugar del objetivo de la producción, luego de las condiciones de humedad, fertilización, temperatura, resistencia a insectos y enfermedades.

Según Compton (1990), la densidad de siembra puede variar entre 240 y 360 mil plantas por hectárea para híbridos de bajo porte, menos de 1.4 m de altura (considerando el 80% de germinación) y de 160 a 240 mil, para variedades entre 1.4 y 1.7 m de altura, la profundidad de siembra de uno a tres centímetros.

2.5.3 Fertilización

Generalmente la fertilización del sorgo se hace en dos partes, aunque se recomienda subdividirla en más fracciones. La aplicación se hace en dos partes con el objetivo de disminuir costos de aplicación y no causar daño a la planta al realizar una tercera aplicación, la cual se recomienda hacerla antes de que la planta comience floración. La primera aplicación se realiza al momento de la siembra donde se aplica todo el fósforo (P) y potasio (K) requerido por el cultivo, debido a que estos elementos son de lenta liberación en el suelo; respecto al nitrógeno (N), éste es aplicado parcialmente durante la siembra y luego 30 días posemergencia se aplica la segunda dosis cuando se realiza la labor de aporcamiento.

Según Compton (1990), el N regula la división y expansión celular, y por ende el crecimiento de la planta; el P es un componente esencial de los compuestos de la transferencia de energía (ATP y nucleoproteínas), el sistema genético de información (ADN y ARN), las membranas de las células (fosfolípidos) y las fosfoproteínas; el K es importante en el mantenimiento del potencial osmótico, en la absorción del agua, además es importante en la absorción y transporte iónico, actúa como activador de unas 46 enzimas, en la asimilación de CO₂ y en la distribución de asimilados, en la producción de tallos y sistemas radicales fuertes, en contrarrestar los efectos del exceso de N y en el retardo de la madurez, para compensar los efectos de maduración del P.

La colocación del fertilizante debe tomar en cuenta el patrón de enraizamiento en la etapa de plántula y también durante el período de rápido crecimiento (EC2), para producir un despegue rápido de la plántula y proveer una nutrición continua para el buen crecimiento de la raíz y las hojas (Compton, 1990).

2.5.4 Riego del cultivo

El suministro del agua dependerá del requerimiento por etapa de crecimiento del cultivo y de la tasa de evapotranspiración del cultivo. Los mayores requerimientos del cultivo son entre la etapa de buche y anthesis (245 mm). Los sistemas de riego utilizados generalmente son: de gravedad y aspersión, donde su uso depende de los recursos del productor y del área sembrada.

2.5.5 Control de malezas

El mal manejo de las malezas en el cultivo causan rendimientos bajos, por que compiten con el cultivo por nutrientes, agua, luz y espacio, además favorecen mayor incidencia de insectos y enfermedades, reducen la calidad del grano y hacen la cosecha más difícil. Las semillas de las malezas también presentan un problema en el almacenamiento del grano, en el control de calidad de la semilla y la siembra de una línea pura (Compton, 1990).

El control puede ser químico (mediante el uso de herbicidas preemergentes y pos emergentes), cultural (mediante la apropiada preparación del terreno, siembra en hileras para facilitar el uso de equipo, uso de variedades adaptadas y precoces) y mecánico (mediante desyerbas manuales o con implementos operados con tractor o animales de tiro).

2.5.6 Control de plagas y enfermedades

El uso de híbridos o variedades resistentes a plagas y enfermedades, es uno de los mejores factores con los que se puede contar para no tener problemas durante el desarrollo del cultivo, si no se cuenta con tal resistencia, el uso de MIP (Manejo Integrado de Plagas) y MIC (Manejo Integrado de Cultivo) serán los manejos a considerar para prevenir o resolver cualquier problema con plagas y enfermedades. Dentro de los factores antes mencionados hay un buen número de estrategias y tácticas que se pueden usar, tal como el uso de nivel crítico como una herramienta de decisión para ejercer algún control. Dentro de los controles están: control cultural, control químico, control biológico etc.

2.6 MÉTODOS DE MEJORAMIENTO

Los métodos originales para el mejoramiento del sorgo han sido similares a los que se han utilizado en las especies autógamias (introducción de material genético, selección e hibridación). Aun cuando normalmente se presenta en el sorgo algo de polinización cruzada, la proporción suele ser reducida, llegando aproximadamente a un 6%, excepto en el caso del pasto sudan donde la proporción de la polinización cruzada natural es mayor. Sin embargo, se puede asegurar la autofecundación en los lotes de mejoramiento cubriendo las espigas con bolsas (Poehlman, 1965).

2.6.1 Introducción de material genético

Según Poehlman (1965), este método se basa principalmente en introducir variedades que son ampliamente cultivadas en otras regiones del planeta o introducir variedades con características de importancia económica, nutricional, de resistencia a enfermedades y plagas, resistencia a condiciones de estrés; que puedan ser usadas para desarrollar nuevas variedades o líneas de sorgos.

2.6.2 Selección

Muchas de las variedades de sorgo se han originado por selección de plantas sobresalientes de las variedades viejas. Este tipo de plantas sobresalientes se originan por selección o por mutación natural. La aparición ocasional de mutaciones debidas a genes simples, generalmente recesivos, que determinan grandes cambios físicos de las plantas mutantes, ha sido uno de los hechos más sorprendentes con relación al sorgo. A partir de esas mutaciones se ha podido obtener nuevas variedades de menor altura, de mayor precocidad, de semillas blancas, de endosperma céreo, resistentes a enfermedades y otras características favorables. La frecuente producción de híbridos naturales (cruces naturales entre variedades o líneas en uso) en los campos de sorgo que muestran mayor vigor, ha llevado a la selección ocasional por los agricultores y los fitomejoradores de plantas con desarrollo vigoroso, como fuente de nuevas variedades (Poehlman, 1965).

Según López (1995), para plantas autógamias como el sorgo, se pueden usar dos métodos de selección: el método de selección masal e individual, donde el primer método consiste en seleccionar plantas de una población, las que más se acerquen al objetivo deseado y recoger su semilla para sembrar una nueva parcela, de la cual se vuelven a tomar los individuos más deseables, para obtener su semilla y proseguir así, hasta la selección final la cual sucede por lo menos en la octava generación, y el segundo método el cual se basa en seleccionar líneas puras a partir de una sola planta que se ha observado como superior a sus contemporáneas.

2.6.3 Hibridación

Según Poehlman (1965), el éxito logrado con los híbridos de maíz, despertó el interés de este método de mejoramiento para el sorgo, también debido a resultados obtenidos de cruces entre variedades seleccionadas, se observó híbridos vigorosos de sorgo con un rendimiento de 25 a 40% mayor que las variedades comerciales de ese tiempo. Durante muchos años el problema que había para la utilización de los sorgos híbridos era la falta de métodos económicos para realizar las cruces.

Según Bennet *et al.* (1990), los híbridos comerciales de sorgo son producidos mediante la cruce simple de una línea estéril masculina (línea A) con una línea restauradora de la fertilidad masculina (línea R).

2.7 OBJETIVOS DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO

2.7.1 Mejoramiento para la producción

Al inicio de los años 50 el uso de híbridos o del vigor híbrido representa un alcance significativo en el mejoramiento. El mejoramiento en la producción es logrado por la introducción de muchos genes. Esta característica es conocida como “cuantitativa” en oposición a una característica simple controlada, que podría ser cualitativa en su forma de heredar, como la resistencia a la chinche. Según Bennet *et al.* (1990) puede haber hasta 5000 genes que afectan la producción del cultivo

En el rendimiento de una variedad de sorgo influyen características de la planta que son hereditarias, como la precocidad, la altura, la susceptibilidad al fotoperíodo, y también factores ambientales como la lluvia, la temperatura y la duración del día. La capacidad de rendimiento no siempre ha recibido tanta atención en el mejoramiento del sorgo como en otras especies cultivadas. Con la obtención de sorgos híbridos se puede esperar que se tenga mayor importancia a un alto rendimiento como objetivo de mejoramiento de los sorgos tanto para grano como para forraje. Además de la capacidad potencial de rendimiento de una variedad, puede influir en la producción su resistencia hereditaria a condiciones ambientales, como la sequía, las enfermedades o los insectos (Poehlman, 1965).

2.7.2 Mejoramiento nutricional

Los primeros sorgos cultivados en los Estados Unidos fueron básicamente con semillas rojas o blancas, quizás del tipo Hegari por ejemplo, éste fue caracterizado por la presencia de taninos (componentes fenólicos), como también los sorgos cafés contenían este compuesto. Se sabe que los taninos disminuyen la digestión de las proteínas y el almidón (Bennet *et al.*, 1990).

Según Poehlman (1965), el problema de los taninos se ha mejorado mediante la combinación de líneas de las razas de Milo y Kafir las cuales carecen prácticamente de taninos, también se ha mejorado el valor nutricional incorporando variedades con endosperma amarillo que contienen caroteno y xantofila, además a esto se le puede sumar el mejoramiento que se ha hecho a la calidad del forraje, debido al aumento en la producción, creación de líneas o variedades de doble propósito para mejorar el sabor del grano, creación de líneas resistentes a enfermedades que defolían la planta o disminuyen el valor nutritivo de las hojas y tallos, el uso de las razas Kafir y Hegari por tener tallos jugosos los cuales son más palatables y también se han creado variedades con bajo contenido de ácido prúsico o cianhídrico, los cuales pueden intoxicar a los animales que se alimentan del forraje cuando los niveles de ácido son altos.

El principal problema en la utilización del sorgo para forraje en la alimentación de rumiantes es el contenido de ácido prúsico o cianhídrico (HCN), por lo cual el

mejoramiento de la calidad de un forraje debe basarse principalmente en disminuir el contenido de este compuesto.

Según Wall y Ross (1975), las intoxicaciones se dan cuando el ganado pastorea sorgo cuyo crecimiento se ha retardado por sequías o heladas, también argumenta que se ha mejorado esta característica haciendo cruzamientos para obtener híbridos de bajo contenido de HCN y se han seleccionado algunas variedades del pasto sudan que contienen este compuesto en bajas concentraciones.

2.7.3 Resistencia al acame y al desgrane

Según Poehlman (1965), se ha logrado mejorar la resistencia a este carácter debido a la selección de variedades resistentes a la enfermedad del milo, con tallos más cortos y fuertes, que además favorecen la cosecha mecanizada.

2.7.4 Tolerancia a la sequía y al calor

El sorgo es esencialmente un cultivo de tierras áridas, cultivado en áreas con baja humedad y temperaturas altas. Un híbrido necesita toda la tolerancia al estrés posible sin sacrificar el potencial de producción del cultivo cuando las condiciones son favorables. La introducción de híbridos con mayor potencial de producción ilustra una forma mejorada del uso eficiente del agua (Bennet *et al.*, 1990).

2.7.5 Resistencia a las enfermedades

La mayoría de los híbridos comerciales llevan en sí resistencia o tolerancia a una o más enfermedades, sin embargo con la aparición de nuevas razas o ecotipos de patógenos esta resistencia o tolerancia disminuye o se pierde.

Se han obtenido variedades que son resistentes a algunas de las enfermedades más peligrosas. Entre éstas, las que han recibido atención por parte del fitogenetista son: la enfermedad del milo, carbonos, diversas pudriciones del tallo y las royas de la hoja (Poehlman, 1965).

Según Bennet *et al.* (1990), la aparición de otras enfermedades como la del mildiú lanoso estimuló un nuevo esfuerzo completo en el mejoramiento, afortunadamente algunos sorgos de Etiopía contenían fuente de resistencia al mildiú, pero igual a la antracnosis el mildiú tenía patotipos cambiantes, lo que hacía el mejoramiento más difícil, debido a esto la resistencia al mildiú se vuelve un requerimiento básico para sorgos granífero y forrajeros.

2.7.6 Resistencia a los insectos

Según Wall y Ross (1975), el sorgo es atacado por un buen número de insectos, pero se sabe menos sobre el control genético de la respuesta de la planta a los insectos que la respuesta a las enfermedades.

Según Bennet *et al.* (1990), los hospederos intermedios como el *Shorgum halapense* y el *Sorghum almud* intensifican los problemas con algunas plagas, como la mosquita de la panoja (*Contarinia sorghicola*); las fuentes de resistencia a esta plaga se han

encontrado en Etiopía y Brasil y los mecanismos según este autor pueden ser: reducción de la capacidad reproductiva del insecto, no preferencia y antibiosis. Los híbridos con resistencia a esta plaga, emplean el mecanismo de disminución del período de llenado del grano (EC3), permitiéndole al ovario desarrollarse rápidamente y en esta forma disminuir el daño larval. Igual a las enfermedades, los patógenos, en este caso los insectos cambian constantemente de biotipo, lo que hace que los fitomejoradores se esfuercen más en la búsqueda de nuevas fuentes e introducción de resistencia a las plantas.

3. PRODUCCIÓN DE HÍBRIDOS DE SORGO

La producción de sorgos híbridos se logra a través de los siguientes métodos, de los cuales algunos no son económicamente factibles:

- a) Emasculación manual de la línea que servirá como progenitor femenino en la cruce.
- b) Emasculación con agua caliente de la línea que servirá como progenitor femenino en la cruce.
- c) Sistemas de esterilidad masculina.
 - Esterilidad masculina genética de Day.
 - Esterilidad masculina genética-citoplásmica.

3.1 EMASCULACIÓN MANUAL

Las polinizaciones cruzadas artificiales se efectúan emasculando el progenitor femenino y polinizando a mano con el polen colectado del progenitor masculino. Las emasculaciones se efectúan a mano utilizando pinzas de punta fina, una aguja de disección, un lápiz con punta afilada o un instrumento pequeño de emasculación para eliminar las anteras. Generalmente, la emasculación se realiza sólo en una pequeña rama de la espiga. Se elimina gran parte de la espiga para poder cubrir la parte emasculada, pero una poda excesiva puede ser adversa para la producción de semilla debido a la desecación. El polen se colecta en bolsas en forma semejante a como se hace en el maíz y se esparce sobre los estigmas expuestos, o se puede frotar la espiga productora de polen sobre la espiga emasculada (Poehlman, 1965).

3.2 EMASCULACIÓN CON AGUA CALIENTE

En este método, se sumerge la espiga en agua a una temperatura de 48 °C durante 10 minutos. Esta temperatura mata al polen pero no al pistilo. Las espigas emasculadas en esta forma, se cubren con bolsas de papel (de polinización) para protegerlas del polen extraño (Poehlman, 1965).

3.3 SISTEMAS DE ESTERILIDAD MASCULINA

3.3.1 Esterilidad masculina genética de Day

En un campo de sorgo de la variedad Day se encontró una planta con esterilidad masculina en 1943, en el Estado de Tennessee. Este carácter, denominado con frecuencia esterilidad masculina de Day, es un carácter genético. Las plantas con dicho carácter producen plantas F1 con esterilidad masculina cuando se les cruza con

algunas variedades, pero producen plantas F1 con fertilidad masculina cuando se les cruza con otras variedades. Se ideó un cruzamiento triple para la producción de semilla híbrida utilizando la esterilidad masculina de Day. En este sistema se utilizan tres fuentes de semilla y dos lotes aislados de cruzamiento.

- a) La línea A, que segrega para fertilidad y esterilidad masculina, en la relación uno a uno (1:1), se conserva en lotes aislados. Esta línea es fecundada por la línea B.
- b) La línea B es de fertilidad masculina y no restauradora del polen. Esta línea se puede mantener aislada o cubrir las espigas con bolsas. La línea B se utiliza para sembrar los surcos productores de polen en el lote 1 de cruzamiento con línea A.
- c) La cruce simple AxB que tiene esterilidad masculina se cosecha en los surcos para semilla del lote 2 de cruzamiento (lote donde se producirá el híbrido).
- d) La línea C, que restaura la fertilidad del polen, se siembra en los surcos productores del polen en el lote 2 de cruzamiento.
- e) La semilla que se obtiene como resultado del triple cruzamiento en el lote 2 se cosecha y se distribuye a los productores para siembras comerciales (Poehlman, 1965).

3.3.2 Esterilidad masculina genética-citoplásmica

Este tipo de esterilidad se debe a la interacción de los genes de esterilidad masculina (*msc1* y *msc2*) presentes en el Kafir, con el citoplasma del Milo el cual posee esterilidad masculina.

Los genes *msc* del Kafir producen esterilidad masculina cuando están funcionando en el citoplasma del Milo (solo un gen *msc* recesivo es necesitado para producir la esterilidad masculina). Una vez que el gen *msc* ha sido transferido al citoplasma del Milo, éste puede ser mantenido como una línea parental estéril no productora de polen, mediante la polinización continua con el mismo genotipo pero en el citoplasma del Kafir. El gen *msc* en el citoplasma del Kafir da plantas completamente fértiles, las cuales producen polen normal. Una línea normal restauradora la cual porta el gen *Msc* (llamada línea "R"), contrarresta el efecto del citoplasma, así que la fertilidad de las plantas que provienen de la semilla producida en el parental estéril, es restaurada en la F1 (Doggett, 1988).

Para la producción de semilla híbrida de sorgos utilizando la EMC, se ha formulado el siguiente procedimiento:

- a) Conservación y multiplicación de la línea con EMC. La línea A con esterilidad masculina se cultiva en un campo aislado y se poliniza con la línea B. Esta línea es idéntica a la A, excepto que tiene fertilidad masculina (conocida como isolínea).
- b) Una vez que se aumenta la línea A con su isolínea, se cultiva en un segundo campo aislado y se poliniza con la línea R. Esta línea tiene fertilidad masculina y genes restauradores del polen.
- c) Uso de la semilla de cruce simple. La semilla híbrida de cruce simple (AxR), se vende a los productores para producción comercial del híbrido (Poehlman, 1965).

3.3.3 Sistemas de esterilidad genética-citoplásmica en el sorgo

En vista del uso del citoplasma Milo en la producción de casi todos los híbridos en el mundo y de los posibles peligros con el uso de este único citoplasma, se han hecho

esfuerzos para desarrollar sistemas adicionales de esterilidad masculina genética-citoplásmica.

Según Schertz y Pring (1982), varios investigadores como N. G. P. Rao, Webster y Ross han encontrado nuevos citoplasmas inductores de esterilidad masculina en diferentes líneas, entre las cuales están diferentes líneas de la colección mundial convertidas a menos fotosensibles, conversión hecha en Texas, también líneas de la India, la línea 9E y las líneas KS. Estos nuevos citoplasmas han sido encontrados y desarrollados en diferentes centros de mejoramiento en los Estados Unidos y la India.

Según Quinby (1982), los diferentes sistemas han sido designados con una letra A y un número. Una asignación "A1" al citoplasma en el cual Stephens y Holland (1954) esterilizaron masculinamente la primera línea con esterilidad masculina citoplásmica. Este citoplasma provino de la variedad Milo. La designación "A2" fue dada al citoplasma inductor de esterilidad masculina reconocido por Schertz (1977) en la variedad IS 12662C originaria de Etiopía. La designación "A3" fue dada al citoplasma encontrado en la variedad Indú, Nilwa IS 1112C.

3.4 OBTENCIÓN Y SELECCIÓN DE LAS LÍNEAS "A", "B" Y "R"

La obtención de excelentes progenitores es un paso muy significativo en la producción de cualquier híbrido de sorgo.

La tarea principal es mejorar un progenitor en su capacidad de mantenerse erguido, resistencia a enfermedades o insectos, o en algún otro carácter deseable. Por ello, en un programa de hibridación y selección, un progenitor es la línea "élite", con alta aptitud combinatoria (Cuadro 1).

La capacidad de combinación de un solo progenitor con muchos otros es lo que se llama Aptitud Combinatoria General (ACG), y la capacidad individual de combinación de un progenitor con otro es la Aptitud Combinatoria Específica (ACE), (Brauer, 1973). Dicha capacidad se puede descubrir en las pruebas de rendimiento de los híbridos; por lo tanto, este reconocimiento de progenitores superiores masculinos y femeninos es posterior a la selección de las líneas, al cruzamiento para producir semilla híbrida y a la prueba de rendimiento de sus híbridos. No es raro comenzar dicha prueba cuando un progenitor masculino pertenece a la generación F5 y por consiguiente no es puro en todos sus caracteres. La prueba de progenitores femeninos debe realizarse después de lograr la androesterilización de la línea, y para adelantar el programa todo lo posible, el proceso de esterilización se inicia en la generación F4 (Wall y Ross, 1975).

El proceso de prueba de rendimiento de los híbridos de los cruces entre progenitores masculinos y femeninos es el siguiente:

1. Selección de los progenitores masculinos y progenitores femeninos que participarán en la prueba de rendimiento.
2. Se cruza cada progenitor masculino con todos los femeninos en la prueba.

3. Se evalúa el rendimiento de los híbridos de cada progenitor masculino con todos los progenitores femeninos y viceversa.
4. Se seleccionan los progenitores masculinos y femeninos con mejor aptitud combinatoria, o sea con los híbridos de mayores rendimientos.

Cuadro 1. Aptitud combinatoria de los progenitores de sorgos híbridos.

<p>ACG (Machos) = $\bar{X}_i - \bar{Y}$</p> <p>ACG (Hembras) = $\bar{X}_j - \bar{Y}$</p> <p>ACE (Híbridos) = $\bar{X}_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j - \bar{Y}$</p> <p>$\bar{X}_{ij}$ = La media de un híbrido dado promediado sobre las repeticiones.</p> <p>\bar{X}_i = La media de los híbridos con un macho dado promediado sobre todas las repeticiones y hembras.</p> <p>\bar{X}_j = La media de los híbridos dentro de una hembra dada promediados sobre repeticiones y machos.</p> <p>\bar{Y} = La media de todos los híbridos.</p>

Fuente: Clara (s. f.).

3.4.1 Identificación de las estirpes por su reacción de línea B o R

Se puede identificar si una selección o variedad tiene reacción de línea B o R cruzándola con una línea A (androesteril). La F1 de una línea AxB será androesteril. La F1 de una línea A x R será completamente fértil. El objetivo de los procesos de cruzamiento es la obtención de líneas B que produzcan esterilidad completa y líneas R que recuperen totalmente la fertilidad del híbrido F1. Las líneas que no cumplan este requisito deben ser descartadas (Wall y Ross, 1975)

3.4.2 Androesterilización de las líneas B o conversión a las líneas A

Para androesterilizar a las líneas B y producir líneas A, se colocan los cromosomas de las líneas B en el citoplasma inductor de esterilidad (línea A), por selección apareada de pro genie, en un proceso de retrocruza (Figura 4). Generalmente el proceso de androesterilización de una línea B comienza antes que la línea sea homocigótica (F5), y mientras se desarrolla prosigue la selección en busca de caracteres agronómicos convenientes. Es necesario realizar el cruzamiento apareado de pro genie porque la androesterilidad se expresa solo en la pro genie híbrida, pero la selección solo puede producirse en el progenitor recurrente, la línea B, ya que la línea A solo se está usando para esterilizar la línea B de interés (Wall y Ross, 1975).

Los primeros cruzamientos de la línea B, que será androesterilizada, se hacen sobre cierta línea A conveniente. La pro genie de cada selección de línea B y la de su

cruzamiento con la línea A son sembradas en hileras adyacentes (apareadas). Después que la floración está bien avanzada y se puede evaluar la androesterilidad de las plantas de las hileras de la línea A (progenie de cruzamiento), se cruzan una o más panojas de la hilera de mayor androesterilidad con plantas de la hilera de línea B apareada y se registran las plantas cruzadas. Las semillas de los nuevos cruzamientos y de sus progenitores de la línea B son sembradas en progenies apareadas A y B en la siguiente generación. Los cruzamientos posteriores sólo se realizan entre plantas de la línea A y B, cuyas hileras de la línea A sean androesteriles y cuyas hileras de línea B sean agrónomicamente aceptables. Este proceso continúa hasta que, dentro de una familia, las hileras de la línea B sean similares entre sí, y las de línea A androestériles (Wall y Ross, 1975).

La selección se hace con base en las principales características positivas que debe tener la línea A (Cuadro 2).

Cuadro 2. Principales características de una buena línea A.

Característica	Calificación
Altura	Poco menor que el macho
Días a floración	Igual o 2 días más precoz que el macho
Adaptación	Buena
Receptividad de polen	Buena
Aptitud combinatoria	Cristalino, duro y pericarpio fino
Grano	Mediano a grande
Tamaño de grano	Buena
Exerción	Moderado
No. de hojas	A enfermedades y plagas
Tolerancia	Buena
Trilla	

Fuente: Clara (s.f.).

3.4.3 Selección de la línea R

Con frecuencia es necesario cruzar las líneas R con las líneas B porque ciertas características deseadas en la línea R están en la línea B. En tal caso, a veces puede seleccionarse una línea R conveniente, de una con recuperación parcial que todavía sea heterocigótica para los loci *Msc*. El proceso es casi similar a la selección apareada de progenie. Las plantas de esa línea R se prueban cruzándolas con una línea A y se seleccionan en la generación siguiente las hileras cuyos progenitores recuperaron completamente la fertilidad en los cruzamientos de prueba. Si las líneas que recuperan bien la fertilidad no se identifican en seguida probablemente no se obtendrá ninguna línea R (Wall y Ross, 1975).

La selección, como en la línea A, se hace con base en características positivas observadas en la línea R (Cuadro 3).

Cuadro 3. Principales características de una buena línea R.

Característica	Calificación
Altura	1 a 1.5 m
Días a floración	Igual o dos días tarde que la línea A
Producción de polen	Buena
Aptitud combinatoria	Buena
Grano	Cristalino duro
Adaptación	Buena
Exerción	No necesaria buena
Productividad	Buena
Tolerancia	A enfermedades y plagas

Fuente: Clara (s.f.).

3.4.4 Mantenimiento de las líneas A, B y R

Básicamente la perpetuación de las líneas B y R es por autofecundación, y en el caso de la línea A, ésta se cruza con su isolínea B (línea idéntica pero con citoplasma fértil), obteniéndose siempre, plantas androestériles pertenecientes a la línea A y plantas fértiles por autofecundación pertenecientes a la línea B.

4. MATERIALES USADOS

Para la elaboración de este manual se tomaron en cuenta las indicaciones dadas por el formato de modalidades de proyectos de graduación; tomando como guía el proyecto Manual de Procedimientos y Métodos.

Como material de consulta se utilizaron libros y folletos relacionados con la producción de sorgo y sus híbridos, además se contó con la experiencia de personas que estuvieron relacionadas con la producción del Híbrido Sorgo Ganadero.

Los materiales usados para poder realizar el proceso de protección y polinización manual de las líneas del sorgo híbrido Ganadero, son los siguientes:

- Gabacha: Utilizada para guardar las bolsas polinizadoras, la grapadora, marcadores y la navaja, cuando se realiza el proceso.
- Bolsa de polinización: Utilizada para proteger la panoja de la fertilización por polen extraño.
- Grapadora: Se usa para asegurar que la bolsa quede bien fija sobre la panoja y evite la contaminación de otro tipo de polen.
- Navaja: Se usa para cortar las hojas que impidan la colocación de la bolsa.
- Marcadores: Se usan para identificar los cruces entre las plantas en el mantenimiento de las líneas A y B.

5. PRODUCCIÓN DEL HÍBRIDO SORGO GANADERO

El Híbrido Sorgo Ganadero es un híbrido del tipo forrajero, utilizado para corte, pastoreo y ensilaje, con alta capacidad de rendimiento y resistente al patotipo 1 y medianamente resistente al patotipo 5 de *Peronosclerospora sorghi* (Weston & Uppal), agente causal de la Cenicilla o Mildiú. El híbrido fue desarrollado colaborativamente por la Secretaría de Recursos Naturales (SRN), la Escuela Agrícola Panamericana y el Proyecto Internacional de Sorgo y Mijo (INTSORMIL), del programa de apoyo a la Investigación Colaborativa Título XII de la Agencia para el Desarrollo Internacional del Gobierno de los Estados Unidos de América (EAP- SRN-INTSORMIL, 1993).

El sorgo Ganadero es un híbrido derivado de la cruce entre el sorgo granífero ATx623 y el sorgo sudan RTx2784; ambas líneas liberadas por la Universidad de Texas A&M. En los años de 1987 y 1988 se evaluaron diferentes combinaciones híbridas entre dos hembras de sorgo granífero y varios machos del tipo sudan, para rendimiento, adaptación, capacidad de rebrote y resistencia a *P. sorghi*. El híbrido ATx623 x RTx2784 resultó ser superior para todas estas características en conjunto y se denominó “Ganadero” en alusión al tipo de productor que usa esta clase de sorgo (EAP- SRN-INTSORMIL, 1993).

La descripción de las características morfológicas y fisiológicas de las plantas de cada línea parental y del híbrido se muestra en los cuadros 4 y 5.

5.1 MANTENIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE LAS LÍNEAS ATx623, BTx623 Y RTx2784 PARA LA PRODUCCIÓN DEL SORGO HÍBRIDO GANADERO

Según la FAO (1987), la calidad de la semilla híbrida depende de la pureza de las líneas A, B y R que se usen y por lo tanto durante el proceso de mantenimiento y producción de las mismas se deben tomar en cuenta aspectos como el aislamiento, eliminación de plantas atípicas y la participación de personal entrenado para el mantenimiento y producción de las líneas.

Cuadro 4. Características de las líneas parentales del híbrido sorgo forrajero “Ganadero”.

Característica	ATx623 (Hembra)	RTx2784 (Macho)
Color del pericarpio	Blanco	Blanco
Grosor del pericarpio	Intermedio a grueso	Delgado
Testa del grano	Sin testa pigmentada	Sin testa pigmentada
Forma del grano	Redonda	Elíptico
Lenma	Sin arista	Con arista
Habito de crecimiento de las hojas	Erectas	Erectas
Habito y forma de la panoja	Erecta, elíptica y semi-cerrada	Erecta, elíptica y abierta
Color de la planta	Roja	Amarilla
Color y cobertura de glumas	Rojo con 35-50% de cobertura	Amarillo siena con 100 % de cobertura
Nervadura de la hoja	Opaca	Opaca
Jugosidad del tallo	Jugoso	Muy jugoso
Dulzura del tallo	Poco dulce	Poco dulce
Días a 50 % de floración	62-65 días	55-65 días
Brix a 40-50 días	6.75°	5.75 °
Altura	1.5-1.7 m	1.8-2.1 m
Macollamiento	Macollos axilares	4-6 macollos por planta
Acame	Resistente	Resistente

Fuente: EAP-SRN-INTSORMIL, 1993.

Cuadro 5. Características del híbrido sorgo forrajero “Ganadero”.

Característica	Descripción
Color del coleóptilo	Blanco
Color del pericarpio	Blanco
Grosor del pericarpio	Intermedio
Testa del grano	Testa pigmentada
Forma del grano	Elíptico
Lenma	Con arista
Hábito de crecimiento de las hojas	Erectas
Hábito y forma de panoja	Erecta, elíptica y abierta
Color de la planta	Roja
Glumas	Color siena-caoba con 50-70% de cobertura
Nervadura de las hojas	Opaca
Jugosidad del tallo	Muy jugoso
Dulzura del tallo	Mediana
Días a 50 % de floración	50-55 días
Brix a 40-50 días	4.0 a 5.0°
Altura	2-3 m
Macollamiento	1.8-2.0 macollos
Acame	Resistente

Fuente: EAP-SRN-INTSORMIL, 1993.

5.1.1 Mantenimiento de la semilla genética de la línea RTx2784

La semilla que se usa es semilla genética proveída por el fitomejorador responsable de la línea, por lo que se considera 100% genéticamente pura.

El proceso que debe seguirse es el siguiente:

- a) La semilla genética que se usa debe estar almacenada en condiciones óptimas de humedad relativa y temperatura, en sobres conteniendo la semilla de una panoja y al realizar la siembra se debe usar un sobre por surco.
- b) Seleccionar el terreno. No deben haber malezas del género *Sorghum*, tal como el pasto Johnson, también que no se haya producido ningún tipo de sorgo en el ciclo anterior para evitar todo tipo de contaminación.
- c) Preparar el terreno de tal manera que permita una adecuada germinación (terreno bien mullido).
- d) Se recomiendan parcelas con área pequeña, para tener mejor control de la pureza de la línea. Las parcelas pueden tener una población inicial de 200 mil a 250 mil plantas por hectárea (con el objetivo de no afectar la producción de semilla ya que en total se elimina hasta el 40% de las plantas antes de cosecha).

- e) Cuando se puede aislar las parcelas se deben aplicar las distancias adecuadas de aislamiento (Cuadro 6).
- f) Cuando el aislamiento no se puede realizar se deben proteger las panojas de polen extraño con bolsas de polinización para que después se autofecunden.
- g) Se deben eliminar las plantas fuera de tipo y dudosas, antes, durante floración y antes de cosecha, para asegurar la pureza de línea. Las plantas fuera de tipo son plantas que difieren en las características morfológicas, fisiológicas y de color propias de la línea (Cuadro 4). El origen de estas plantas puede ser de ciclos anteriores, malezas como el pasto Johnson y también plantas de la línea fecundadas con polen extraño.
- h) Al momento de la cosecha, a madurez fisiológica, se debe desgranar una panoja por sobre e identificarla, para tener mejor control de la semilla.
- i) Almacenar preferiblemente a HR de 45% y temperatura de 10 °C.
- j) Cuando se necesite incrementar la semilla genética se siembra nuevamente la semilla de un sobre por surco y se sigue el proceso antes mencionado.

Según FAO (1987), los terrenos donde estarán ubicados los lotes de producción, no deben ser usados para producir sorgo comercial, como también, se deben usar terrenos sin problemas de anegamiento para evitar problemas con enfermedades fungosas.

Cuadro 6. Aislamiento (m) del campo de producción de semillas de variedades de polinización libre con contaminantes de polen extraño.

Clase de cultivo	Categoría	Contaminantes				
		Grano	Forrajero (T. sudan)	Escobero	Jhonson	Zacate sudan
Granífero	Fundación (Básica)	500	1000	5000	400	1000
	Registrada	400	1000	5000	400	1000
	Comercial	200	500	5000	400	500
Forrajero	Fundación (Básica)	300	300	5000	500	1000
	Registrada	300	300	5000	500	1000
	Comercial	100	100	5000	300	1000

Fuente: CENTA, 1984; citado por Clara (s. f.).

El aislamiento también se puede realizar mediante la separación de las fechas de siembra entre las variedades de sorgo, lo que permite que la floración de las variedades no coincida evitando la contaminación de polen. Este aislamiento se logra separando la siembra de las líneas para la producción del híbrido por lo menos 30 días entre siembras, con el objetivo de que la etapa de floración no coincida entre ellas.

5.1.2 Producción de la semilla básica de la línea RTx2784

En este caso se usa un grupo de semilla genética formado por una parte de la semilla de cada sobre que se seleccionó durante el incremento o mantenimiento de la semilla genética.

Esta semilla es la que se utiliza en el cruce para la producción del Híbrido Sorgo Ganadero.

Los pasos para la producción a seguir son:

- a) Seleccionar y preparar el terreno cumpliendo con los requisitos antes mencionados.
- b) Formar un grupo de semilla genética de cada sobre que se ha almacenado
- c) El área a sembrar dependerá de la cantidad de semilla básica necesaria.
- d) El espaciamiento entre plantas y surcos, debe permitir una población inicial de 200 a 250 mil plantas por hectárea.
- e) Deben cumplirse los requisitos de aislamiento (Cuadro 6) para evitar la contaminación con polen extraño, si no, se autofecundan o protegen las panojas.
- f) La autofecundación se logra mediante la protección de las panojas de polen extraño con bolsas de polinización, las cuales deben colocarse cuando las plantas estén en la etapa de “buche” (la etapa donde la panoja comienza a emerger).
- g) Se deben realizar las actividades de inspección y raleo antes y durante la floración de las plantas y antes de cosechar la semilla.
- h) La cosecha debe realizarse a madurez fisiológica de las plantas, para evitar daños a la semilla si se dejase mayor tiempo en el campo.
- i) Almacenar semilla con 10% de humedad a una humedad relativa de 45% y 10 °C.

5.1.3 Mantenimiento de la semilla genética de las líneas ATx623 y BTx623

El mantenimiento de la semilla genética de las líneas ATx623 y BTx623, es similar al de la línea RTx2784. Se debe usar la semilla almacenada en condiciones óptimas (semilla con 10% de humedad, humedad relativa de 45% y temperatura de 10 °C) y en sobres conteniendo la semilla de una panoja. Esta semilla proviene también del fitomejorador responsable de ambas líneas.

La siembra se realiza en surcos apareados de A y B, para poder realizar la polinización cruzada de B sobre A (Figura 5)

bolsas en las panojas. La polinización se realiza tomando polen en la bolsa que protege la panoja de la planta de la línea B y transferiéndolo a su par en la línea A. Se debe usar una tercera bolsa para proteger de contaminación con polen extraño la panoja de la línea B, mientras se realiza la polinización.

5.1.4 Producción de semilla básica de las líneas ATx623 y BTx623

Esta semilla se usará en el cruce para producir el Híbrido Sorgo Ganadero, en el caso de la línea A sirve como progenitor femenino y en el caso de la línea B se usa para la producción de semilla de la línea A. La semilla básica de la línea A se utilizará en la producción del híbrido, al realizar el cruce con la línea RTx2784.

La semilla que se usa para la producción de semilla básica, es un grupo de semilla genética formado de cada sobre seleccionado conteniendo semilla de las líneas A y B.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- a) Seleccionar y preparar el terreno de acuerdo a los requisitos a cumplir.
- b) Sembrar surcos apareados de cada línea A y B.
- c) El área a sembrar dependerá de la cantidad necesitada de semilla de la línea A, sin embargo se pueden usar lotes de hectárea. El espaciamiento entre plantas y surcos debe permitir una población inicial de 200 a 250 mil plantas por hectárea.
- d) Proteger las plantas de cada línea con bolsas de polinización y realizar la polinización de B sobre A, en la etapa de antesis. La antesis, es la etapa donde la planta ha llegado al 50% de floración.
- e) Igual que en la producción de semilla genética, la inspección y el raleo debe realizarse antes, durante floración y antes de cosecha.
- f) En el raleo se deben eliminar toda planta dudosa, que no tenga las características propias de cada línea, todas las malezas del género *Sorghum*, plantas de la línea A que produzcan polen y plantas de las líneas A y B que no se hayan protegido.
- g) La cosecha se debe realizar a madurez fisiológica, pero cuando se tienen lotes con áreas grandes es recomendable realizarla mecánicamente, por lo que la humedad de la semilla debe estar entre 18 y 22%.
- h) Cosechar la semilla de cada línea y almacenar en condiciones óptimas para su posterior utilización (Humedad Relativa de 45%, 10 °C y la semilla con 12% de humedad).
- i) Identificar la semilla, para tener control en el futuro cuando se utilice.

Para cubrir o proteger las panojas de las plantas de cada línea, con las bolsas de polinización de debe realizar lo siguiente:

- Identificar las plantas de las dos líneas que estén iniciando floración o en buche.
- Cortar las hojas que impidan la colocación de la bolsa sobre la panoja.
- Colocar la bolsa sobre la panoja y asegurarse que quede bien fija, para lo cual se tiene que grapar la bolsa. Cuando se piensa que se pueden tener problemas con insectos u hongos en la panoja, se puede impregnar la bolsa con algún insecticida o fungicida.

5.1.5 Producción del Híbrido Sorgo Ganadero

El proceso de producción de semilla del híbrido involucra la cruce en lotes aislados de la línea hembra ATx623 con el macho restaurador RTx2784, en una proporción de 6A y 2R o 12A y 3R, sembrando ambas líneas simultáneamente.

El arreglo de los surcos sembrados con cada línea parental se presenta en la figura 6.

El terreno debe cumplir con los requisitos de aislamiento (Cuadros 7 y 8), además, los referentes a malezas del género *Sorghum* y cultivos de otras variedades de sorgo.

La siembra, además de planificarla para obtener aislamiento en tiempo, se debe hacer de tal manera que la cosecha no coincida con lluvias, lo cual afectaría significativamente la calidad de la semilla híbrida a cosechar.

Es recomendable sembrar de seis a ocho surcos con la línea R, en los bordes de los lotes de producción para asegurar más la protección de contaminación por polen extraño, al servir como una barrera.

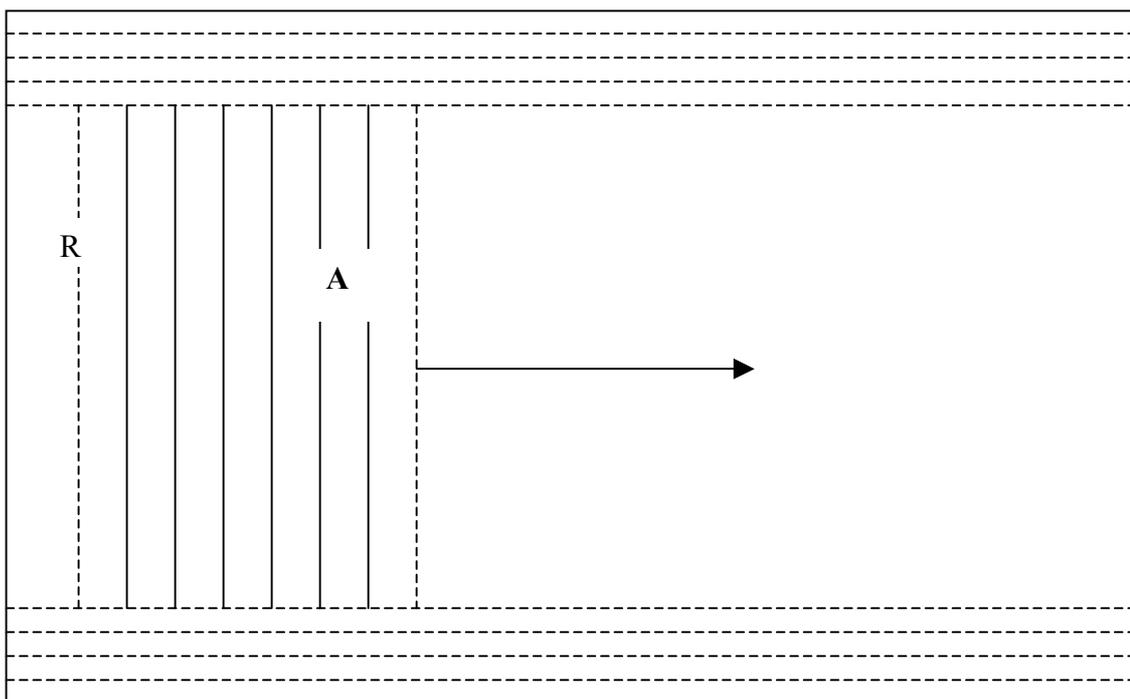


Figura 6. Arreglo de los surcos en el campo de las líneas ATx623 y RTx2784.

Cuadro 7. Aislamiento (m) necesario del campo de producción de semilla para híbridos con diferentes contaminantes de polen extraño.

Clase de Cultivo	Categoría	Contaminantes			
		Grano	Forrajero	Escobero	
Johnson	Zacate				
Sudan			(T.sudan)		
Granífero 1000	Fundación	1000	2000	5000	500
	(Básica)				
	Comercial	500	1000	5000	400
1000					
Forrajeros 1000	Fundación	1000	2000	5000	600
	(Básica)				
	Comercial	300	300	5000	400
400					

Fuente: CENTA, 1984; citado por Clara (s. f.).

Cuadro 8. Numero de surcos borderos de machos utilizados a diferentes superficies del campo de producción de semilla para reducir la distancia de aislamiento.

No. de surcos borderos del Progenitor masculino	Distancias mínimas de otros campos de sorgo al Progenitor femenino (m).			
	* 1-5	5-10	10-15	15 o más
5	200	185	170	165
10	195	165	155	150
15	170	140	135	130
20	145	115	110	100
25	120	90	85	75
30	95	65	60	55
35	70	50	--	--

* Superficie en hectáreas del campo para producción de semilla

Fuente: PRONASE, 1985; citado por Clara (s. f.).

El área de los lotes dependerá de la necesidad de semilla híbrida. Se debe asegurar una población inicial de 250 mil plantas por hectárea para obtener una producción de semilla híbrida rentable.

Según FAO (1987), para evitar el riesgo de contaminación genética es importante que la semilla sea producida solo en campos en los cuales no se haya cultivado en el ciclo anterior. Como sea, si tales campos no pueden ser prevenidos, se deben regar lo temprano suficientemente para hacer germinar cualquier grano que haya quedado y después eliminar las plántulas durante la preparación del terreno.

Para asegurar la pureza de la semilla híbrida se deben hacer inspecciones antes de floración, durante floración y antes de cosecha, eliminar todas las plantas dudosas y las malezas como el pasto Johnson, como también las plantas dentro de la línea ATx623 que produzcan polen.

El macho (RTx2784) posee una alta capacidad de macollamiento y comienza a botar polen 10 días antes que la hembra y continúa más allá del periodo en que la hembra (ATx623) permanece receptiva. Las siembras de campo se deben planificar de tal manera que el viento sea perpendicular a la dirección de siembra para lograr la máxima fertilización de los óvulos. Es recomendable que la cosecha de la semilla híbrida (plantas hembras) se realice mecánicamente con combinada. La cosecha mecánica además de ser más eficiente, reduce los costos de cosecha y permite destinar áreas más grandes a la producción de semilla. Al mismo tiempo minimiza el riesgo asociado con la pérdida de viabilidad de la semilla causada por hongos de campo, al reducir significativamente el tiempo de cosecha (EAP-SNR-INTSORMIL, 1993).

En Honduras existe la Ley de semillas con la cual se debe cumplir para poder producir y comercializar la semilla que se produzca (Anexo 1).

5.1.6 Contaminantes de la producción de semilla híbrida de sorgo

Los contaminantes principales para la producción de semilla híbrida de sorgo son polen de plantas de otras variedades de sorgo, hierbas o malezas nocivas del género *Sorghum* y semillas de plantas hembras que produjeron polen durante el ciclo o plantas fuera de tipo.

La tolerancia de estos contaminantes dependen de la categoría de la semilla (Cuadro 9).

Cuadro 9. Tolerancia (no. de semillas) de campo para la semilla certificada de sorgos híbridos para grano y forraje.

	Categoría de semilla	
	Básica	Certificada
Plantas de otras variedades (máx.)	Ninguna	3 por ha.
Plantas de hierbas nocivas	Ninguna	Ninguna
Plantas de la hembra produciendo polen en cualquier inspección.	Ninguna	Ninguna

Fuente: SNICS, 1980; citado por Clara (s. f.).

5.2 UTILIZACIÓN DEL HÍBRIDO SORGO GANADERO

El forraje del sorgo híbrido “Ganadero” se puede utilizar para pasto de corte, pastoreo y ensilaje, en diversos ambientes y tipos de explotación ganadera. Para corte, el primer corte se debe hacer a los 40-50 después de siembra, después del primer corte se debe fertilizar con nitrógeno (urea), para realizar el segundo corte a los 40-50 días, logrando una producción total de 81 TM/ha de material fresco. Como pasto de corte se recomienda cortar los tallos a una altura de 15-20 cm de la superficie del suelo para obtener un rebrote vigoroso para el siguiente corte. En el caso de usarlo para pastoreo, realizar el primer pastoreo a los 40-50 días de siembra. Mantener el ganado en el potrero hasta que consuma el forraje sin destruirlo para asegurarse un rebrote vigoroso y luego del rebrote fertilizar con nitrógeno para volver a pastorear a los 30-35 días después del primer pastoreo. Para ensilaje cortar el sorgo cerca de madurez fisiológica, o sea cuando el grano alcance el estadio de masoso duro. En este período la humedad es alrededor de 65-70% y la materia seca entre 30-35%. Se recomienda picar la planta lo más fino que se pueda, llenar el silo lo más pronto posible y compactarlo adecuadamente (EAP-SRN-INTSORMIL, 1993).

La composición química del ensilaje se presenta en el cuadro 10.

Cuadro 10. Composición química del ensilaje de sorgo Ganadero, cosechado en el estadio masoso duro.

Composición	Porcentaje
MS	26.7
Cenizas	9.1
PC	9.1
ET	3.0
FND	64.7
FAD	45.2
N-FND	0.3
N-FAD	0.2
Lignina	7.7
DIVMO	55.7
E D	2.3

Fuente: Suazo, 1993.

6. RESULTADOS ESPERADOS

Se espera que este manual facilite el proceso que conlleva la producción y mantenimiento de la semilla genética y básica de las líneas que participan en la producción del Híbrido Sorgo Ganadero.

Respecto al proceso de producción y mantenimiento se espera lo siguiente:

1. Lograr buena producción de semilla genética y básica de las líneas ATx623, BTx623 y RTx2784, de acuerdo con lo siguiente:

En la línea A, se espera que se logre una polinización del 60% de la panoja protegida y polinizada con polen de la línea B y producir aproximadamente 2000 semillas por panoja.

En las líneas B y R, ya que es una autopolinización, se espera de 90% a 100% de polinización y una producción aproximada de 4000 semillas por panoja en la línea B y de 300 semillas en la línea R.

El porcentaje de polinización se puede verificar, revisando la panoja al quitar la bolsa que la protege y observando la proporción de grano con respecto a las espiguillas en la panoja.

El número de semillas por panoja se puede calcular al pesar 1000 semillas, sacar un peso promedio por semilla, luego pesar el total de semillas de la panoja y dividir el peso total entre el peso promedio por semilla.

2. Producir semilla de calidad, con la máxima pureza y libre de contaminantes.
3. Dar a entender a la persona que consulte este manual todo el proceso relacionado a la producción de híbridos de sorgo.

Respecto a la reactivación del programa de semilla básica del Híbrido Sorgo Ganadero, se espera que se tomen en cuenta los pasos siguientes:

- a) Solicitar semilla genética de las líneas ATx623, BTx623 y RT2784, a la Universidad de Texas (A&M), quien es la entidad responsable de estas líneas.
- b) Nombrar la persona o departamento en Zamorano, que será responsable del mantenimiento de estas líneas y de la producción del Híbrido Sorgo Ganadero.
- c) Seleccionar cuidadosamente los lotes que se destinarán para la producción de la semilla genética, básica de las líneas parentales y del híbrido, porque casi todos los terrenos de Zamorano están contaminados con el pasto Johnson.

7. BIBLIOGRAFÍA

- BENNETT, WILLIAM F.; TUCKER, B. BILLY.; MAUNDER, A. BRUCE. 1990. Modern grain sorghum production. Ames, Iowa, USA. Iowa Estate University Press. 169p.
- BRAUER, OSCAR. 1973. Fitogenética Aplicada. México D. F. Edit. LIMUSA. 518p.
- CLARA V. RENE. s.f. Formación de sorgos híbridos. Comunicación personal escrita.
- COMPTON L. PAUL. 1990. Agronomía del sorgo. Trad. Por. Paul Compton, M.G. López. El Salvador, C. A. Centro de Tecnología Agrícola (CENTA). 301p.
- CRISTIANI BURKARD, ANTONIO J. 1987. Instructivo Cultivo del Sorgo. 46p.
- DOGGETT, HUGH. 1988. Sorghum. 2 ed. New York. Edit. Longman Group UK Limited. 512p.
- EAP (Escuela Agrícola Panamericana); SRN (Secretaría de recursos Naturales); INTSORMIL (Programa internacional del Sorgo y el Mijo). 1993. Ganadero un Sorgo Forrajero nuevo en Honduras.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1987. Hybrid seed Production of selected cereal oil and vegetable crops. 367p.
- LÓPEZ TORRES, MARCOS. 1995. Fitomejoramiento. Mexico D. F. Edit. Trillas. 172p.
- POEHLMAN, JOHN MILTON. 1965. Mejoramiento Genético de las Cosechas. Ed. J. L. De la Loma. Trad. N. Sánchez Durón. Mexico D. F., Edit. LIMUSA-WILEY. 453p.
- QUINBY, J. ROY. 1974. Sorghum Improvement and the Genetics of Growth. Texas, USA. Texas A&M University Press. 108p.
- QUINBY, J. ROY. 1982. Sorghum in the Eighties: Interaction of Genes and Cytoplasm in Sex Expression in Sorghum. Ed. J. V. Martin. Patancheru, A. P. India: ICRISAT (International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics). 385-391p. 1 v.
- SCHERTZ, K. F., PRING D.R. 1982. Sorghum in the Eighties: Cytoplasmic Sterility Systems in Sorghum. Ed. J. V. Martin. Patancheru, A. P. India: ICRISAT (International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics). 373-383p. 1 v.

SUAZO CHINCHILLA, HECTOR E. 1993. Producción de vacas lecheras alimentadas con ensilaje de sorgo y dos niveles de concentrado. Tesis Ing. Agr. El Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana. 53p.

WALL, JOSEHP S., ROSS, WILLIAN M. 1975. Producción y usos del Sorgo. Ed. J. S. Wall. Trad. A. O. Bottaro. Buenos Aires, Argentina. Edit. Hemisferio Sur. 399p.

Anexo 1. Aspecto legal en la producción de semilla

Según el ACUERDO No. 1942. Reglamento de la Ley de Semillas.

ARTICULO 5. Compete a PRONAPROSE (Programa Nacional de Producción de Semillas), la certificación de semilla de los materiales mejorados que vayan a ponerse a disposición del público.

ARTICULO 9. Todos los materiales básicos genéticos producidos deben ser previamente probados y recomendados por el programa de Investigación Agrícola de la Secretaría de Agricultura y Ganadería.

ARTICULO 11. Toda persona natural o jurídica que se dedique a la producción o comercio de semillas estará obligada a inscribirse en el Registro Nacional de Producción de Semillas.

ARTICULO 23. Cuando los fitomejoradores públicos o privados tengan una variedad ya lista por ser lanzada para el uso público, éstos deben hacer solicitud del registro respectivo, enviando toda la información necesaria para que la Comisión de liberación de variedades pueda formarse un juicio amplio de la nueva variedad y tomar una buena decisión. Cuando sucediere el caso de un fitomejorador encontrarse una variedad que sobresale a las existentes, pero no ha cumplido con el período de evaluación establecido para la liberación definitiva dentro de las normas establecidas, la comisión podrá dar una autorización de inscripción provisional.

ARTICULO 24. Se debe inscribir en forma provisional en el Registro Nacional de PRONAPROSE, toda variedad de cultivos que según los datos experimentales que suministra el investigador o criador, ofrezca una o más ventajas sobre las existentes. El carácter de inscripción provisional durará hasta que los ensayos comparativos de rendimiento y calidad que haga la institución encargada, indique su valor final.

OBLIGACIONES DE LOS PRODUCTORES DE SEMILLAS

ARTICULO 25. Son obligaciones de los productores de semillas las siguientes:

- a) Presentar la solicitud como productor de semillas al PRONAPROSE.
- b) Mantener la calidad de la semilla acorde con la categoría a producir.
- c) Suministrar a los inspectores de PRONAPROSE la información que requieren en el cumplimiento de sus funciones y permitir la toma de muestras de sus lotes de semilla.
- d) Acatar las indicaciones que sobre el cultivo le sean presentadas por los inspectores en cada visita a su campo.

ARTICULO 27. Están autorizados para producir:

Semilla de Fundación:

- a) Las estaciones y campos experimentales de la Secretaría de Agricultura y Ganadería.
- b) Entidades estatales, privadas o instituciones internacionales a juicio de PRONAPROSE.

Semilla Registrada y Certificada.

- a) Las estaciones y campos experimentales de la Secretaria de Agricultura y Ganadería, como también productores privados, previo estudio a juicio de PRONAPROSE.
- b) Entidades estatales, privadas o instituciones internacionales a juicio de PRONAPROSE.

CONTROL DE CALIDAD

ARTICULO 35. Certificación de semillas: De acuerdo a la ley, PRONAPROSE es el encargado de ejercer la certificación de semillas en el país. Para la certificación de semillas se ejecutará control en forma general así:

- a) Control de los campos destinados a multiplicación de materiales.
- b) Control de procesamiento en las plantas procesadoras.
- c) Control de calidad a nivel de laboratorio.
- d) Coordinación de trabajos con otros programas afines que tengan relación con semillas.
- e) Coordinación y apoyo con otro programa de la región Centroamericana.
- f) Intercambio de información con otros laboratorios de semilla.

ARTICULO 40. Corresponde a la comisión de control de semillas, aceptar, rechazar o eliminar nuevas variedades, reglamentar el funcionamiento de criaderos de Semilleros, establecer tolerancias de sanidad y pureza de cultivos; germinación, impurezas y sanidad en las semillas de las variedades listas para la venta y aconsejar anualmente, las más adecuadas para cada zona.

Todo campo dedicado a la producción de semilla debe ser sembrado con materiales básicos, registrados y de acuerdo al control que sobre este material lleva PRONAPROSE.

ARTICULO 43. Control de calidad en el campo. El control de calidad del campo estará bajo la responsabilidad directa de los técnicos que sean nombrados en las Direcciones Regionales de la Secretaría de Agricultura y Ganadería de común acuerdo con la jefatura de PRONAPROSE.

ARTICULO 44. Descanso de terrenos. Los requerimientos mínimos de descanso para aquellos terrenos dedicados a multiplicación de semillas serán los siguientes:
Para el caso del sorgo es de 6 meses.

ARTICULO 46. Inspecciones de Campo: Se establecen cinco visitas a los campos debidamente inscritos ante PRONAPROSE para la producción de semillas:

- 1) Inspección de terreno
- 2) Antes de siembra
- 3) En floración
- 4) A la madurez y
- 5) A la cosecha.

ARTICULO 47. Aislamiento de los lotes: Las distancias que debe existir entre el campo para la producción de semillas y otro de la misma especie o de especie diferente que puedan causar problemas a la pureza varietal son las siguientes:

Para el caso del sorgo es de 500 m.

ARTICULO 66. Certificación de semilla de sorgo: La producción de sorgo en el país en los últimos años ha venido decreciendo y prácticamente un programa de certificación de semilla producida en el país deberá ser súper editada aun cuando haya una real producción. Sin embargo, se han tenido algunas experiencias y se pudiera pensar en los siguientes requisitos:

ARTICULO 67. Requisitos de campo:

a) Terreno: El terreno para la producción de semilla de sorgo certificada no debe haber sido sembrado durante el año anterior con ninguna clase de sorgo o maicillo, sea éste granífero, forrajero o escobero.

Deben evitarse aquellos terrenos en donde se sepa que hay infestación de “Cenicilla”.

b) Aislamiento: El aislamiento de los lotes de sorgo para certificación será:

Categoría de semilla	Distancia en metros	
	Variedades	Híbridos
Fundación	300	3000
Registrada	200	2000
Certificada	200	1500

Estas mismas distancias deben ser tenidas en cuenta si hubiere sorgo halapense o sorgo escobero.

b) Equipos: Tanto el equipo de siembra, como el de cosecha, transporte y el de procesamiento deben estar completamente limpios, libres de semillas o materiales contaminantes. El inspector de certificación debe cerciorarse que este requisito se cumpla.

ARTICULO 68. Requisitos de Laboratorio:

c) Muestreos y Muestras: El muestreo y el tamaño de las muestras para los análisis correspondientes deben ser tomados de acuerdo a las normas de ISTA.

d) Los requisitos mínimos de certificación a nivel de laboratorio serán:

Factor	Fundación	Registrada	Certificada
Semilla pura	98%	98%	98%
Semilla de otras variedades	Ninguna	2 sem./Kg	3 sem./Kg
Semilla de otros cultivos	Ninguna	2 sem./Kg	3 sem./Kg
Semilla de otras malezas	Ninguna	2 sem./Kg	4 sem./Kg
Materia Inerte	2 %	2 %	2 %
Semilla picada por insectos	2 %	2 %	2 %
Contenido de Humedad	12 %	12 %	12 %
Germinación	80 %	80 %	80 %