

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS  
ESCUELA DE POSGRADO Y EDUCACION CONTINUA**

**PROGRAMA DE POSGRADO EN AGRONOMIA TROPICAL  
SOSTENIBLE**



“Caracterización morfoagronómica de 15 accesiones de sorgo  
(*Sorghum bicolor* L. Moench) con bajo contenido de lignina”

**Ing. Agr. Dora Antonia Villeda Castillo**

**Tesis**

**Presentada como requisito parcial para obtener el Grado de:**

**Maestra**

**en Agricultura Sostenible**

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2014

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR:**

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

**SECRETARIA GENERAL:**

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**

**DECANO:**

ING. M. SC. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

**SECRETARIO:**

ING. M. SC. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

Esta Tesis fue realizada bajo la dirección del Tribunal Evaluador de Tesis indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

**Maestra  
en Agricultura Sostenible**

**San Salvador, El Salvador, Centro América, 2014**

**Tribunal Evaluador de Tesis**

---

Dr. Francisco Lara Ascencio

Asesor de Tesis y Presidente del Tribunal Evaluador de Tesis

---

Ing. Agr. M. Sc. Fidel Ángel Parada Berríos

Secretario y Miembro del Tribunal Evaluador de Tesis

---

Ing. Agr. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia

Vocal y Miembro del Tribunal Evaluador de Tesis

---

Ing. Agr. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia

Coordinador de la Escuela de Posgrado y Educación Continua

## **Dedicatoria**

### **A JEHOVA EL TODO PODEROSO**

Quien me ha permitido todos los logros obtenidos hasta esta fecha y segura que él siempre estará conmigo en todo lo que haga.

### **A MIS HIJOS**

Miguel y Lucía, quienes me soportaron durante toda la carrera, pero hoy les digo misión cumplida.

### **A MI ADORADA NIETECITA**

Tú Alisson eres mi alegría y me diste ánimo para llegar a la meta final.

## **Agradecimientos**

Doy infinitas gracias a Jehová Dios por sobre todas las cosas, por haberme dado la fortaleza y sabiduría, gracias a ello he logrado realizar una de mis metas.

A la Universidad de El Salvador (UES), que me dio la oportunidad de formarme profesionalmente.

Al Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) y al Instituto para la Investigación del Sorgo y Mijo de Estados Unidos (INTSORMIL), por sus aportes científicos y financieros, haciendo posible la realización del presente trabajo de tesis.

Al Ing. René Clará, como representante de INTSORMIL a nivel latinoamericano por facilitarme el tema de la investigación.

A mi asesor consejero Dr. Francisco Lara Ascencio, por ser un destacado profesional en el área estadística y su asesoramiento durante toda la realización de mi trabajo de tesis.

Al Ing. M. Sc. Fidel Ángel Parada Berrios, por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo y su asesoramiento.

Al Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, por estar siempre dispuesto a ayudarme incondicionalmente

Al personal de INTSORMIL y al Sr. Raúl Fabián por ayudarme y ser una persona entregada al trabajo.

<b>Índice</b>	<b>Página</b>
<b>Resumen</b>	xii
<b>I. Introducción</b>	2
<b>II. Planteamiento del problema</b>	4
<b>III. Objetivos</b>	5
<b>IV. Hipótesis</b>	5
<b>V. Marco Teórico Conceptual</b>	6
5.1. Origen y Distribución del sorgo	6
5.2. Importancia económica del sorgo	6
5.3. Taxonomía y morfología	7
5.3.1. Taxonomía	7
5.3.2. Etapas fenológicas	8
5.3.3. Morfología	8
5.3.3.1. El Tallo	8
5.3.3.2. Pedúnculo	8
5.3.3.3. Las Hojas	9
5.3.3.4. Inflorescencia	9
5.3.3.5. Semilla	9
5.3.3.6. Raíz	9
5.4. Plagas y enfermedades	9
5.4.1. Plagas	10
5.4.2. Enfermedades	10
5.5. Tipos de sorgo	10
5.5.1. Variedades e híbridos sembrados en El Salvador	11
5.6. Recursos fitogenéticos	12
5.6.1. Disponibilidad y conservación en bancos de germoplasma a nivel mundial	12
5.6.2. Definición de accesión	13
5.6.3. Mejoramiento genético	13
5.6.4. Ventajas de los sorgos bmr	14
5.6.5. Importancia y características del Sorgo	14
5.7. Caracterización del Germoplasma	15
5.7.1. Caracterización Morfológica	15
5.7.2. Descriptores morfológicos	15
5.7.3. Tipos de descriptores	17
5.8. Producción y disponibilidad de semilla en El Salvador	18
5.9. Categoría de las semillas para la certificación	20
5.10. Métodos estadísticos multivariados aplicados a las caracterizaciones morfológicas	20
5.11. Análisis factorial mediante el método de componentes principales	22
<b>VI. Metodología</b>	23
6.1. Ubicación del lugar	23
6.2. Caracterización morfológica	23
6.2.1. Material experimental	23
6.2.2. Herramientas para la caracterización	24
6.3. Metodología de campo	24

6.3.1.	Tratamientos	24
6.3.2.	Manejo agronómico	25
6.3.3.	Siembra y densidad	25
6.3.4.	Fertilización	26
6.3.5.	Control de malezas	26
6.3.6.	Plagas y enfermedades	27
6.3.7.	Cosecha	28
6.3.8.	Aporreo	28
6.4.	Caracterización de las accesiones y toma de datos	29
6.4.1.	Toma de datos	30
6.4.1.1.	Descriptores cuantitativos	30
6.4.1.2.	Descriptores cualitativos	32
6.5.	Análisis estadístico	37
<b>VII.</b>	<b>Análisis de Resultados</b>	39
7.1.	Análisis descriptivo de la población	39
7.2.	Análisis factorial mediante el método de componentes principales	49
7.2.1.	Relación gráfica entre componentes principales	55
7.2.2.	Agrupación de las accesiones en función de las variables cuantitativas (análisis de conglomerados)	58
7.2.3.	Análisis de los descriptores cualitativos	65
7.2.4.	Análisis combinado de las variables cuantitativas y Cualitativas	74
<b>VIII.</b>	<b>Conclusiones</b>	78
<b>IX.</b>	<b>Recomendaciones</b>	80
<b>X.</b>	<b>Bibliografía</b>	81
<b>XI.</b>	<b>Anexos</b>	88

## Índice de Cuadros

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Clasificación taxonómica del sorgo.	7
Cuadro 2. Características agronómicas de las variedades de sorgo fotoinsensitivas.	11
Cuadro 3. Datos de pasaporte del material de <i>Sorghum bicolor</i> caracterizado en la localidad de la Estación Experimental San Andrés CENTA, 2011-2012	24
Cuadro 4. Cantidad de descriptores por categoría.	30
Cuadro 5. Promedio de los descriptores, desviación estándar, coeficiente de variación, Mínimos y máximos, para las 15 accesiones de <i>Sorghum bicolor</i> L. Moench	39
Cuadro 6. Comunalidades de los descriptores cuantitativos.	50
Cuadro 7. Correlaciones y significancia según descriptores en accesiones de sorgo Bmr. Estación Experimental San Andrés 1, año 2011.	51
Cuadro 8. KMO y Prueba de esfericidad de Bartlett.	52
Cuadro 9. Número de componentes principales y su relación con la varianza total explicada.	53
Cuadro 10. Matriz de componentes principales por descriptor.	55
Cuadro 11. Autovectores que conforman los componentes 1 y 2.	56
Cuadro 12. Autovectores para conformar el componente principal 3	57
Cuadro 13. Estadística descriptiva para descriptores cuantitativos según agrupación de accesiones de sorgo.	60
Cuadro 14. Método de Ward distancias Euclídeanas para las accesiones involucradas	61
Cuadro 15. Análisis de varianza (roy) y prueba de hotelling con una significancia de accesiones de sorgo. Estación Experimental San Andrés, año 2011.	65
Cuadro 16. Frecuencias absolutas y relativas de las características cualitativas y calificación del ICRISAT (1984) para los 15 accesiones de sorgo bmr.	65
Cuadro 17. Descriptores cualitativos por categoría y por conglomerado que se relacionan con las accesiones.	76

## Índice de Figuras

	<b>Página</b>
Figura 1. Mapa de ubicación de la investigación.	23
Figura 2. Plano de ubicación de las accesiones.	25
Figura 3. a) Siembra y establecimiento de la parcela. b) Densidad de 10 a 12 plantas por surco.	26
Figura 4. Momento de realizar la segunda fertilización.	26
Figura 5. Presencia de afídos ( <i>Rhopalosiphum maidis</i> ) en hojas y granos de sorgo	27
Figura 6. Protección de las panojas contra los pájaros	28
Figura 7. Tizón foliar de la hoja ocasionado por el hongo ( <i>Helminthosporium</i> sp)	28
Figura 8. a) Cosecha de la panoja b) Aporreo de las panojas, separación del grano	29
Figura 9. a) Tratamiento preventivo con folidol en polvo b) Secado al sol.	29
Figura 10. a) Medición altura de la planta utilizando estadía graduada b) Número de tallos florales del eje principal.	31
Figura 11. a) La antesis, el 50% de la población en floración. b) Tipos de excersión en sorgo	32
Figura 12. Presencia de cera o cutina en las accesiones de sorgo bmr.	33
Figura 13. Demostración de un tallo seco (CI0970) y tallo jugoso (CI0919)	34
Figura 14. Diferentes porcentajes de cobertura del grano por las glumas.	35
Figura 15. Forma de gordura de los granos en las accesiones de <i>Sorghum bicolor</i>	35
Figura 16. Forma de los granos de la panoja.	36
Figura 17. Tipos de textura del endospermo en sorgo.	36
Figura 18. Endospermo blanco en los genotipos de <i>Sorghum bicolor</i> bmr.	37
Figura 19. Comportamiento de la altura de las plantas durante el ciclo vegetativo de las 15 accesiones de sorgo.	40
Figura 20. Número de tallos producidos durante el ciclo del cultivo.	41
Figura 21. Variación de la longitud de inflorescencia de las 15 accesiones de sorgo	43
Figura 22. Comportamiento homogéneo del ancho de la inflorescencia de las 15 accesiones de sorgo.	44
Figura 23. Comportamiento de los días a floración en las accesiones de sorgo.	45
Figura 24. Excursión de la inflorescencia según tipo de accesión de sorgo.	46
Figura 25. Comportamiento del peso del grano de las 15 accesiones de sorgo bmr.	48
Figura 26. Valoración en el número de granos por panoja de las 15 accesiones.	49
Figura 27. Relación entre el primer y segundo componente principal.	56
Figura 28. Relación entre el primer y tercer componente principal.	58
Figura 29. Dendograma según conglomerados de los descriptores cuantitativos y accesiones.	61
Figura 30. Dendograma para el primer conglomerado y accesiones relacionadas	62
Figura 31. Dendograma para el segundo conglomerado y accesiones relacionadas	63
Figura 32. Dendograma para el tercer conglomerado y accesiones relacionadas	64
Figura 33. a) accesión con pigmentación b) accesión sin pigmentación.	69
Figura 34. Tipos de glumas: rojas, púrpura y claras	70
Figura 35. Color del grano según tabla de Munsell para las 15 accesiones de sorgo	72

## Índice de Anexos

	<b>Página</b>
Anexo 1. Descriptores Morfológicos para el cultivo de Sorgo utilizados por el ICRISAT.	88
Anexo 2. Superficie y producción de sorgo en El Salvador, 2012-2013	91
Anexo 3. Acciones de sorgo bmr-12,30 días después de la siembra.	92

## Resumen

Villeda Castillo, DA. 2014. Caracterización morfoagronómica de 15 accesiones de sorgo (*Sorghum bicolor* L Moench) con bajo contenido de lignina. Tesis. Maestría. Universidad de El Salvador. 99 p.

La presente investigación se realizó durante los meses de diciembre de 2011 a marzo de 2012, en la Estación Experimental San Andrés 1, del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), del Ministerio de Agricultura y Ganadería ubicado en el municipio de Ciudad Arce, departamento de La Libertad, con el objetivo de caracterizar 15 accesiones de sorgo bmr, con bajo porcentaje de lignina; utilizando descriptores morfoagronómicos para definir su identidad, utilizando descriptores sugeridos por el Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para las Zonas Tropicales Semiáridas (ICRISAT), ocho de los cuales son cuantitativos y 17 cualitativos. La metodología utilizada consistió en el uso de herramientas del método de multivariantes (estadística multivariada, Análisis de Componentes Principales y el Análisis de Conglomerados por el método Ward). El análisis determinó, que las 15 accesiones están agrupadas en tres componentes principales que explican el 78.02% de la variabilidad total; donde el primer componente está formado por las accesiones CI0938, CI0936, CI0916, CI0910, que sobresalen por tener mayor número de tallos, menor longitud de inflorescencia y peso de grano; que al relacionarlas con los descriptores cualitativos, sobresalen por presentar buen vigor de cruzamiento, color de glumas claras, plantas parcialmente cerosas, inflorescencia compacta semi elíptica y jugosidad dulce. Al segundo grupo, corresponden las accesiones CI0970, CI0919, CI0973, CI0925, CI0914, CI0972 y CI0968; mostrando similitud en mayor longitud y excursión de la inflorescencia, peso de grano intermedio, menor altura de la planta, ancho de inflorescencia, menos días a floración y número de granos por panoja. Además, se caracteriza por presentar un vigor de cruzamiento medio, inflorescencia compacta elíptica, plantas de parcial o total cerosidad, no suculentas y generalmente insípidas. Al tercer grupo pertenecen las accesiones CI0932, CI0943, CI0947, CI0929, que presentaron los valores más altos en la altura de planta, ancho de inflorescencia, días a floración, peso de grano y número de granos por panoja; este grupo se caracterizó por presentar buen vigor de cruzamiento, inflorescencia semi elíptica compacta; plantas parcialmente cerosas con una jugosidad y sabor intermedio. Por lo que se concluye que las 15 accesiones de sorgo mostraron diversidad en el comportamiento, según los descriptores cuantitativos y cualitativos; no obstante, hubieron cuatro accesiones con potencial para la producción de grano (CI0932, CI0943, CI0947 y CI0929), que corresponden al componente dos y el resto para la producción de forraje (componentes uno y tres).

**Palabras claves:** Descriptor, Caracterización, *Sorghum bicolor*, Multivariantes, Accesoión, bmr, Componentes principales, Conglomerados

## Abstract

Villeda Castillo, DA. 2014. Morfoagronomic characterization of 15 low lignin content sorghum (*Sorghum bicolor* L Moench) accessions. Master Degree Thesis. University of El Salvador. 99p.

This research was performed during December 2011 to March 2012, at the Estación Experimental San Andrés 1, of Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería located in the county of Ciudad Arce department of La Libertad, in order to characterize 15 accessions of sorghum bmr, with low percentage of lignin; using morpho-agronomic descriptors to set their identity, using descriptors suggested, by the International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), eight of which are quantitative and 17 are qualitative. The methodology used was multivariate tools (multivariate statistics, Principal Components Analysis and Cluster Analysis by Ward method). The analysis determined that the 15 accessions are grouped into three main components, explaining 78.02% of total variability, where the first component consisted of the following accessions: CI0938, CI0936, CI0916, and CI0910, that outstand because of having greater number of stems, the shortest length of inflorescence and grain weight, and if we relate with the present qualitative descriptors, outstand because of crossing vigor, clear glume's color, partially waxy plants, semi elliptical compact inflorescence, and sweet juiciness. Accessions CI0970, CI0919, CI0973, CI0925, CI0914, CI0972 and CI0968 correspond to the second group showing similarity in the inflorescence length and excersion, intermediate grain weight, smaller plant height, inflorescence width, less days to flowering and number of grains per panicle. Furthermore it is characterized by a medium crossing vigor, elliptical compact inflorescence, plants of partial or complete waxiness, non-succulent and usually tasteless. Accessions CI 0932, CI 0943, CI0947, and CI0929 belong to the third group which showed the highest values in plant height, inflorescence width, days to flowering, grain weight and number of grains per panicle; this group was characterized by good crossing vigor, semi elliptical compact inflorescence, plants partially waxy with intermediate juiciness and flavor. Consequently it can be concluded that the 15 sorghum accessions showed diversity in the behavior according to quantitative and qualitative descriptors. However, there were four accessions with potential for grain production (CI0932, CI0943, CI0947 and CI0929) corresponding to the component two and the remaining accessions for forage production (components one and three).

**Keywords:** Descriptor, Characterization, Sorghum bicolor, Multivariate, Accession, bmr, Principal Components, Clusters.

## **I. Introducción**

El sorgo (*Sorghum bicolor* [L] Moench) es el quinto cultivo en importancia entre los cereales del mundo después del trigo (*Triticum aestivum* L.), maíz (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) y la cebada (*Hordeum vulgare* L.) (Martin 1985).

La planta de sorgo se adapta a una amplia gama de 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 lluvia errática (Suárez y Zeledón 2003).

El sorgo, conocido en El Salvador como maicillo, después del maíz blanco es el segundo grano en volumen producido. Para el 2012-2013, la producción alcanzó 3.1 millones de kilogramos, en 103,365.73 hectáreas sembradas; con un rendimiento promedio de 1,318.18 kg/ha (DGEA 2012-2013).

El Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), a través del Programa de Granos Básicos y con el apoyo del Instituto para la Investigación del Sorgo y Mijo de Estados Unidos (INTSORMIL), desde el año 2000 a la fecha; se encuentran realizando trabajos de mejoramiento en el cultivo del sorgo (Ortiz 2008); donde se involucran estudios sobre mutaciones que están siendo realizados desde hace 15 años en los sorgos, siendo el gen bmr (las siglas de Brown Mid Rib), el que torna de color marrón la nervadura de la parte inferior de la hoja del sorgo. La importancia de este gen, es que es un marcador de forrajes con escasa lignina y alta digestibilidad para el consumo animal, comparado con los sorgos no bmr (Martín 2005).

Lo anterior es de vital importancia, debido a la generación de nuevos materiales de sorgo forrajeros, disponibles para ser caracterizados siendo esto un proceso que consiste en recoger las características de una muestra con base en una lista de descriptores morfológicos.

Los caracteres morfológicos, han sido muy usados para la identificación de especies, familias y géneros de plantas. Además, las características y su etnobotánica han sido el tema de numerosos estudios en genética de población y agricultura; donde la resistencia a plagas,

enfermedades y el rendimiento han sido factores importantes (Falconer, citado por Torres 2010).

Por ello, la presente investigación está orientada a caracterizar morfológicamente a 15 accesiones de sorgo que poseen el gen “bmr-12”, describiendo sus atributos morfoagronómicos, para generar información cuantitativa y cualitativa, mediante el uso de descriptores del Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para las zonas tropicales semiáridas (ICRISAT).

## II. Planteamiento del Problema

Franco (2003) menciona que los bancos de germoplasma a nivel latinoamericano contienen aproximadamente 660,000 accesiones, pertenecientes a un amplio rango de géneros y especies, las cuales están parcialmente documentadas. El avance tecnológico de nuevos materiales de sorgo forrajeros y sileros es muy importante, porque actualmente el espectro de los sorgos comprende tres alternativas: los tradicionales o tipo Sudan, los fotosensitivos y los de baja lignina o bmr.

En El Salvador, la información básica para describir las características morfológicas y agronómicas del *Sorghum bicolor* es escasa. Esta especie a través de los años ha cambiado considerablemente como resultado de mutaciones naturales y trabajos efectuados por los fitomejoradores. Este recurso fitogenético es de vital importancia si se conserva y se utiliza adecuadamente y esto es posible si se conocen las características que permiten diferenciar una especie de otra.

La información que nos permite conocer el germoplasma y determinar su utilidad proviene de tomar y analizar un conjunto de datos que describen los atributos cuantitativos y cualitativos de las accesiones de una misma especie, para diferenciarlas, determinar su utilidad, estructura, variabilidad genética y relaciones entre ellas, utilizando descriptores morfológicos los cuales se convierten en una herramienta con muchas opciones, para poder observar en la planta la presencia o ausencia de estructuras que definen a una especie como única, ya que esta estructura cambia continuamente a través de su ciclo reproductivo como en la floración. Esto es importante porque permite establecer caracteres diferenciables de una variedad con otra.

Con esta perspectiva se requiere responder a la interrogante ¿Será necesario el uso de descriptores morfológicos y agronómicos, para identificar los atributos genéticos heredables de una especie vegetal en El Salvador?.

### **III. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo General**

Caracterizar 15 accesiones de sorgo, con bajo porcentaje de lignina, utilizando descriptores morfoagronómicos que definan su identidad y que puedan servir para identificar estos materiales.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Describir las características morfoagronómicas de 15 cultivares de sorgo, utilizando descriptores del ICRISAT.
- Identificar los cultivares estables de sorgo, según características morfoagronómicas.
- Determinar mediante pruebas estadísticas, los descriptores más importantes para el sorgo.

### **IV. Hipótesis**

Con la descripción de los principales atributos cualitativos y cuantitativos de 15 materiales de sorgo con el gen bmr-12; se facilitará la identificación durante el proceso de producción y certificación de los mismos, por parte de los técnicos encargados de la incrementación y producción comercial de semilla.

## **V. Marco Teórico Conceptual**

### **5.1. Origen y Distribución del sorgo**

Según Doggett (1998) los sorgos cultivados hoy en día se originaron del silvestre *Sorghum bicolor* subsp del *Sorghum arundinaceum*; y la mayor variación en el género *Sorghum* se encuentra en el noreste del África en la región de Etiopía-Sudán, donde el género ancestral tiene un número básico de cinco cromosomas, originándose probablemente hace 5,000 ó 6,000 años. Posteriormente paso a Australia llegando al nuevo mundo.

Existe evidencia que el sorgo llegó de Etiopía a África Oriental en el año 200 Después de Cristo (DC), usando el grano para elaborar cerveza (Purseglove 1972). El sorgo (tipo Guinea y Durra) pasó de África a la India en el año 1,500 Antes de Cristo (AC); y de la India el cereal llegó a China en el siglo III y dio lugar a características distintas del grupo kaoliang cultivado en china. Para el año 700 AC se movió de la India hasta Italia (Compton 1990).

La llegada del cereal a varias partes del Hemisferio Occidental fue a través del comercio de esclavos; al principio, los tipos guinea criolla, sensible al fotoperíodo (maicillos criollos), fueron llevados a América Central proveniente de África como alimento para los esclavos durante el siglo XVI. Los tipos guinea fueron buenos como provisión para la marina ya que los granos duros toleraban el almacenamiento (Compton 1990).

El sorgo parece haber llegado a América como maíz de Guinea, desde África occidental alrededor del siglo XIX. Aunque este cereal llegó a América Latina a través del comercio de los esclavos y por obra de navegantes que hacían la ruta comercial Europa-África-América Latina en el siglo XVI, su cultivo no llegó a adquirir importancia hasta el siglo actual (Naranjo s/f).

### **5.2. Importancia económica del sorgo**

El sorgo tiene un hábito y una fisiología vegetal (metabolismo de las "C-4") similar al maíz; el maicillo no solo se utiliza en la alimentación de animales sino también para fines industriales, en este aspecto tiene los mismos usos que el maíz. Se destaca en la producción de almidón, dextrosa, miel de dextrosa, aceites comestibles y bebidas; en la elaboración de cervezas, bebidas locales y materias colorantes, cosméticos, papel, productos farmacéuticos,

confituras, mezcla en café y cárnicos, entre otras (Saucedo 2008); además, las panículas se emplean para la confección de escobas o se queman para obtener cenizas ricas en potasio (Pérez *et al.* 2010).

De los tallos de esta planta se pueden obtener otros productos como jarabes y azúcares. La producción de etanol constituye una fuente alternativa para la obtención de energía a partir de este cultivo. La harina de sorgo es pobre en gluten, es más blanca y nutritiva que la del mijo (*Panicum miliaceum*), con ella se fabrican tortas y galletas que sirven de base en la alimentación humana, ya sea sola o asociada al maíz o al mijo, por ello en la India, China y algunas regiones de África, el sorgo constituye un elemento muy importante (CENTA 2007).

Asímismo, en la industria de panificación la harina de sorgo está tomando auge, ya que se ha comprobado que puede sustituir hasta en un 50% a la harina de trigo, en las mezclas para la elaboración de pan, sin afectar la calidad de éste (CENTA 2007)

### 5.3. Taxonomía y morfología

#### 5.3.1 Taxonomía

El sorgo pertenece a la familia de las gramíneas. Las especies son el *Sorghum vulgare* y el *andropogum*, *Sorghum sudanensis*. Según Pérez, *et.al.* (2010), la clasificación taxonómica es.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del sorgo

CLASIFICACION TAXONOMICA	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Panicoideae
Tribu	Andropogonae
Genero	<i>Sorghum</i>
Especie	<i>bicolor</i>

### **5.3.2 Etapas Fenológicas del Sorgo**

El cultivo del sorgo presenta tres etapas fenológicas bien definidas, con una duración de aproximadamente 30 días cada una, dependiendo de la variedad que se utilice así como de las condiciones agroclimáticas.

#### **a) Etapa 1**

Vegetativa, comprende desde la siembra hasta el inicio de los primordios florales. Inicia con la imbibición del agua por la semilla, pasando por la formación de la radícula, del coleóptilo, crecimiento de hojas y tallo, finalizando al inicio del primordio floral.

#### **b) Etapa 2**

Reproductiva, se inicia con la emergencia del primordio floral, continúa con iniciación de ramas primarias, secundarias; agrandamiento del ápice floral, glumas, espiguillas, formación de florcillas con sus estambres y pistilos, finalizando con la maduración de los órganos reproductivos.

#### **c) Etapa 3**

Comprende: polinización, fecundación del ovario, desarrollo y maduración del grano.

### **5.3.3 Morfología**

#### **5.3.2.1 El tallo**

El sorgo es una planta de un solo tallo, pero puede desarrollar otros dependiendo de la variedad y el ambiente; este tallo está formado de una serie de nudos y entrenudos, poseen de 7 a 24 nudos, su longitud varía de 45 cm a más de 4 metros y depende del número de nudos, siendo igual al número de hojas producidas hasta la madurez de la planta. La altura también depende de la longitud del entrenudo, el diámetro varía de 5 a 30 mm cerca de la base (CENTA 2007).

#### **5.3.2.2 Pedúnculo**

El entrenudo más alto lleva la inflorescencia, es el pedúnculo y siempre es 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 está controlada genéticamente, pero los factores ambientales como la deficiencia de agua, puede ser una limitante (Compton 1990).

### **5.3.2.3 Las hojas**

El número de hojas varía de 7 a 24 según la variedad y el período de crecimiento, son erectas hasta casi horizontales y se encorvan con la edad. La longitud de una hoja madura oscila entre 30 a 135 cm y su ancho entre 1.5 a 15 cm; son alternas y lanceoladas o linear-lanceoladas, con una superficie lisa y cerosa. La última hoja producida es la hoja bandera y su vaina protege la inflorescencia que está emergiendo (CENTA 2007).

### **5.3.2.4 Inflorescencia**

Compton (1990) menciona que la inflorescencia es una panícula de racimo o panoja con un raquis central completamente escondido por la densidad de sus ramas o totalmente expuesto, cuando está inmadura es forzada hacia arriba dentro de la vaina más alta (buche), después que la última hoja (bandera) se expande distendiéndola a su paso. La panícula o panoja es corta o larga, suelta y abierta, y compacta o semicompacta. Puede tener de 4 a 25 cm de largo, 2 a 20 cm de ancho y contener de 400 a 8,000 granos, según el tipo de panoja.

### **5.3.2.5 Semilla**

El fruto es una cariósida de forma oval, presenta diferentes colores: negro, café rojizo, púrpura brillante y amarillento, con finas líneas marcadas en su superficie. Tiene una longitud de 3 mm. La mayoría de semillas se desprenden y caen al suelo al secarse la planta en la madurez.

### **5.3.2.6 Raíz**

El sistema radicular adventicio fibroso se desarrolla de los nudos más bajos del tallo. La profundidad de enraizado es generalmente de 1 a 1.3 metros, con 80% de raíces en los primeros 30 centímetros. El número de pelos absorbentes puede ser el doble que en maíz, las raíces de soporte pueden crecer de primordios radicales, pero no son efectivas en la absorción de agua y nutrientes (CENTA 2007).

## **5.4 Plagas y enfermedades**

Saavedra y Gutiérrez (2008) mencionan que el sorgo es de gran importancia económica para los países del área centroamericana, sin embargo, es atacado por una serie de plagas y enfermedades, siendo las causantes de daños directos y deben de manejarse oportunamente y eficientemente.

Tradicionalmente, el manejo de plagas se ha realizado de manera convencional, utilizando productos químicos para disminuir las pérdidas ocasionadas por éstas, no tomando en cuenta que excesivas aplicaciones de productos químicos hacen que la plaga adquiera resistencia, lo que ocasiona que en el siguiente ciclo se aumente el número de aplicaciones y como consecuencias se elevan los costos de producción, desequilibrio ecológico, contaminación ambiental y afectaciones a la salud humana al estar expuesto a productos químicos.

#### **5.4.1 Plagas**

Entre las plagas más comunes que atacan el cultivo se encuentran: falso gusano alambre (*Epitragus sallei* Champion), gallina ciega (*Phyllophaga spp*), coralillo (*Elasmopalpus lignosellus*), gusano alambre (*Conoderus ssp*), barrenador del tallo (*Diatrea lineolata*), langosta medidora (*Mocis latipes*) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) (Pineda, 1995). Insectos de la panoja son: mosquita del sorgo (*Stenodiplosis sorghicola*), chinche pata de hoja (*Leptoglossus zonatus*) (Pineda 1999).

Los pájaros (principalmente tejedores, golondrinas, cuervos, palomas, pericos y gallinas) constituyen una plaga seria, especialmente donde el área de sorgo ya maduro es pequeña. Al nivel del agricultor en pequeño, golpear latas y calabazas, traquear látigos, gritar y arrojar piedras, se usan con efectividad; pero donde los campos son grandes estos métodos son caros e impracticables (Bruggers 1982)

#### **5.4.2 Enfermedades**

Las enfermedades más comunes que se presentan en el cultivo del sorgo son: pudrición de la semilla, tallo y plántula (*Fusarium moniliforme*), mancha gris de la hoja (*Cercospora sorghi*), antracnosis (*Colletotrichum graminicola*), tizón de la hoja (*Elminthosporium sp*), pudrición del tallo (*Fusarium sp*), últimamente se ha reportado la enfermedad de la panoja conocida como ergot (*Sphacelia sp*) (Pineda 1999).

#### **5.5 Tipos de sorgos**

Sánchez (1994) clasifica el sorgo de acuerdo a sus principales usos:

- Sorgo Granífero: Es destinado a la producción de grano, altura de la planta entre 90 y 150 cm, pueden usarse en la industria y en la alimentación humana y animal.

- **Sorgos Graníferos de Doble Propósito:** Son de producción de grano de biomasa de tallo y como silo de planta entera. En ensilaje la calidad es casi igual a la del maíz, altura de la planta es 2.5 metros.
- **Sorgos Sileros:** Producen gran cantidad de biomasa y poseen buena digestibilidad. En estos casos, la producción de grano no es determinante. Son de ciclo largo y de gran altura.
- **Sorgos Tipo Sudan Grass:** Son utilizados para pastoreo directo, son más altos que los graníferos, con hojas largas y tallos finos. Su principal característica es su capacidad de rebrote y su elevada producción de macollos.
- **Sorgos Fotosensitivos:** Son sensibles a la longitud del día y a la exposición de luz, normalmente no florecen o lo hacen tardíamente, por lo cual permanecen en estado vegetativo y alcanzan gran altura. Su uso principal es para pastoreo directo.
- **Sorgos de Tallos Secos:** se utilizan para quemar directamente y en la generación de energía eléctrica o de calor para calderas.
- **Sorgos para bioetanol:** son genotipos con mínimo macollaje, fotosensitivos o con mínima producción de granos, alto contenido de lignina en tallos y muy dulces.

### **5.5.1 Variedades e híbridos sembrados en El Salvador**

CENTA (2007) cuenta con variedades fotosensitivas, fotoinsensitivas e híbrido multicorte. Entre las fotosensitivas están: 86-EO-226, ES-790 y 85-SCP-805, poseen buena adaptación al asocio con maíz, a suelos pobres y de ladera, muy aceptadas por el productor y utilizados como doble propósito en la obtención de grano y forraje.

Entre las fotoinsensitivas para producción de grano bajo el sistema de monocultivo están: ISIAP Dorado, CENTA Texistepeque, CENTA Oriental, CENTA Jocoro, CENTA RCV, CENTA Soberano, \*CENTA S-2 y \*CENTA S-3 (\*doble propósito). Actualmente las variedades más difundidas son: CENTA Soberano, CENTA SS-44 (híbrido multicorte), CENTA RCV, CENTA S-2 y CENTA S3, y sus características agronómicas se describen en el cuadro 2.

Cuadro 2. Características agronómicas de las variedades de sorgo fotoinsensitivas.

<b>Característica</b>	<b>CENTA RCV</b>	<b>CENTA S-2</b>	<b>*CENTA S-3</b>
Altura de la planta (m)	1.80	2.70	2.60
Días a flor (Siembra Agosto)	70	65	70
Días a cosecha (Siembra Agosto)	110	100	100
Rendimiento de grano (kg.ha-1)	5.125	3,203	4,484
Rendimiento de forraje (tm.ha-1)	50	109	71
Tipo de panoja	Semicompacta	Semiabierta	Semicompacta
Color del grano	Blanco	Blanco	Blanco
Color de la planta y glumas	Canela	Púrpura	Canela

Fuente: CENTA (2007).

## **5.6. Recursos fitogenéticos**

Los recursos genéticos constituyen las bases biológicas para la seguridad alimentaria mundial y están conformados por la diversidad de material genético que contienen las variedades tradicionales y los cultivares modernos, así como las plantas silvestres afines a las cultivadas. Estos recursos son la materia prima de los fitomejoradores y el mayor aporte para la producción y diversidad genética que utilizan los agricultores (FAO 1996).

La caracterización consiste en describir los atributos cualitativos y cuantitativos de las accesiones de una misma especie para diferenciarlas, determinar su utilidad, estructura, variabilidad genética y relaciones entre ellas, y localizar genes que estimulen su uso en la producción o el mejoramiento de cultivos. Las dos actividades requieren exactitud, cuidado y constancia, e incluyen un componente importante de registro de datos (González y Pita 2001).

### **5.6.1 Disponibilidad y conservación en bancos de germoplasma a nivel mundial**

En los bancos de germoplasma de los países de América del Sur, Centroamérica y el Caribe, se encuentran aproximadamente 660,000 accesiones pertenecientes a un rango amplio de géneros y especies de plantas, las cuales están parcialmente documentadas. En los últimos años se han realizado esfuerzos importantes en el registro y almacenamiento de datos de pasaporte y la caracterización de estas accesiones, así como el intercambio de la información relacionada (Franco 2003).

### **5.6.2 Definición de accesión**

Es una muestra de una colección distinta, de germoplasma que se mantiene en un Banco de Germoplasma para su conservación y uso (Puldón 2006)

### **5.6.3 Mejoramiento genético**

El sorgo no escapa al trabajo de mejoramiento, es así que a través de los años esta especie ha cambiado considerablemente, como resultado de mutaciones naturales y por los trabajos efectuados por fitomejoradores. La capacidad de rendimiento de los sorgos se aumenta cuando por androesterilidad citoplasmática se logra producir un híbrido, los rendimientos se incrementaron considerando a la heterosis como responsable de un 20% a 40% de ese aumento y el resto a los beneficios de un buen manejo (House 1985).

En los procesos de selección y mejoramiento de variedades a través del Programa de Fitomejoramiento Participativo, con el apoyo de INTSORMIL, se liberó la variedad de sorgo CENTA S-2 bmr, con mayor valor nutritivo que el CENTA S-2 tradicional. En el año 2004 el Programa de Mejoramiento Genético de Sorgo del CENTA, inicio el trabajo de incorporación de genes bmr (Vena central café) a las variedades de doble propósito: CENTA S-2, CENTA S-3 y CENTA RCV, así como a dos variedades nicaragüenses: Pinolero y Tortillero, y a una línea experimental procedente de México identificada como VG-146, para este propósito se utilizaron ocho líneas donantes de genes bmr: B03288, B03289, B03290, B03291, B03292 B02043 y BTX623 (Clara y Zeledón 2010).

De lo mencionado arriba se obtuvieron 255 cruces para incorporación de genes bmr, estas F1 fueron sembradas a inicios de 2006 en bloques diferentes para identificar cruces efectivos y obtener la F2, las que fueron sembradas en agosto de 2006 en bloques de 20 surcos de 5 metros de largo por cada selección, la que fue hecha con base a la presencia de la vena central café, de esta evaluación se obtuvieron las F3, las que fueron sembradas a finales de agosto de 2007, en este caso la selección se hizo con base en dos características: vena central café y similitud a los progenitores femeninos de las variedades comerciales de sorgo (Clará y Zeledón 2010).

#### **5.6.4 Ventajas de los sorgos bmr**

La digestibilidad y la palatabilidad son las ventajas claves que ofrece el rasgo bmr. La lignina y sus relaciones de cruzamiento con otros polisacáridos restringen la digestión de las paredes de la célula forrajera por parte de los rumiantes; esto es lo que se observó en un principio y es más notable en las vacas lecheras (Fernández 2007, citado por Clará y Zeledón 2010).

#### **5.6.5 Importancia y características del Sorgo**

El avance tecnológico en el tema de nuevos materiales de sorgos forrajeros es muy importante. Tradicionalmente los sorgos para pastoreo directo han sido los de tipo Sudán, de buena capacidad de macollaje llamado sorgo negro o Garaví, poseen rizoma definido que le otorga perennidad a la planta. En la actualidad, el espectro de los sorgos forrajeros y sileros comprende tres alternativas: los tradicionales Sudán, los fotosensitivos y los de baja lignina o nervadura marrón llamados bmr (Martín 2005).

De acuerdo a Clará (2008) en El Salvador todos los sorgos actuales poseen niveles altos de lignina en hojas y tallos, por lo que a los vacunos les cuesta digerirlos como ensilaje; con los nuevos materiales que CENTA e INTSORMIL están generando, ayudará al mayor desarrollo de la ganadería de la región aumentando principalmente la producción de leche y carne.

Según Clará (2011) explica que el gen “bmr” son las siglas en inglés de “vena café”. Este gen tiene la característica de disminuir significativamente la lignina de la fibra de la pared celular, con lo cual la planta pone a disponibilidad la mayor digestibilidad de los nutrientes en el estómago de los animales. De esta manera, la nueva planta de sorgo “bmr” se asemeja más al maíz y puede competir con este, en valor nutritivo.

En la actualidad, los tipos bmr se utilizan en forma de híbrido por las empresas de semillas transnacionales y su costo en América Central es el limitante para que todos los productores de sorgo utilicen esta tecnología, sin embargo, con la producción de estas variedades de polinización libre, la accesibilidad será mayor debido a que los productores podrán producir su propia semilla para sembrarla en unas cuatro generaciones sin perder su potencial de producción y calidad (Clará 2008).

## **5.7 Caracterización del Germoplasma**

Para caracterizar un germoplasma se cuenta con una cantidad de métodos tales como: marcadores citológicos (cariotipos); marcadores bioquímicos (análisis de isoenzimas), electroforesis de proteínas, metabolitos secundarios); marcadores moleculares (RFLP, AFLP, RAPD, microsátélites y otros); marcadores morfológicos y caracteres agronómicos (Potter *et al.* 1991).

### **5.7.1 Caracterización Morfológica**

Para la caracterización y evaluación morfoagronómica es necesario sembrar el material genético y evaluarlo en lotes experimentales o en campos de agricultores. En esta etapa además, se hace una valoración agronómica del potencial productivo y se evalúa la tolerancia a plagas, enfermedades y estrés bajo condiciones abióticas, en un diseño experimental con testigos de referencia (variedades comerciales o cultivares de uso común en la región (Franco e Hidalgo 2003).

Una caracterización debe permitir diferenciar todas las accesiones de una especie. La evaluación comprende la descripción de la variación existente en una colección para atributos de importancia agronómica con alta influencia del ambiente, tales como rendimiento. Se realiza en diferentes localidades, variando los resultados según el ambiente, además de ocurrir interacción genotipo – ambiente (Abadie y Berretta 2001).

Por tanto, es importante la calidad y buen uso de los descriptores que se deben emplear y ellos deben reunir las mejores características para obtener los mejores datos según sean las características que se buscan.

### **5.7.2 Descriptores morfológicos**

Muñoz (1983) indica que se entiende como designación varietal al conjunto de observaciones que permiten distinguir y caracterizar a una población de plantas que constituyen una variedad. La descripción varietal es un resumen de las características generales de la variedad, la cual es necesaria para efectuar depuraciones en diferentes fases de crecimiento.

La descripción varietal es esencial, ya que su buena definición permite establecer mejor las diferencias entre variedades. Por tanto, se debe conocer el fenotipo para tratar de diferenciar

las variaciones debidas a los efectos genéticos y aquellas que ocurren por efectos ambientales (Coffman 1977).

George (1977) citado por Rivas (1988) afirma que la descripción varietal se hace en el fenotipo de la planta de una variedad, la cual va a depender del potencial genético de cada una de las expresiones con los efectos ambientales que se encuentren presentes.

Las descripciones se convierten en una herramienta más específica y con más opciones para poder observar en la planta la presencia o ausencia del número de estructuras, definen a una especie como única e identificable, considerando que la estructura de una planta cambia continuamente a través de su ciclo reproductivo, así como al momento de la floración (Jiménez 2009).

CATIE (1979) define los descriptores como características del cultivo o planta, en donde el estado del descriptor será el grado o valor del mismo. Cada aspecto que permita establecer en forma relevante una diferenciación en las variedades, dará el avance en el desarrollo de una propiedad varietal, ya que establece caracteres diferenciables que indican la distinción de una variedad a otra.

Los descriptores de caracterización permiten una discriminación fácil y rápida entre fenotipos. Generalmente son caracteres altamente heredables, fácilmente detectados a simple vista y se expresan igualmente en todos los ambientes. Además, pueden incluir un número limitado de caracteres adicionales que son deseables según el consenso de los usuarios de un cultivo en particular (IBPGR 1981).

González (2008) menciona que los caracteres cualitativos son menos influenciados por el ambiente y se pueden identificar fácilmente. Por otro lado, la descripción de variedades es básica para el trabajo de botánicos agrícolas, laboratorios de análisis de semilla, autoridades de certificación y personal involucrado en la operación y regulación del mercado de semillas (Rivas 1988).

Douglas (1991) afirma que las variedades deben tener además de altos rendimientos, características uniformes y un comportamiento consistente, que permita identificarlas y

facilitar su multiplicación. Por tal razón, al evaluar una variedad nueva, el primer paso es establecer su identidad y paralelamente conducir los experimentos para determinar su rendimiento. Se deben observar y describir los caracteres morfológicos y fisiológicos, dando una mayor atención a los rasgos que la distinguen de las variedades ya existentes (Sneep y Hendriksen 1979, citados por Jiménez 2009).

Los caracteres morfológicos que son relevantes en la utilización de los cultivares pueden ser cualitativos o cuantitativos, e incluyen algunos botánicos taxonómicos y otros que no necesariamente identifican a la especie, pero que son importantes desde el punto de vista agronómico, de mejoramiento genético y de mercado (Franco e Hidalgo 2003).

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) 1983 cita que las características cualitativas deben describirse según sus expresiones fenotípicas, las cuales no se pueden medir por unidades, salvo en frecuencias relativas. Las frecuencias de las posibles excepciones si pueden medirse y su valor deben de considerarse en la descripción varietal, primero especificando la expresión predominante del carácter, y después se obtienen en una muestra adecuada el porcentaje con la expresión predominante cuantificando así el carácter en estudio. Cuando se trata de caracteres cuantitativos que puedan ser medidos, se describen con base a la media y a la variación expresada en términos de desviación estándar ( $S$ ), coeficiente de variación ( $CV$ ) y rango; aunque para tener una mayor confiabilidad en la descripción se debe de tomar: 1) el número óptimo de individuos para la muestra a describir, 2) el coeficiente de variación como estimador que compensa el efecto ambiental.

### **5.7.3 Tipos de descriptores**

Para caracterizar un germoplasma vegetal se requiere de información que contenga los descriptores específicos para cada cultivo, esta descripción es importante porque identifica rápidamente los caracteres fenotípicos para confirmar su identidad y facilitar el proceso de certificación.

Existen diversos organismos que contribuyen a la conservación y el aprovechamiento de la agrobiodiversidad, entre ellos se citan: Bioersivity Internacional pone a disposición desde el 2010 una lista de descriptores titulado Descriptores del conocimiento que los agricultores tienen de la plantas, este organismo pone a disposición un formato estándar que permite

recopilar, almacenar, recuperar e intercambiar información, así mismo, captar características claves del uso y valor de las plantas cultivadas y silvestres tal como la describen los agricultores. Además, pretende sistematizar la documentación utilizada en ambientes controlados como lo son los bancos de germoplasma e institutos de fitomejoramiento involucrando a las personas y el conocimiento en dicho campo (Bioversity 2010).

El CIAT cuenta con la unidad de semillas y publicó en 1993 información sobre la Descripción Varietal de arroz, frijol, maíz, y sorgo; este documento contiene una descripción de todos los caracteres varietales así como el estado fenológico en que deben registrarse y como deben medirse al momento de la toma de datos (CIAT 1983).

El Centro Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR) y el Centro de Investigación de Cultivos para las zonas tropicales semiáridas (ICRISAT), tiene por objetivo es coordinar la red internacional de centros de recursos genéticos así como promover la colección, conservación, documentación, evaluación y utilización de germoplasma vegetal y contribuir al bienestar de las personas en todo el mundo (ICRISAT 1984).

El IBGR en 1980 publicó una lista de descriptores para el sorgo (*Sorghum spp*) basado en una norma del Comité Consultivo de Recursos Fitogenéticos (CIRF), siguiendo el formato sobre los descriptores y estado de los descriptores de los expertos de los cultivos en todo el mundo. Este formato que se ofrece tiene carácter internacional y por tanto este “Lenguaje” es universal para todos los datos sobre recursos fitogenéticos (ICRISAT 1984).

## **5.8 Producción y disponibilidad de semilla en El Salvador**

La producción de semilla en El Salvador inicia en el momento en que la dirección de la institución toma la decisión de liberar la tecnología a los usuarios en base a los resultados.

El investigador principal envía a la unidad de semilla básica las recomendaciones técnicas de manejo agronómico para incrementar semilla de las diferentes categorías, así también dará asistencia técnica y seguimiento a los incrementos. Al mismo tiempo deberá guardar 50 lbs. de semilla original o genética de cada línea, familia o variedad, para proveerle a semilla básica, cuando, a través de los incrementos sucesivos, la variedad liberada pierda su potencial original y sea necesario renovarla (CENTA 2012)

Por lo anterior el investigador envía la caracterización de la variedad liberada y debe registrarla en el Departamento de Semilla Certificada de la Dirección General de Sanidad Vegetal y Animal (DGSVA) del Ministerio de Ganadería y Agricultura (MAG). También debe escribir y enviar a la División de Extensión, un boletín técnico sobre la nueva tecnología liberada y sus recomendaciones de manejo agronómico, para que sea base de la transferencia tecnológica a los usuarios (CENTA 2012)

En El Salvador, el Reglamento Técnico Centroamericano, es el ente certificador de semilla y está bajo la responsabilidad del Ministerio de Agricultura y Ganadería, por medio de la Dirección General de Sanidad Vegetal a través del Área de Certificación de Semillas de la División Registro y Fiscalización. Este es un sistema que cuenta con apoyo legal, para ejercer el control en las fases de producción y comercio a fin de garantizar la calidad fitosanitaria y pureza varietal de las mismas, permitiendo la legitimidad, ofreciendo credibilidad al consumidor y protección al productor, sirviendo como medio de control en importaciones y exportaciones. Entre los requisitos más importantes están:

- 1- Terreno libre de malezas para evitar que ocurra cruzamiento al momento de la floración.
- 2- El aislamiento del lote para incremento de semilla certificada por distancia no menor de 300 m, por fechas de siembra ya sea sembrando al menos 15 días antes o después de lotes vecinos para evitar coincidencia durante la polinización.
- 3- En el lote del productor no debe haber más del 5% de plantas floreado, mientras que el vecino solo el 1%.
- 4- El manejo agronómico es el recomendado para el cultivo en la región.
- 5- Eliminar plantas atípicas (fuera de tipo que no sean de la misma precocidad, altura, tipo de panoja y color de grano) y de otros cultivos.
- 6- La humedad óptima para la cosecha está en función de las condiciones de secado natural o artificial que se dispongan. El grano deberá cosecharse lo más cercano a 14% de humedad, la cual se bajará hasta 12% para su beneficio y almacenamiento. Durante esta etapa deben evitarse mezclas mecánicas con grano comercial (CENTA 2012).

En base a los aspectos anteriores se analiza la situación actual que el cultivo de sorgo en nuestro país posee, ya que ocupa el segundo lugar en volumen después del maíz. Según el anuario estadístico de la Dirección General de Economía Agrícola y Ministerio de Agricultura

reporta que para el año 2012-2013 se sembró una superficie de 147,813 mz con una producción de 3,004,644 quintales obteniéndose un rendimiento de 20.3 qq/mz; del total de la superficie sembrada en nuestro país se establecen dos épocas de siembra para la primera (mayo-junio) represento una superficie de 15,375mz, para la segunda (agosto-sept) represento 132,438mz. Además de la producción total se estima que el 12.2% es semilla mejorada y el resto son semillas criollas (DGEA 2012-2013), esto es importante pues los nuevos materiales en estudio deben de cumplir con el respaldo de las instituciones para el proceso de certificación.

### **5.9 Categoría de las semillas para la certificación.**

- a) Semilla genética o madre: semilla original de un cultivar o variedad resultante del proceso de mejoramiento genético que permanece bajo el control del fitomejorador y que constituye la fuente inicial para la producción de la semilla básica o de fundación.
- b) Semilla de fundación o básica: primera generación obtenida a partir de la siembra de la semilla genética, madre o de la básica y que cumple con los estándares establecidos para esta categoría en un reglamento.
- c) Semilla registrada: primera generación obtenida a partir de la siembra de la semilla de fundación o básica y que cumple con los estándares establecidos para esta categoría en un reglamento.
- d) Semilla certificada: primera generación de la semilla registrada o de una categoría superior y que cumple con los estándares establecidos para esta categoría en el presente reglamento. (CENTA 2012).

### **5.10 Métodos estadísticos multivariados aplicados a las caracterizaciones morfológicas**

Los orígenes del análisis multivariado se remonta al comienzo del siglo XX, con Pearson y Sperman, época en la cual se empezaron a introducir los conceptos de la estadística moderna. En términos generales, el análisis multivariado se refiere a todos aquellos métodos estadísticos que analizan simultáneamente medidas múltiples (más de dos variables) de cada individuo (Franco e Hidalgo 2003).

La estadística multivariada es usada para describir y analizar observaciones multidimensionales obtenidas al revelar información sobre varias variables para cada una de las unidades o caso en estudio (Di Rienzo *et ál* 2008).

Según Pérez (2004) menciona que los métodos estadísticos multivariados más utilizados en los análisis de datos son: análisis de componentes principales; análisis factorial; análisis discriminante, regresión logística y clúster; análisis multivariado de la varianza y análisis de variables canónicas.

Sharma (1998) opina que el análisis de componentes principales es una técnica estadística multivariante que trata de transformar un conjunto de variables interrelacionadas en un conjunto de variables no correlacionadas llamadas factores, analizando la estructura de dependencia y correlación que existe entre las variables. Baró y Alemany (2000) opinan que esta técnica ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo es reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible.

Peña 2002 y Bramardi (2000) mencionan que el análisis de componentes principales (ACP) es una técnica estadística propuesta a principios del siglo XX por Hotelling (1933) que se basó en los trabajos de Karl Pearson (1901) concluyendo que la técnica permite seccionar la información contenida en un conjunto de variables de interés en nuevas variables independientes.

El análisis factorial al igual que el análisis de componentes principales, son una técnica multivariante cuyo objetivo es reducir la dimensión de una tabla de datos para pasar de variables reales a variables ficticias que aunque no se observen, son la combinación de las reales y sintetizan la mayor parte de la información (López *et al* 2008).

Los análisis de conglomerado permiten implementar distintos procesos para agrupar objetos descritos por un conjunto de valores de varias variables. El agrupamiento de objetos multivariados es frecuentemente utilizado como método exploratorio con la finalidad de obtener mayor conocimiento sobre las variables en estudio. Este proceso de agrupamiento conlleva inicialmente una pérdida de información (Di Rienzo *et ál* 2008).

Los métodos jerárquicos producen agrupamientos de tal manera que un conglomerado puede estar contenido completamente dentro de otro, pero no está permitido otro tipo de superposición entre ellos. Los resultados de agrupamiento jerárquico se muestran en un dendograma (diagramas de árboles en dos dimensiones), en donde se pueden observar las uniones o divisiones que se van realizando en cada nivel del proceso de construcción del conglomerado (Di Rienzo *et ál* 2008).

### **5.11 Análisis factorial mediante el método de componentes principales.**

Este método busca la extracción del espacio factorial a partir de la representación de los  $N$  individuos como  $N$  puntos en un espacio factorial (Ferrán 2001). El objetivo de este método es perseguir la perpendicularidad de los factores al pasar de un conjunto de  $p$  variables correladas entre sí, a un nuevo conjunto de  $p$  variables, combinaciones lineales de las originales que estén incorreladas. Parte del principio que dada una muestra de observaciones en un conjunto grande de variables cuantitativas, el análisis factorial permite representar las variables en un espacio de pequeña dimensión, denominado espacio factorial, que permita interpretar las relaciones entre ellas.

Dicho espacio permitirá analizar las similitudes entre los elementos de la muestra respecto a su comportamiento en el conjunto de las variables. En tanto, permite detectar las relaciones existentes dentro del conjunto de variables que sea adecuado, simplificarlo a un nuevo conjunto.

Zamora *et al* (2009) afirman que el análisis factorial es una técnica estadística multivariada que se incorpora a la metodología cuantitativa que involucra variables latentes y permite estudiar la estructura de correlación entre un grupo de variables medidas, asumiendo que la asociación entre variables puede ser explicada por una o más variables latentes, que en el caso del análisis factorial se les reconoce como factores.

Además, afirman que esta técnica permite analizar las asociaciones lineales entre las variables (descriptores); si las variables no estuvieran asociadas linealmente, las correlaciones entre ellas serían nulas y, en consecuencia, la matriz de correlaciones sería igual a la matriz de identidad, dando validez al método.



Cuadro 3. Datos de pasaporte del material de *Sorghum bicolor* caracterizado en la localidad de la Estación Experimental San Andrés CENTA, 20011-2012

<b>Número de identificación</b>	<b>Nombre del cultivar</b>	<b>Genealogía</b>	<b>País de Introducción</b>
1	CI 0968 bmr	(RCV*BO3290) S-11-7	El Salvador
2	CI 0972 bmr	(RCV*BO3290) S-13-9	El Salvador
3	CI0970 bmr	(RCV*BO3290)	El Salvador
4	CI0973 bmr	(RCV*BO2043) S-19-1	El Salvador
5	CI 0916 bmr	(VG-146*BO2043) S-2-2	México
6	CI 0919 bmr	(VG-146*BO2043) S-26-1	México
7	CI 0914 bmr	(VG-146*BO3289) S-5-4	México
8	CI 0910 bmr	(CENTA S-2*BO2043) S-27-5	El Salvador
9	CI 0925 bmr	(CENTA S-3*BO3289) S-21-4	El Salvador
10	CI 0929 bmr	(CENTA S-3*BO3288) S-30-12	El Salvador
11	CI 0932 bmr	(CENTA S-3*BO3288) S-95-9	El Salvador
12	CI 0936 bmr	(Tortillero*BO3292) S-2-5	Nicaragua
13	CI 0938 bmr	(Tortillero*BO2043) S-5-2	Nicaragua
14	CI 0943 bmr	(Tortillero*BO3292) S-12-4	Nicaragua
15	CI 0947 bmr	(Tortillero*BO328 S-64-13	Nicaragua

Fuente: CENTA 2010

## 6.2.2 Herramienta para la caracterización

Las 15 accesiones de sorgo en estudio se caracterizaron con base a la lista de descriptores de sorgo del ICRISAT, y también se tomó de referencia los descriptores del CIAT por tener en detalle de como y cuando realizarlo al momento de la toma de dato (anexo 1).

## 6.3 Metodología de campo

### 6.3.1 Tratamientos

Como tratamientos fueron considerados las 15 accesiones, con dos surcos por accesión con una longitud de 5 metros lineales, haciendo un total de 30 surcos del área experimental. El área útil comprendió dos surcos de 3 metros lineales por accesión, teniendo una densidad de 72 plantas. Para cada una de las accesiones se tomó una muestra de 20 plantas (figura 2).

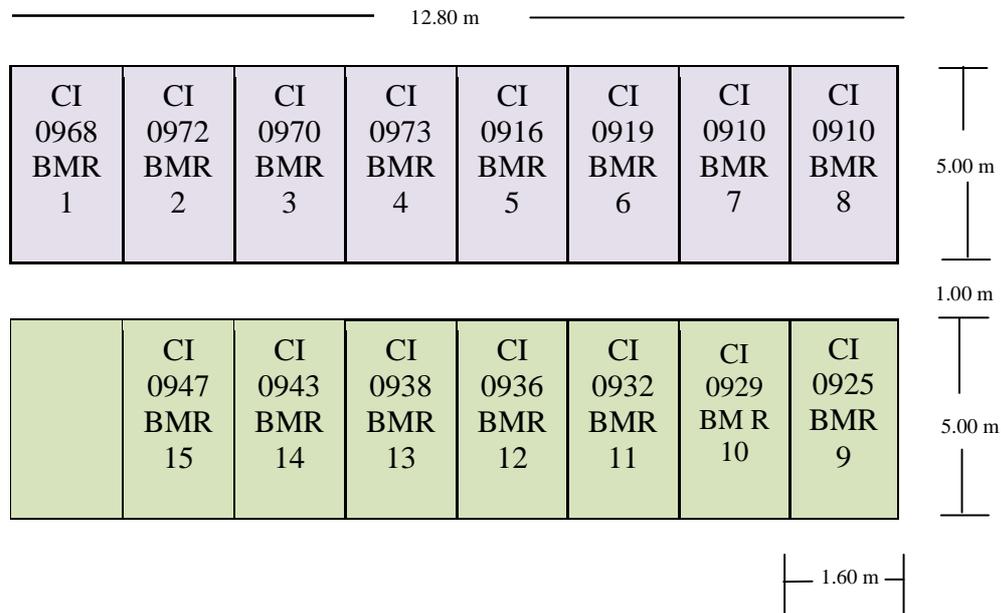


Figura 2. Plano de ubicación de las accesiones dos surcos por accesión.

### 6.3.2 Manejo Agronómico.

Se llevó a cabo en el lote 17 de la Estación Experimental San Andrés 1, la preparación del terreno fue mecanizada, con dos pasos de rastra y el surcado, el área total fue de 140.8 m<sup>2</sup>

### 6.3.3 Siembra y densidad.

Al momento de la siembra el suelo se encontraba con la suficiente humedad para activar el proceso de germinación de la semilla, realizándose en forma manual y a línea continua, dejando 12 plantas por metro lineal y a 0.80 m entre surco. Para ello se utilizaron 10 g de semilla por cada surco, (figura 3a). La emergencia ocurrió entre el quinto y sexto día después de la siembra; 25 días después se realizó el raleo de forma manual, con el fin de eliminar plántulas fuera de tipo, dejando 60 plantas por surco (figura 3b).



Figura 3 a) Siembra y establecimiento de la parcela  
Figura 3 b) Densidad de 10 a12 plantas por surco

#### 6.3.4 Fertilización.

Para la fertilización del cultivo de sorgo se aplicó el criterio de fraccionar en tres momentos el nitrógeno y el resto de elementos en una sola aplicación al momento de la siembra. La primera fertilización se realizó al momento de la siembra utilizando fórmula 16-20-0 a razón de 4.54 kg/ha para el área experimental. La segunda y tercera fertilización se efectuó a los 25 y 40 días de edad del cultivo fraccionándose en 5.68 kg. cada aplicación con sulfato de amonio (figura 4).



Figura 4. Momento de realizar la segunda fertilización

#### 6.3.6 Control de malezas.

Se hicieron dos limpiezas en forma manual a los 8 y 30 días después de la siembra, utilizando herramientas de labranza para suprimir las malezas que generen competencia en cuanto al aprovechamiento de nutrientes, agua, luz, espacio, hospederos de plagas y enfermedades, entre otros.

### 6.3.7 Plagas y enfermedades

En relación al manejo de plagas y enfermedades del cultivo se utilizó el criterio del monitoreo semanal para identificar daño y determinar qué acción considerar: preventivo o curativo, en base a las diferentes etapas fenológicas del cultivo y esta se realizó en forma cultural como, limpieza de canales de riego, el uso de variedades tolerantes y resistentes, control de malezas y química.

En la fase vegetativa se realizó el control preventivo para el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en las 15 accesiones mediante aplicaciones alternas de insecticidas microbiológicos con diferentes ingredientes activos como: Decis (nombre comercial) a razón de 25 cc/bomba, logrando eliminar el problema, también se aplicó Normol (nombre comercial) a razón de 15 cc/bomba, para el control de afídos que se presentaron en mayor proporción en la fase de fructificación y llenado del grano en las accesiones CI 0938, CI 0919, según el descriptor plagas y enfermedades se calificó como susceptibilidad media en relación a la presencia de afídos, sin embargo, la accesión CI0910 presentó alta susceptibilidad a esta plaga (figura 5).



Figura 5. Presencia de afídos (*Rhopalosiphum maidis*) en hojas y granos de sorgo

En la segunda fase de llenado del grano que fue en estado masoso, la mayor plaga la constituyeron los pájaros, tomando la decisión de cubrir las panojas con bolsas de papel encerado hasta completar la maduración de los granos (figura 6).



Figura 6. Protección de las panojas contra los pájaros.

Con respecto a las enfermedades observadas en todas las accesiones, la que predominó fue el Tizón foliar de la hoja ocasionada por el hongo (*Helminthosporium sp*), no hubo ningún tratamiento preventivo debido a que se dio en la última fase de llenado y maduración del grano (figura 7).



Figura 7. Tizón foliar de la hoja ocasionada por el hongo (*Helminthosporium sp*).

### **6.3.8 Cosecha**

La cosecha se realizó en la última semana de marzo hasta la primera semana de abril de 2012, utilizando tijeras de podar para el corte de las panojas (figura 8a).

### **6.3.9 Aporreo**

Esta actividad consistió en separar todos los granos de la panoja, se utilizó una paleta de madera artesanal para golpear la panoja y que soltara el grano (figura 8b), luego manualmente

se eliminaron las glumas, los granos limpios se colocaron en bolsas de 5 libras y al mismo tiempo se agregó 2 mg/bolsa del insecticida Folidol polvo, para evitar plagas por almacenamiento (figura 9a), finalmente, las bolsas se dejaron una semana secando al sol hasta obtener el 12% de humedad (figura 9b).



Figura 8. a) Cosecha de la panoja. Figura 8. b) Aporreo de las panojas, separación del grano.



Figura 9. a) Tratamiento preventivo con Folidol en polvo. Figura 9.b) Secado al sol.

#### 6.4. Caracterización de las accesiones y toma de datos

Se utilizó la lista de descriptores morfológicos del ICRISAT (1984), que comprende 25 descriptores divididos en categorías (cuadro 4 y anexo 1).

Cuadro 4. Cantidad de descriptores por categoría.

<b>Descriptores</b>	
<b>Categoría</b>	<b>Cantidad</b>
Cuantitativos	8
Cualitativos	17
<b>Total</b>	<b>25</b>

De las 25 características a evaluar, 8 son de tipo cuantitativo y 17 de tipo cualitativo.

#### **6.4.1 Toma de datos**

Se seleccionaron 25 descriptores y se evaluaron en base a lo propuesto por el ICRISAT. El tamaño de la muestra fue de 20 plantas por accesión tomadas al azar. A continuación se detallan las fases en que se realizó para la categoría cuantitativa.

##### **6.4.1.1 Descriptores cuantitativos**

###### **a) Fase vegetativa**

Es la etapa de crecimiento y comprende desde cero días a treinta días, se caracteriza por la germinación, desarrollo de la plántula, crecimiento de hojas y establecimiento del sistema radical.

###### **1) Altura de la planta**

Los datos se tomaron en 20 plantas al azar, se realizó desde la emergencia hasta cuando las accesiones tuvieran el 50 por ciento de la floración, se midió con una estadía graduada en centímetros desde el nivel del suelo hasta la base de la inflorescencia.

###### **2) Número de tallos florales por planta**

Se contabilizó de forma directa aquellos tallos fuera del tallo principal de 20 plantas al azar.



Figura 10. a) Medición altura de la planta utilizando estadía graduada



Figura 10. b) número de tallos florales del eje principal

### **b) Fase de floración**

Esta fase comienza cuando en el meristemo apical empieza a diferenciarse un meristemo floral, continúa con el desarrollo de la inflorescencia y termina cuando tiene lugar la antesis, esta fase ocurre entre los 30 a 60 días.

### **3) Longitud de la inflorescencia**

Se midió con cinta métrica desde la base de la inflorescencia hasta el ápice de la misma, se realizó al momento de la cosecha en 20 panojas al azar.

### **4) Ancho de la inflorescencia**

Se utilizó cinta métrica y se midió la parte media y ancha de la inflorescencia, se realizó al momento de la cosecha, se tomaron 20 muestras al azar.

### **5) Antesis**

Este descriptor fue visual y se consideró el tiempo cuando el 50% de la inflorescencia libera el polen, tomando una muestra al azar de 20 inflorescencias.

### **6) Exercción de la inflorescencia**

Al azar se tomaron 20 inflorescencias dentro de cada parcela realizando la calificación de la emergencia de la inflorescencia sobre la hoja bandera, para ello se midió en centímetros desde el cuello de la hoja bandera hasta la base de la inflorescencia o nudo ciliar.

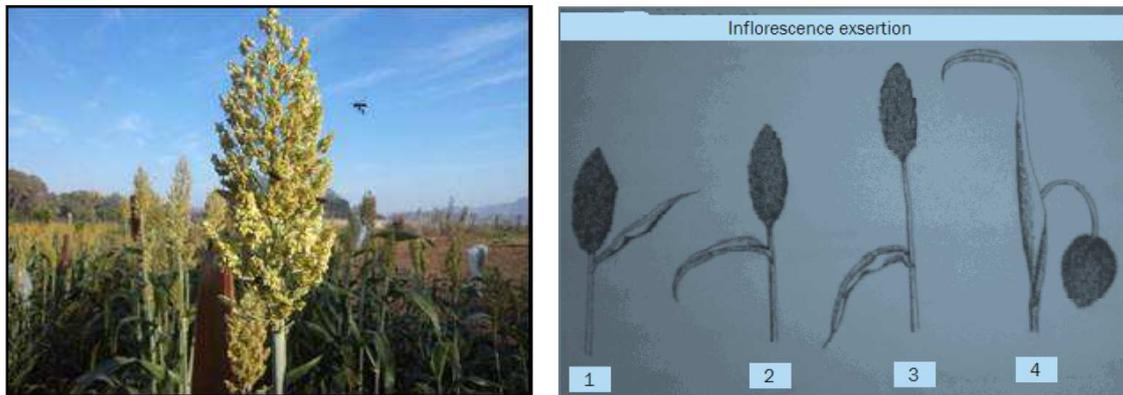


Figura 11. a) La antesis, el 50% de la población en floración. b) Tipos de excersión en sorgo.

### c) Cosecha

Esta se caracteriza por el desarrollo y madurez del grano y la senescencia de las hojas. Ocurrió de los 60 a 90 días después de la siembra.

### 7) Peso de granos

Se obtuvo cuando el grano alcanzó el 12% de humedad, se pesaron 100 granos usando una balanza semianalítica y la unidad fue en gramos.

### 8) Número de granos por panícula

Se contabilizaron todos los granos, que contienen 20 panojas por accesión se utilizó un contómetro manual.

## 6.4.1.2 Descriptores cualitativos

### a) Fase Vegetativa

#### 1) Vigor de cruzamiento

Se realizó por observación después de 15 días de emergidas las plantas, en campo se calificó de acuerdo a lo observado en medio y alto las plantas con mayor vigor, se tomaron al azar 20 plantas por surco de cada accesión.

### b) Fase de Floración

#### 2) Inflorescencia compacta y forma de la floración

Se observaron 20 inflorescencias al azar por surco para definir la forma: compacta donde no se distingue el raquis, hasta la forma abierta donde las ramas secundarias están separadas, se realizó entre los 30 a 60 días y se calificaron según el descriptor (anexo 1).

### 3) Aspecto de todas las plantas

Se identificaron visualmente cuantas hojas quedaron verdes al momento de la cosecha y se calificó siguiendo el descriptor.

- 3 Pobre
- 5 Medio
- 7 Bueno

### 4) Cutina o cera

Se aplicó la escala del ICRISAT (anexo 1), por observación en la hoja del quinto nudo, se hizo en el período de los 30 a 60 días y se calificó en: No ceroso = 0; Poco = 3; Media = 5; Parcialmente ceroso = 7; y Completamente ceroso = 9.



Figura 12. Presencia de cera o cutina en las accesiones de sorgo bmr

### c) Cosecha

#### 5) Senescencia de la hoja

Existe una gran variación en la tasa de senectud de las hojas. Se tomó al azar 20 plantas por accesión y según las hojas que permanezcan verdes hasta el momento de la cosecha se calificaron en base a la escala del descriptor así:

- 0 No senescentes (sin muerte de hojas)
- 1 Muy poco senescente
- 3 Un poco envejecido
- 5 Intermedia (aproximadamente la mitad de las hojas muertas)
- 7 Sobre todo senescentes
- 9 Hojas completamente senescentes (y muerte del tallo)

## 6) Color de las plantas

Dicha variable se tomó observando la coloración de los tallos y luego aplicando la escala según el descriptor al momento de la cosecha

- 1 Pigmentada
- 2 No pigmentada

## 7) Jugosidad del tallo

Algunas accesiones pueden tener líquido en el tejido vascular del tallo, este carácter se midió en campo al momento de la cosecha, tomándose 20 plantas al azar de cada accesión, se cortaron a partir del quinto nudo, luego se aplicó la escala del ICRISAT (anexo 1).

0 = Seco

+ = Jugoso (el signo fue sustituido por el número 1 en la base de datos)



Figura 13. Demostración de un tallo seco (CI0970) y tallo jugoso (CI0919).

## 8) Sabor del jugo del tallo

No todas las accesiones en estudio retienen polisacáridos en el tallo y adquieren un sabor dulce. Se midió en campo en 20 muestras al azar por accesión y se degustó el sabor del jugo contenido en el quinto nudo del tallo. La escala aplicada al momento de la cosecha del descriptor es: 1= Dulce o pastoso; 2 = Insípido.

## 9) Color del grano

De las 20 panojas al azar de cada accesión se obtuvo el grano solo y se utilizó tabla Munsell para identificar y aplicar la escala del descriptor

- 1 Blanco; 2 = Amarillo; 3 = Caoba; 4 = Rojo; 5 = Purpura; 6 = Negro; 7 = Gris

### 10) Color de la gluma

Se realizó el aporreado de 20 panojas al azar de cada accesión para liberar la gluma, se aplicó el descriptor para esta variable.

- 1 Blanco
- 2 Tan (Claro)
- 3 Caoba
- 4 Rojo
- 5 Purpura
- 6 Negro
- 7 Gris

### 11) Cubierta del grano

Visualmente después de la cosecha se identificó que porcentaje del grano era cubierto por la gluma, tomando 20 muestras al azar, según la ilustración del descriptor.

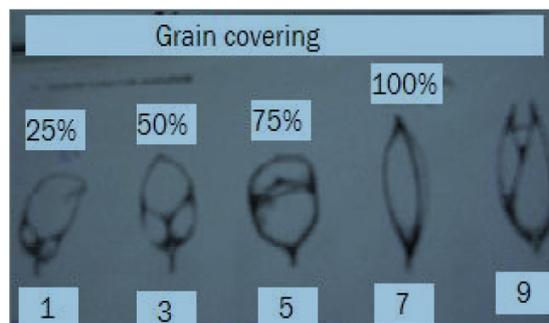


Figura 14. Diferentes porcentajes de cobertura del grano por las glumas.

### 12) Gordura del grano

Se realizó después de la cosecha, tomando en cuenta el descriptor y calificándolo

- 3 Cóncavo
- 7 Convexo

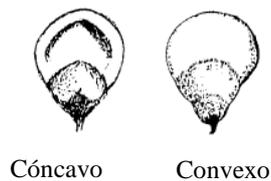


Figura 15. Forma de gordura de los granos en las accesiones de *Sorghum bicolor*.

### 13) Forma del grano

Se realizó de forma visual al momento de la cosecha, de la muestra al azar se observó la forma del grano según el descriptor

- 1 individual
- 2 en pareja

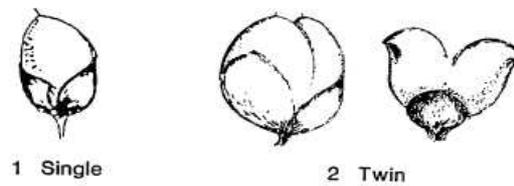


Figura 16. Forma de los granos en la panoja.

### 14) Textura del endospermo

Se obtuvo realizando una disección del grano por la mitad, se calificó de acuerdo al siguiente detalle.

- 1 Completamente córnea
- 3 Parcialmente córnea
- 5 Intermedia
- 7 Sobre todo con almidón
- 9 completamente con almidón



Figura 17. Tipos de textura del endospermo en sorgo.

### 15) Color del endospermo

Visualmente se observó al realizar la disección del grano y se calificó como:

1 Blanco; 2 Amarillo

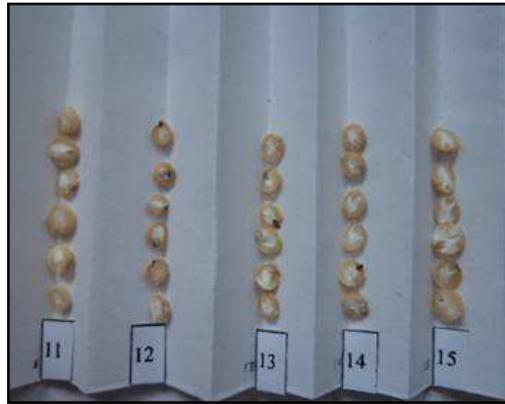


Figura 18. Endospermo blanco en los genotipos de *Sorghum bicolor* bmr.

### 16) Tipo de endospermo

De forma visual se observó el endospermo y se calificó según el descriptor en:

- 1 Normal
- 2 Cerado
- 3 Azucarado

### 17) Plagas y Enfermedades

Se registró en todo el ciclo del cultivo, la escala de calificación oscila entre 1 a 9 donde:

3. Baja susceptibilidad
5. Susceptibilidad media
7. Alta susceptibilidad

### 6.5 Análisis estadístico

Los descriptores en estudio se dividieron en cuantitativos y cualitativos; para el estudio de los cuantitativos se hizo uso de tres herramientas del método multivariante:

1) el análisis descriptivo que incluye las medidas de tendencia central y de dispersión: media, máximo, mínimo, coeficiente de variación y desviación estándar, donde si el coeficiente de variación es mayor significa que habrá mayor heterogeneidad y por el contrario entre menor

sea el coeficiente significa que habrá mayor homogeneidad, se hizo uso del software SPSS versión 19.

2) También se utilizó el método de componentes principales y el programa INFOSTAT.

3) El análisis de conglomerado jerárquico usando el método de Ward y la distancia Euclídea.

Para los 17 descriptores cualitativos se realizó un análisis descriptivo para determinar las categorías más frecuentes dentro del grupo de accesiones en estudio.

Al finalizar ambos análisis se obtuvo un análisis combinado de los descriptores cuantitativos y cualitativos para observar que accesiones tienen semejanza con los descriptores seleccionados.

## VII. Análisis de Resultados

### 7.1. Análisis descriptivo de la población

Según el cuadro 5 y los coeficientes de variación, se denota que existe un comportamiento distinto de los descriptores, de acuerdo a las fases fenológicas del sorgo, manteniéndose el principio que los altos valores del coeficiente de variación indican gran heterogeneidad en el comportamiento de las accesiones.

Cuadro 5. Promedio de los descriptores, desviación estándar, coeficiente de variación, mínimos y máximos, para las 15 accesiones de *Sorghum bicolor* L Moench.

Fase Fenológica	Descriptor Cuantitativo	Numero de observaciones	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
Vegetativo	Altura de la planta	15	1.40	0.12	8.89	1.24	1.64
	Número de tallos	15	1.31	0.83	63.75	0.00	2.00
Floración	Longitud inflorescencia	15	22.24	4.21	18.93	15.40	28.50
	Ancho inflorescencia	15	4.80	0.94	19.47	2.50	6.54
	Antesis	15	71.67	3.09	4.31	63.00	77.00
	Exerción de la inflorescencia	15	13.46	5.04	37.43	6.13	23.93
Cosecha	Peso del grano	15	2.99	0.38	12.77	2.34	3.86
	Número de granos por panoja	15	1125.93	394.65	35.05	527	2200

#### 1) Altura de la Planta (m)

El análisis descriptivo (cuadro 5) refleja para la fase fenológica vegetativa, que el descriptor altura de la planta tiene un comportamiento de las accesiones bastante similar, obteniéndose un promedio de altura de 1.40 metros es decir, una diferencia de 0.40 m entre la accesión que presentó la menor altura (CI0972) y aquella donde se cuantificó la mayor expresión del descriptor (CI0910); esta variabilidad expresada a través del coeficiente de variación (8.89) indica que las accesiones presentaron un comportamiento bastante homogéneo (figura 19).

Al respecto, se puede afirmar que la altura entre las plantas se debe a efectos genéticos así como lo menciona León (1987). Aun cuando las accesiones presentaron un comportamiento homogéneo, las accesiones CI0910 y CI0968, mostraron las máximas alturas, fuera del parámetro establecido entre el promedio y la desviación estándar ( $1.40 \pm 0.12$ ) y la CI0972 la menor altura como se observa en la (figura 19).

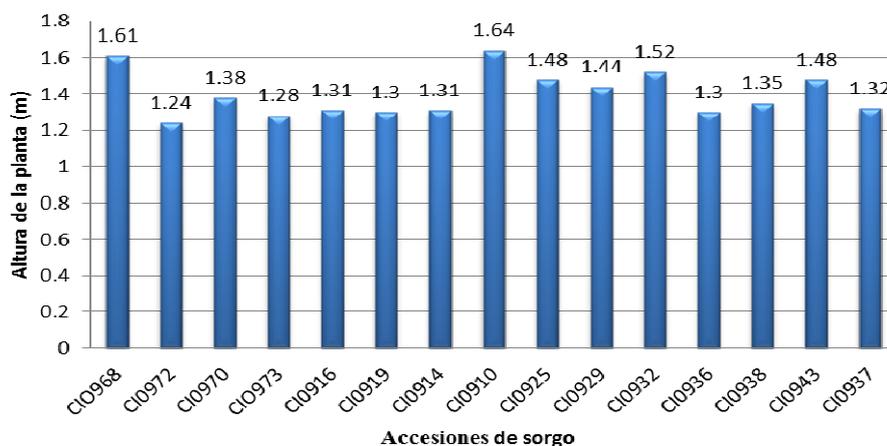


Figura 19. Comportamiento de la altura de las plantas durante el ciclo vegetativo de las 15 accesiones de sorgo.

La altura del tallo la determina la longitud de los entrenudos, que es controlada por cuatro genes recesivos:  $dw_1$ ,  $dw_2$ ,  $dw_3$  y  $dw_4$ ; donde el gen responsable de la inestabilidad de la altura es  $dw_3$  y que actúa de manera independiente sin afectar el número de hojas y el periodo de crecimiento, por tanto, la altura promedio de las variedades de sorgo dependen del número de estos genes (Arnon 1972).

Existen otros factores que varían el tamaño de la planta, entre ellos se pueden mencionar: humedad, temperatura, disponibilidad de nutrientes y época de siembra (López y Galeato 1982).

Cristini (1987) describe que el sorgo tiene un crecimiento lento en sus primeros 25 días, después de los 30 días su crecimiento se acelera. El tamaño y porte de la planta de sorgo varía considerablemente por varios factores, entre ellos se pueden mencionar: factores ambientales (humedad y temperatura) y por la disponibilidad de nutrientes (López y Galeato 1982).

La altura de la planta es afectada también por la respuesta fotoperiódica, dado que la activación de la floración reduce el crecimiento vegetativo (Compton 1990). Tanto el porte como el tamaño, son considerados factores de mucha importancia, ya que los sorgos altos son preferidos para forrajes y producción de grano (Álvarez y Talavera 1990).

## 2) Número de tallos florales por planta

El análisis del cuadro 5 refleja que este descriptor es quien muestra la mayor heterogeneidad (CV= 63.75), cuyo rango osciló entre 0.0 y 2.0. Estos resultados son válidos en tanto las accesiones CI 0929, CI0932, CI0943 y CI0937 presentaron un solo tallo (26.7%); a diferencia del 73.3% de la accesiones, cuyo rango osciló entre 1.45 a 2.0 tallos; consolidándose un promedio de 1.31, lo que implica que el 26.7% son accesiones que genéticamente no expresan rebrotes aún siendo las condiciones ambientales favorables para esta característica (figura 20).

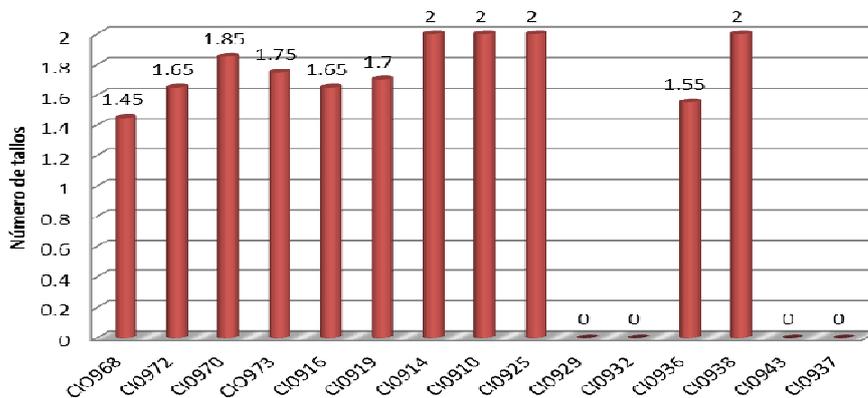


Figura 20. Número de tallos producidos durante el ciclo del cultivo.

Estos resultados inciden en la manifestación heterogénea del descriptor, expresando un alto coeficiente de variación y una desviación estándar (0.83) respectivamente.

(Peacock y Wilson1984, citado por Gutiérrez 2004) definen este descriptor como el ahijamiento, que es influenciado por el grado de dominancia apical, la cual está regulada por hormonas de la planta, además, la dominancia apical es una característica heredable que puede ser modificada por factores ambientales como: la temperatura, fotoperíodo y la humedad del suelo, así como también por factores de manejo como la población de plantas.

Si las panículas de los hijos, no maduran al mismo tiempo que la del tallo principal, el ahijamiento puede tener un efecto negativo sobre el rendimiento, por sombrear las hojas del tallo principal y por el uso de agua y nutrientes del suelo sin contribuir al grano cosechable.

Por supuesto que en sorgos forrajeros y en retoños de tipo granífero el ahijamiento es ventajoso en el rendimiento de materia seca (Peacock y Wilson1984, citado por Gutiérrez

2004). Krieb (1983) menciona que el sorgo produce más hijos en días cortos y a temperaturas bajas, y estos retoños son más sensibles a la sequía que el tallo principal.

Algunas variedades de sorgo, especialmente para producir grano tienen la habilidad de producir tallos laterales y crecen espigas de grano al mismo tiempo, esta característica le permite a estas variedades compensar por la poca cantidad de plantas con producción de espigas adicionales (Krieb 1983).

### 3) Longitud de la inflorescencia

Para la fase fenológica de floración, los descriptores involucrados (longitud de inflorescencia, ancho de inflorescencia, días a floración, excursión de la inflorescencia) observaron un comportamiento distinto.

Según los resultados, para este descriptor (figura 21 y cuadro 5) se presentó una diferencia de 13.1 cm entre la accesión que presentó la menor longitud de inflorescencia (CI0936) y aquella donde el descriptor expresó su máximo potencial (CI0968).

Esto explica en buena medida el valor elevado de la desviación estándar (4.21); sin embargo, es importante resaltar que el 50% de las accesiones, presentaban longitudes de inflorescencia igual o superior a la mediana (21.43); entre ellas sobresalen en orden descendente: la CI0968, CI0973, CI0925, CI0914, CI0972, CI0970, CI0919 y CI0929; y el resto de accesiones (CI0929, CI0932, CI0916, CI0943, CI0937, CI0910, CI0938 y CI0936) lograron valoraciones iguales o inferiores a la mediana; siendo la accesión CI0936 la que presentó la menor longitud de la inflorescencia (15.4), aun cuando el CV (18.93%) es aceptable, mostrándose algún grado de homogeneidad.

Se puede afirmar que al menos el 50% de estas accesiones, tienen un mayor número de espiguillas, por lo tanto, mayor número de granos y el rendimiento de estas accesiones es mejor.

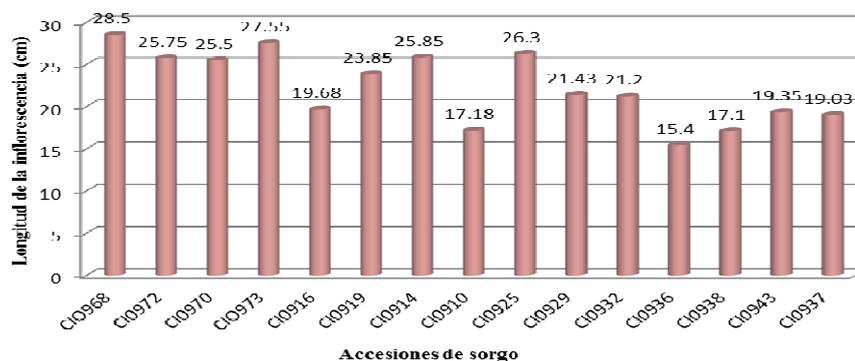


Figura 21. Variación de la longitud de la inflorescencia de las 15 accesiones de sorgo.

La inflorescencia de la planta de sorgo es una panoja que se le denomina cabeza, espiga o bellota, esta varía de forma, puede ser corta y compacta, o suelta y abierta, de 4 a más de 25 cm de longitud y de 2 a más de 20 cm de ancho, el raquis de la panoja puede estar totalmente escondido por la densidad de las ramificaciones de la panoja o completamente expuesto (Somarriba 1997).

La longitud de la inflorescencia es inversamente proporcional al ancho de la misma (León, 1987). Para Poehlman (1965) es un tipo de espiga abierta y muy sobresaliente de la última hoja, permite un mejor secado de las semillas maduras. La longitud de la panoja o panícula esta en dependencia de factores ambientales y nutricionales en que se desarrolla el cultivo (Miller 1980). También se puede ver la influencia por el fotoperíodo (FAO 1980).

#### 4) Ancho de la inflorescencia

Este descriptor presentó un promedio de 4.80 cm y un coeficiente de variación relativamente elevado (19.47%), lo que implica algún grado de heterogeneidad entre las accesiones; sin embargo, su desviación estándar es baja (0.94). Gráficamente (figura 22) puede observarse que el 53% de las accesiones, son iguales o superiores a 5 que es el valor mediano de la información, entre ellas sobresalen las accesiones: CI0968, CI0919, CI0910, CI0929, CI0932, CI0936, CI0938 y CI0937, cuyo promedio está dentro del rango establecido por la desviación estándar ( $4.80 \pm 0.94$ ). Las accesiones CI0929, CI0972 y CI0914 mostraron dispersiones mayores para la primera (6.54) e inferiores (2.5 y 3.83) para las dos restantes; posiblemente estas contribuyen a la mayor heterogeneidad en su comportamiento. Probablemente los factores ambientales y nutricionales influyeron a esa heterogeneidad.

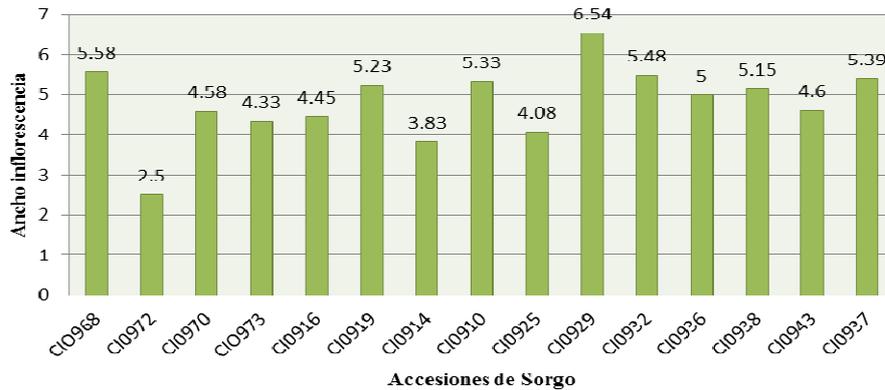


Figura 22. Comportamiento homogéneo del ancho de la inflorescencia de las 15 accesiones de sorgo.

Al respecto, Lobo (2004) expresa que en esta característica los factores como fertilidad de suelo, temperatura, luminosidad, edad de la planta y las estaciones, influyen en la expresión de este tipo de descriptor morfológico. Ceballos y Cruz (2002) expresan que cuando el estudio comprende muchas características la expresión que puede brindar es variable y muchos descriptores son profundamente influenciados por el ambiente.

##### 5) Antesis o días a floración

Para el descriptor Antesis, se obtuvo un coeficiente de variación muy bueno (4.31) y por ende un comportamiento homogéneo de todas las accesiones, es decir, todas ellas manifestaron igualdad en su comportamiento.

Los resultados indican que el 66.7% de las accesiones presentan valores igual o superior a 72 días, sobresaliendo la accesión CI0932, que presentó el periodo más largo de dicho estadio (77 días), y solamente cinco de ellas (CI0968, CI0970, CI0973, CI0910 y CI0925) presentaron valoraciones inferiores a la mediana pero dentro del rango que establecen los estadísticos que explican el fenómeno ( $71.67 \pm 3.09$ ).

La accesión CI0968 cuyo valor excede el rango permisible, donde su comportamiento fue de 63 días para alcanzar dicho estadio (figura 23). Esto es importante conocer, porque el agricultor toma la decisión sobre que genotipo comprar, si los tardíos o precoces para la producción de grano.

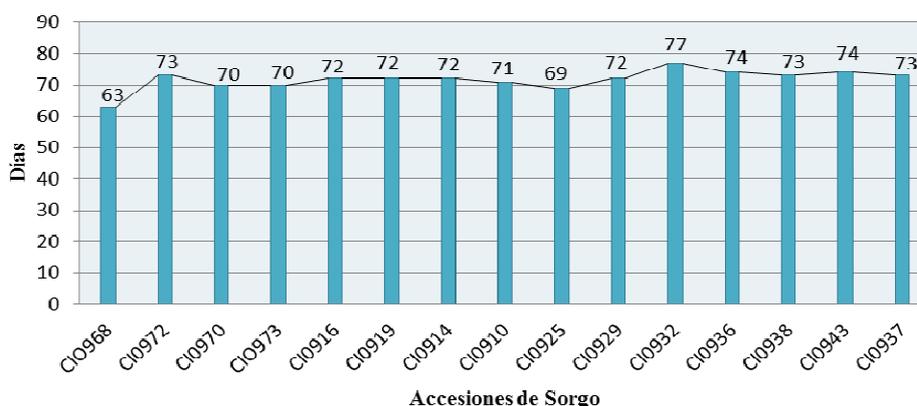


Figura 23. Comportamiento de los días a floración en las accesiones de sorgo.

Compton (1990) plantea que al alcanzarse el 50% de floración, aproximadamente la mitad de la materia seca total se ha producido. El peso de las hojas es máximo en este momento, mientras que el de la caña alcanza su máximo alrededor de cinco días más tarde.

La inflorescencia del sorgo usualmente empieza la dehiscencia de las anteras y salida del polen cuando el pedúnculo ha terminado su elongación. La panícula comienza a florear en su punta y después hacia abajo en periodo de 4 a 5 días (Martínez 2002).

#### 6) Ejerción de la Inflorescencia

En el cuadro 5, el descriptor ejerción de la inflorescencia manifestó heterogeneidad en el comportamiento de las accesiones, ello explica el coeficiente de variación de 37.43%. Lo anterior se verifica cuando se obtiene un rango de 17.8 cm en la accesión donde se presentó la menor expresión (CI0937) donde alcanzó los 6.13 cm y aquel donde la excersión de la inflorescencia fue mayor (CI0914, con 23.93 cm) (figura 24). El estadístico de la mediana, indica que el 50% de las accesiones presentaron valores iguales o superior a 12.2 cm; entre ellas sobresalen CI0968, CI0972, CI0970, CI0973, CI0919, CI0914, CI0910 y CI0925, cuyas valoraciones están dentro del rango establecido por el promedio y la desviación estándar ( $13.46 \pm 5.04$ ); excepto para las accesiones CI0919 y CI0914 que lograron longitudes de excersión de 18.85 y 23.93 cm respectivamente.

El resto de accesiones presentaron valores inferiores a 12.2 cm, pero dentro del rango establecido por el promedio y la desviación estándar; excepto la accesión CI 0937 la cual obtuvo una excersión de la inflorescencia de 6.13 cm, fuera del margen establecido por los

estadísticos que explican el fenómeno. Lo anterior explica en buena medida la presencia de un coeficiente de variación elevado (37.43), que se traduce en la presencia de heterogeneidad en el comportamiento de las accesiones para este descriptor. Cabe destacar que el análisis de varianza, refleja que a mayor longitud de ejerción se relaciona con la longitud de la inflorescencia; existiendo una correlación positiva, ya que las accesiones que alcanzaron mayor longitud de inflorescencia son las que tienen mayor longitud de ejerción. Esto es importante porque entre mayor es la longitud de excersión los granos quedan fuera de la hoja bandera y entonces se reduce el daño por plagas y enfermedades en la parte inferior de la panoja.

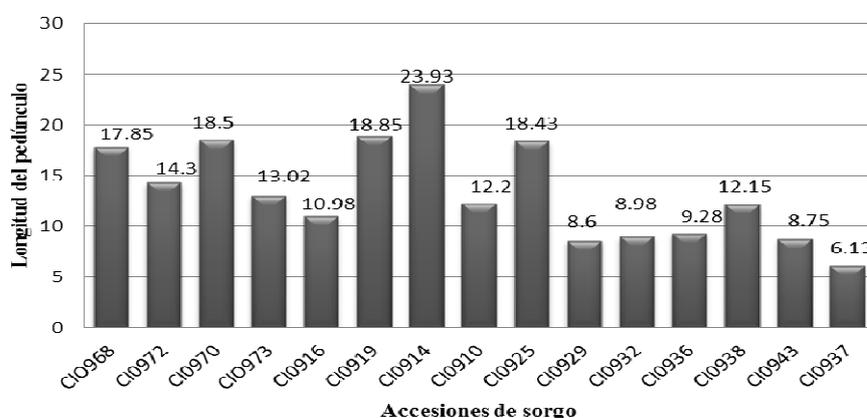


Figura 24. Excersión de la inflorescencia según tipo de accesión de sorgo.

La excersión de la inflorescencia es una prolongación del eje vegetativo llamado pedúnculo, que se encuentra entre la panoja y el tallo. Se inicia a partir de la hoja bandera y termina en la primera ramilla de la panoja o nudo ciliar (Álvarez y Talavera 1990).

Comptón (1990) menciona que esta longitud de ejerción es influenciada por factores genéticos y en menor medida por factores del medio ambiente. Es considerada importante en la recolección mecanizada, ya que si se tiene un genotipo con poca excersión de panoja, al cosecharse se corta la hoja y el tallo de la planta; esto permite mayor cantidad de material extraño, ocasionando una baja en la calidad del grano.

#### 7) Peso de granos

En la fase fenológica de cosecha se consideraron los descriptores peso del grano y número de granos por panoja. Para el primero se presentó un coeficiente de variación aceptable (12.77%)

y una desviación estándar de 0.38; lo que expresa que las accesiones presentaron un comportamiento bastante homogéneo. Según el estadístico de la mediana, el 50% de las accesiones presentaron un peso de grano igual o superior a 2.94 g, entre las accesiones involucradas están: CI0937, CI0910, CI0970, CI0972, CI0932, CI0943, CI0925 y CI0919, siendo la máxima expresión la accesión CI0937 que alcanzó el mayor peso de grano (3.86 gr), sobrepasando el rango establecido por los estadísticos promedio y la desviación estándar ( $2.99 \pm 0.38$ ). En esa misma situación está la accesión CI0910 (figura 25).

Caso contrario sucedió con las accesiones CI0916 y CI0936 que presentaron el menor peso de grano, 2.34 y 2.48 para la primera y segunda accesión respectivamente; sin embargo, según el coeficiente de variación (12.77%), se asume que las accesiones se comportan bastante similar, según este descriptor. Es notorio que el peso del grano también depende del factor genético así como de la capacidad de la planta para almacenar materia seca, pues el peso final del grano depende de la materia seca producida.

El descriptor peso de granos es poco influenciado por el medio ambiente y está ligado a los caracteres principalmente de cada variedad. Esta variable demuestra la capacidad de trasladar nutrientes acumulados por la planta en su desarrollo vegetativo al grano en la etapa reproductiva (Zapata y Orozco 1991).

Miller y Barnes (1980) plantearon que después de la polinización el peso del grano aumenta enormemente, a veces a un ritmo más rápido que la acumulación de materia seca. Esto se traduce en menor peso del tallo ya que los materiales nutritivos almacenados pasan de éste a la semilla. Compton (1990) explica que después de los 45-50 días, el inicio floral ha desarrollado una panícula compuesta de racimos y de esta manera se ha determinado el tamaño potencial de la panoja. Después de la polinización crece aceleradamente el peso del grano y muchas veces la tasa de crecimiento del peso de éste es mayor que la del resto de materia seca.

El peso del grano cosechado dependerá del factor genético y de la capacidad de la planta para acumular materia seca. Así el clima, la fertilidad del suelo y el agua disponible influyen en el peso final del grano (PIONEER s/f).

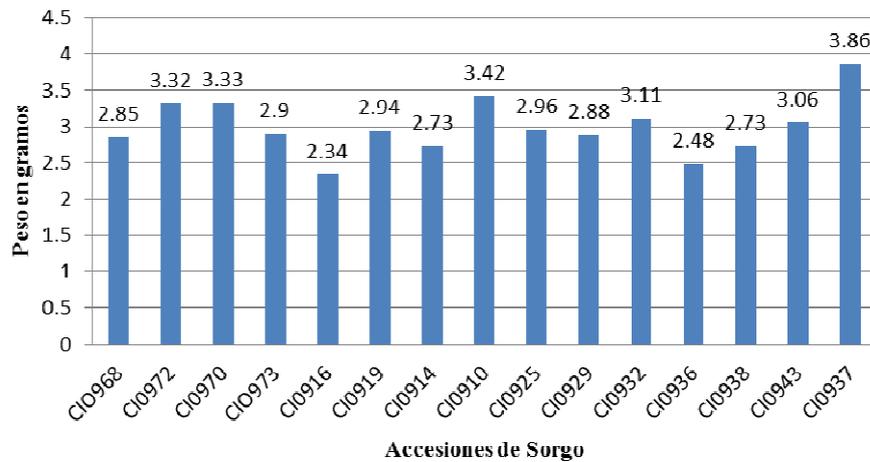


Figura 25. Comportamiento del peso del grano, de las 15 accesiones de sorgo bmr.

#### 8) Número de granos por panícula

Con respecto al segundo descriptor de esta fase fenológica que se refiere al número de granos por panícula, los resultados indican que existe mucha heterogeneidad entre las accesiones a través de este descriptor. Gráficamente (figura 26) se puede evidenciar que las accesiones CI0929 y CI0968 presentaron las mayores valoraciones (2,200 y 1,641 granos respectivamente); aunque el resto de accesiones presentan un comportamiento bastante homogéneo.

El promedio y la desviación estándar ( $1125.93 \pm 394.65$ ) presentan que dos accesiones (CI0929 y CI0968) sobrepasan el rango establecido por ambos estadísticos. Según la mediana, el 50% de las accesiones tienen un número de granos por panícula igual o superior a 1,060 granos, siendo las CI0929, CI0968, CI0932, CI0943, CI0937, CI0938, CI0972 y CI0938 quienes forman parte de este grupo; a diferencia del resto de accesiones que cuantificaron valores iguales o menores a 1,060, siendo la accesión CI0925 quien obtuvo el menor número de granos por panoja (527).

Este comportamiento se debe a que en todos los cultivares, se presentó senescencia foliar, debido a que se tuvo que poner en bolsa la panoja junto con las hojas, por los ataques de pájaros; lo que dificultó la actividad fotosintética por la escasa absorción de la radiación solar y afectando el rendimiento final del grano.

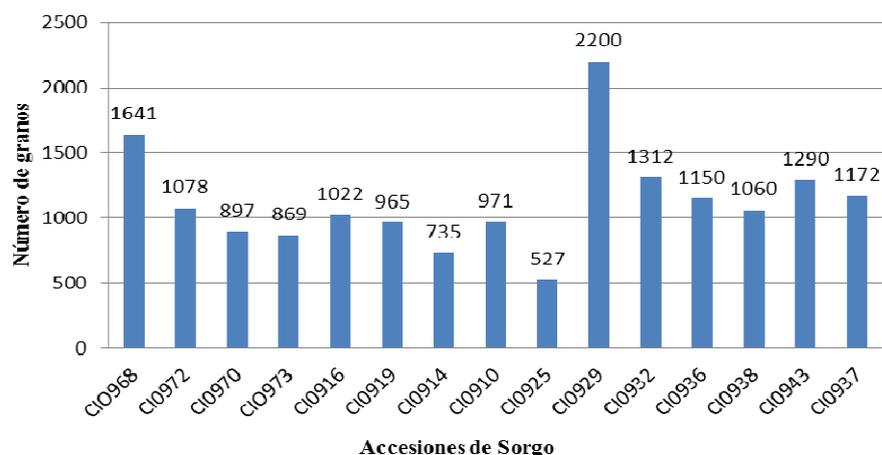


Figura 26. Valoraciones en el número de granos por panoja de las 15 accesiones

El número de granos está frecuentemente correlacionado con el rendimiento final del grano y está influenciado por el número de inflorescencias, de espiguillas por inflorescencia, florecillas por espiguillas y por la proporción de florecillas que llegan a producir grano. El desarrollo de la panícula desde su iniciación hasta la antesis es importante, ya que el límite más alto del número de granos se establece durante este periodo (Evans y Wardlaw 1976).

El rendimiento del grano también es el resultado de varios factores biológicos y ambientales que se correlacionan para luego expresarse en producción (Compton 1990). Aproximadamente el 90% del rendimiento del grano se debe a la fotosíntesis en la panícula y a las cuatro hojas superiores (Fischer y Wilson 1971).

Somarriva (1997) plantea que la longitud de la panoja es uno de los componentes de mayor importancia en el rendimiento del sorgo; una sola panoja puede producir de 24 a 100 millones de granos de polen. Así tenemos, que panojas de mayor tamaño tienen un mayor número de espiguillas y por tanto un mayor número de granos (Monterrey 1997).

## 7.2 Análisis factorial mediante el método de componentes principales

Para el análisis se incorporaron los ocho descriptores cuantitativos sujetos del análisis descriptivo, obteniéndose los resultados siguientes:

En el cuadro 7 se disponen las comunalidades de los descriptores involucrados, una comunalidad de una variable es la proporción de su varianza que puede ser explicada por el modelo factorial obtenido. Los resultados indican que el descriptor altura de planta (alpa) es la

peor explicada; el modelo factorial solo es capaz de reproducir el 61.6% de su variabilidad original.

Además, se observó que la calidad de la representación de los descriptores en el plano factorial es importante, así para el resto de descriptores involucrados estos aportes oscilaron desde 72.3% para el caso de la longitud de inflorescencia a peso de grano (pesograno) cuyo aporte fue de 91.1% respectivamente; determinándose de manera general que los siete descriptores restantes están bien representados en el plano factorial; por lo tanto, buena parte de las varianzas producto de los descriptores son explicadas por el modelo factorial obtenido; por ende, se procedió a realizar la interpretación de la información.

Cuadro 6. Comunalidades de los descriptores cuantitativos

Descriptor	Inicial	Extracción
ALPA	1.000	0.616
NTALLOS	1.000	0.792
LONGINFLOR	1.000	0.723
ANCHOINFLOR	1.000	0.798
DIASFLOR	1.000	0.846
EXCERINFLOR	1.000	0.832
PESOGRAÑO	1.000	0.911
NUGRAPA	1.000	0.724
Método de extracción: Análisis de Componentes principales		

En el cuadro 7 se presentan los resultados de las correlaciones involucradas entre los descriptores. Al analizar el cuadro se observa la magnitud de la asociación entre las variables, identificando los descriptores que están muy asociados y significativos estadísticamente ( $p < 0.05$ ) (correlaciones altas) y las que no lo son (correlaciones bajas y no significativas).

Cuadro 7. Correlaciones y significancia según descriptores en accesiones de sorgo bmr. Estación Experimental San Andrés 1, año 2011.

Descriptores	ALPA	NTALLO	LONGINFLOR	ANCHOINFLOR	DIASFLO	EXCERINFLOR	PESOGRA	NUGRAp A	
Correlación	ALPA	1.000	-0.185	-0.039	0.485	-0.342	-0.053	0.180	0.295
	NTALLOS	-0.185	1.000	0.264	-0.471	-0.416	0.690	-0.326	-0.659
	LONGINFLOR	-0.039	0.264	1.000	-0.372	-0.605	0.690	0.047	-0.156
	ANCHOINFLOR	0.485	-0.471	-0.372	1.000	-0.048	-0.406	0.001	0.648
	DIASFLO	-0.342	-0.416	-0.605	-0.048	1.000	-0.507	0.067	-0.028
	EXCERINFLOR	-0.053	0.690	0.690	-0.406	-0.507	1.000	-0.181	-0.484
	PESOGRA	0.180	-0.326	0.047	0.001	0.067	-0.181	1.000	-0.025
	NUGRAPA	0.295	-0.659	-0.156	0.648	-0.028	-0.484	-0.025	1.000
Sig. (Unilateral)	ALPA		0.255	0.445	0.033	0.106	0.426	0.260	0.143
	NTALLOS	0.255		0.171	0.038	0.062	0.002	0.118	0.004
	LONGINFLOR	0.445	0.171		0.086	0.008	0.002	0.434	0.290
	ANCHOINFLOR	0.033	0.038	0.086		0.432	0.067	0.499	0.004
	DIASFLO	0.106	0.062	0.008	0.432		0.027	0.407	0.461
	EXCERINFLOR	0.426	0.002	0.002	0.067	0.027		0.259	0.034
	PESOGRA	0.260	0.118	0.434	0.499	0.407	0.259		0.464
	NUGRAPA	0.143	0.004	0.290	0.004	0.461	0.034	0.464	

a. Determinante = .008

Los resultados mostraron las correlaciones entre los descriptores en un rango que va de 0.690 correlación entre número de tallos y excursión de la inflorescencia; así también la correlación entre peso de grano y ancho de la inflorescencia, que va de 0.001, donde al menos 9 de las correlaciones resultaron significativas estadísticamente.

Inspeccionando la matriz de correlación, se observó una relación lineal entre los descriptores, la mayor correlación directa o positiva la tienen los descriptores: número de tallos y excursión de la inflorescencia con un coeficiente de 0.690; la longitud de inflorescencia y la excursión de la inflorescencia también tienen una fuerte relación lineal positiva (0.690). Además, en ambos casos, dicha asociación fue altamente significativa ( $p < 0.002$ ); ello implica que al aumentar el número de tallos y la longitud de inflorescencia se aumentaría la excursión de la inflorescencia; similar comportamiento presentó la relación lineal positiva entre ancho de inflorescencia y el número de granos por panoja (0.648). Por otro lado, la correlación lineal positiva entre la altura de planta y el ancho de inflorescencia (0.485), establece que se esperaría que a mayor altura de las plantas se obtendrían mayor ancho de la estructura floral ( $p < 0.03$ ).

Se observaron correlaciones lineales negativas entre el número de tallos y el ancho de inflorescencia (-0.471), longitud de inflorescencia y días a floración (-0.605), días a floración y excersión de la inflorescencia (-0.507,  $p < 0.002$ ), número de tallos y el número de granos por panoja (-0.659,  $p < 0.004$ ). Por último tenemos la excersión de la inflorescencia con el número de granos por panoja (-0.484,  $p < 0.034$ ).

Lo anterior, es ratificado con el coeficiente determinante encontrado (0.008); ya que está cercano a cero y es un indicativo de que existe una estructura de correlación importante entre los descriptores, dando pertinencia al análisis factorial; en otras palabras, es un indicativo que los descriptores están linealmente relacionados, lo cual es ratificado con la medida de adecuación muestral Kaiser\_Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de Bartlett que se obtuvo un valor de KMO de 0.526 y una significancia de 0.005, lo que implica que el modelo factorial es adecuado para explicar los datos (cuadro 8).

Cuadro 8. KMO y Prueba de esfericidad de Bartlett.

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		.526
Prueba de esfericidad de	Chi-cuadrado aproximado	50.659
Bartlett	gl	28
	Sig.	.005

En el cuadro 9 se denotan los resultados de los autovalores que permiten visualizar el número de componentes principales adecuados y se relacionan con la varianza explicada. Según Zamora *et al* (2009), el análisis factorial utiliza eigenvalores (raíces latentes) y sus correspondientes eigenvectores para consolidar la varianza en una matriz.

Para el caso, los eigenvalores representan la cantidad de varianza de todas las variables indicadoras que puede ser explicada por un factor determinado, por lo tanto, para fines precisos, cada uno de los descriptores (variables) contribuye con un valor de 1 en la varianza total y se elegirán los factores con eigenvalores mayores a 1 para garantizar que explican la varianza de al menos un descriptor.

Cuadro 9. Número de componentes principales y su relación con la varianza total explicada.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	3.247	40.583	40.583	3.247	40.583	40.583	2.551	31.885	31.885
2	1.852	23.148	63.732	1.852	23.148	63.732	2.455	30.686	62.571
3	1.143	14.284	78.016	1.143	14.284	78.016	1.236	15.445	78.016
4	0.826	10.319	88.335						
5	0.374	4.671	93.007						
6	0.318	3.970	96.977						
7	0.173	2.161	99.138						
8	0.069	0.862	100.000						

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

Ferrán (2001) afirma que si los autovalores son muy parecidos a uno, cada factor asociado a una única variable y la conclusión será que no existen subconjuntos de variables relacionadas entre sí. Según el análisis de los descriptores, la varianza total explicada es igual a ocho debido a la estandarización del comportamiento de los descriptores (cuadro 9).

De los ocho puntos de varianza originales, al primer componente principal le corresponden 3.247 que representa el 40.58% de la varianza original y al segundo componente le corresponde 1.852 (23.15%) de la varianza original. Conjuntamente explican el 63.7% de la varianza original. Siguiendo este planteamiento, el tercer componente principal aportó 1.143 que representa el 14.28% de la varianza original. La diferencia con el cuarto componente principal se ajusta a los preceptos establecidos por Hair y colaboradores, por lo que para el caso se concluye que tres componentes principales explican la varianza total de los descriptores involucrados. Es decir, que los ocho descriptores sujetos de análisis quedan supeditados en tres componentes principales que explican el 78.02% de la variabilidad total.

Finalmente, se obtuvieron las cargas factoriales mediante la rotación varimax, con el objetivo de obtener una solución fiable, en el sentido de que los descriptores fuertemente correlacionados entre sí, presentan saturaciones altas (en valor absoluto) sobre un mismo factor y bajas sobre el resto (Ferrán 2001). Para el mismo autor, si dos variables (descriptores) presentan saturaciones altas, próximas a uno en valor absoluto, sobre un mismo factor, entonces, estarán correlacionadas entre sí (positivamente si las saturaciones tienen el mismo

signo, y negativamente si el signo es distinto). Si las saturaciones altas se presentan en dos factores distintos, estarán no correlacionadas, es decir, cuando el coeficiente de correlación tiende a cero.

Según los resultados de las cargas factoriales de cada uno de los descriptores involucrados con el factor, estas cargas representan la correlación del descriptor con el factor. Según el componente puede observarse diferencias en las cargas factoriales y para el caso se considerarán aquellas cargas mayores a 0.5.

Considerando lo anterior y la matriz de componentes rotados (cuadro 10), se muestra claramente que al primer componente se asocian los descriptores número de tallos (ntallos), longitud de la inflorescencia (longiflor), ancho de inflorescencia (anchoinflor), excursión de la inflorescencia (exerinflor) y número de granos por panícula (nugrapa), explicando el 40.58% de la variabilidad total, equivalente al 52.02% del total explicado por los tres componentes relacionados, con cargas factoriales de -0.842, -0.658, 0.702, -0.870 y 0.713 respectivamente.

Según estos resultados, se puede inferir que la expresión de los descriptores del primer componente está más asociados a la fase fenológica de floración y en mínima expresión a la etapa vegetativa de las accesiones.

Al segundo componente se asocian los descriptores altura de planta (alpa) y días a floración (díasflor), explicando el 23.15% de la variabilidad total, equivalente al 29.67% del total explicado por los tres componentes, con cargas factoriales de 0.725 y -0.791 respectivamente. En este componente se involucran descriptores relacionados con las dos fases fenológicas, vegetativa y floración.

Al tercer componente principal le corresponden el descriptor peso de grano (pesograno) explicando 14.28% de la variabilidad total, equivalente al 18.31% del total explicado por los tres componentes, con una carga factorial de 0.929. El componente tres se relaciona con el peso de grano perteneciente a la fase fenológica de cosecha.

Cuadro 10. Matriz de componentes principales por descriptor.

Descriptores	Componente		
	1	2	3
ALPA	0.292	0.725	0.075
NTALLOS	-0.842	-0.037	-0.286
LONGINFLOR	-0.658	0.450	0.294
ANCHOINFLOR	0.702	0.482	-0.271
DIASFLO	0.467	-0.791	0.054
EXCERINFLOR	-0.870	0.271	-0.025
PESOGRA	0.208	0.060	0.929
NUGRAPA	0.713	0.434	-0.167

### 7.2.1 Relación gráfica entre componentes principales

El gráfico de vectores de peso permitió observar la influencia o peso que tiene cada variable observada en la composición de los componentes. Esto puede deducirse de acuerdo a la magnitud, sentido y ubicación de los vectores respecto a los ejes de coordenadas; asumiéndose que un vector largo y muy próximo al eje horizontal indica que esa variable pesa mucho en el componente horizontal. Asimismo, con la dirección indica en qué sentido la variable crece o decrece. Los vectores de escasa magnitud indican que esa variable no afecta a los componentes graficados, y un vector que crece en diagonal significa que la influencia tiene efectos ambiguos no explicados por estos componentes.

Como puede observarse el primer y segundo componente separa días a floración y altura de planta, del resto de los descriptores, por lo tanto, la mayor variabilidad entre las accesiones de sorgo involucradas se explica con estas variables. La accesión CI0929 está más asociada con los descriptores número de granos por panoja y ancho de inflorescencia (nugrapa y anchoinflor); la accesión CI0968 está más asociada con el descriptor altura de la planta (alpa); CI0919, CI0943, CI0932 y CI0937 están más asociadas con el descriptor peso de grano; CI 0968, CI0925, CI0970, CI0973, CI0914, CI0972 y CI0919 están más asociados con los descriptores excersión y longitud de la inflorescencia y número de tallos florales (excerinflor, longiflor, ntallos); y CI0936, CI09938, CI0916 están más relacionadas con días a floración (díasflor). Aun cuando la accesión CI0910 no parece estar asociada a algún descriptor en particular, guarda alguna aproximación con el descriptor peso de grano (pesograno). Con los ejes de componentes principales uno y dos (CP1 y CP2) se explica el 63.73% de la variabilidad total en las observaciones.

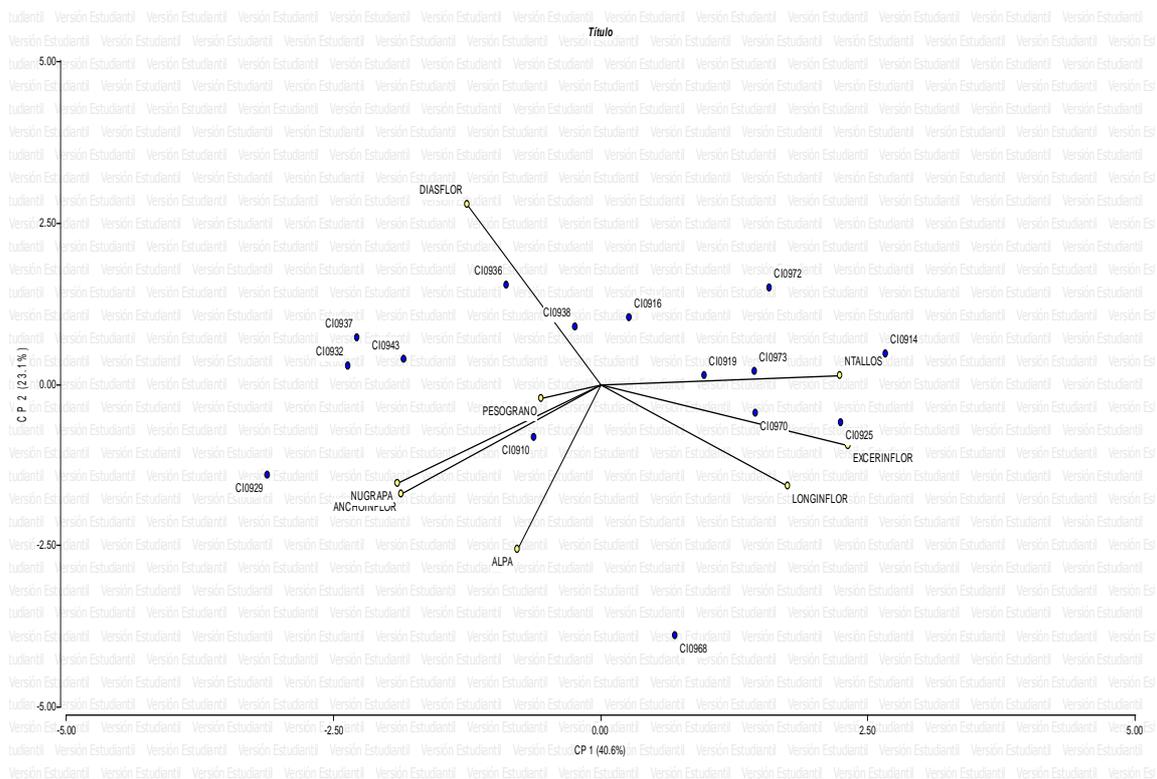


Figura 27. Relación entre el primer y segundo componente principal

Los autovectores e1 y e2 muestran los coeficientes con que cada variable original fue ponderada, para conformar las CP1 y CP2. Por tanto, al construir el CP1, los descriptores excerinflor, ntallos y longinflor, reciben los pesos positivos más altos, sobresaliendo la primera. Por el contrario, los descriptores nugrapa, anchoinflor y díasflor reciben los pesos negativos más altos sobresaliendo el primero. Como resumen puede interpretarse que el CP1 discrimina a aquellas accesiones que presentan excerinflor, ntallos y longinflor, que reciben los pesos positivos más altos, de las accesiones que descriptores nugrapa, anchoinflor y díasflor que reciben los pesos negativos más altos.

Cuadro 11. Autovectores que conforman los componentes 1 y 2

Variables	e1	e2
ALPA	-0.16	-0.53
NTALLOS	0.47	0.03
LONGINFLO	0.37	-0.33
ANCHOINFLO	-0.39	-0.35
DIASFLO	-0.26	0.58
EXCERINFLO	0.48	-0.20
PESOGRANO	-0.12	-0.04
NUGRAPA	-0.40	-0.32

Lo anterior evidencia que el componente uno se encuentra fuertemente influenciado por los vectores de los descriptores positivos ntallos, longinflor, excerinflor, que están relacionados con la fases fenológicas vegetativas y de floración, lo que implica que estos descriptores son las responsables del comportamiento de las accesiones. Es importante enunciar, según los resultados para este componente, que prevalece una asociación negativa para el descriptor díasflor, es decir, que a medida que crece el componente, los valores del descriptor observado decrecen.

Además, se evidencia que crece de derecha a izquierda y decrece en el sentido inverso, por lo que puede asumirse la influencia de este componente en las accesiones relacionadas con los descriptores de floración y en mínima expresión con la fase vegetativa.

El componente 2 tiene una correlación positiva con el descriptor alpa, lo que corrobora que este componente se encuentra totalmente relacionado con la fase fenológica vegetativa, no obstante, existe una relación negativa con el descriptor díasflor.

Los autovectores relacionados con este componente (e2) para el descriptor díasflor recibe el peso positivo más alto (0.58) y el descriptor alpa el peso negativo más alto (-0.53), seguido del anchoinflor, longinflor y nugrapa; derivándose de este componente que desagrega a aquellas accesiones que presentan díasflor más prolongados de accesiones que manifiestan anchoinflor, nugrapa y longinflor variantes (cuadro 11).

Por su parte, el componente tres tiene una correlación positiva muy alta con el descriptor pesograno que está relacionado con la fase vegetativa de cosecha, siendo alta dicha asociación. Estos resultados podrían estar más vinculados a aquellas accesiones con el mayor pesograno como son: CI0937, CI0910, CI0970 y CI0972 (cuadro 12).

Cuadro 12. Autovectores para conformar el componente principal 3.

Variables	e1	e3
ALPA	-0.16	0.07
NTALLOS	0.47	-0.27
LONGINFLOR	0.37	0.28
ANCHOINFLOR	-0.39	-0.25
DIASFLOR	-0.26	0.05
EXCERINFLOR	0.48	-0.02
PESOGRANO	-0.12	0.87
NUGRAPA	-0.40	-0.16

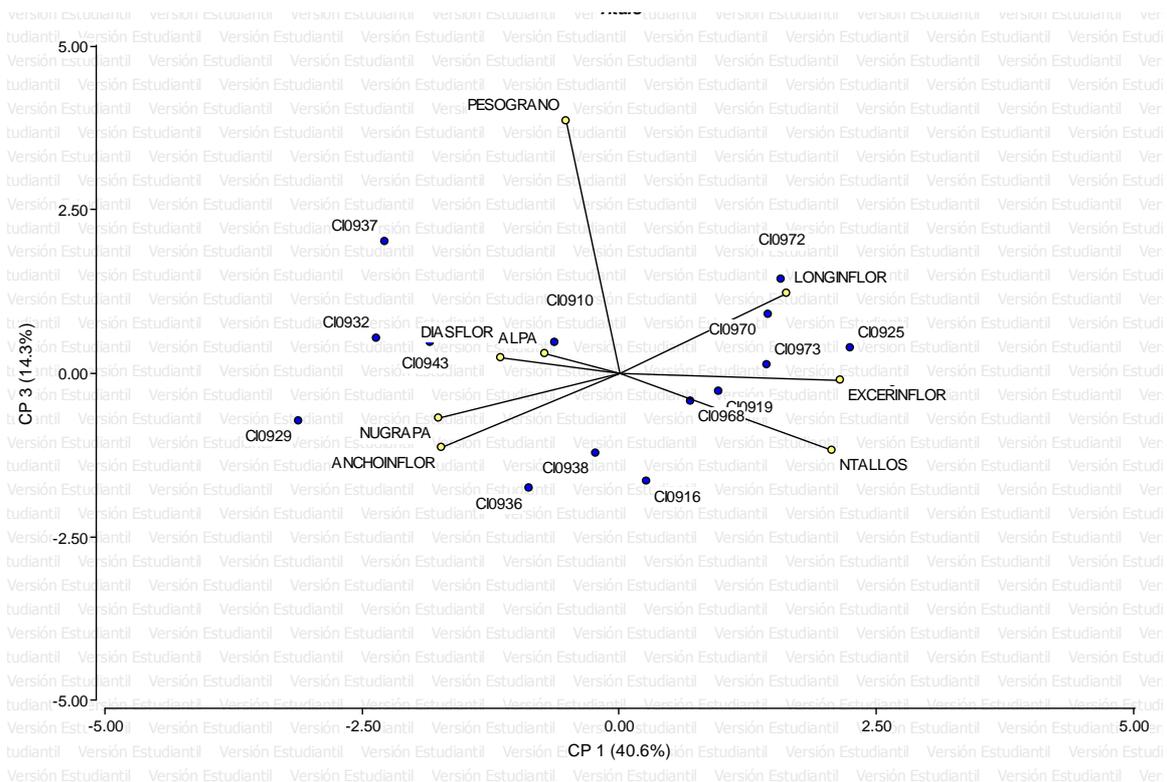


Figura 28. Relación entre el primer y tercer componente principal.

Es el componente tres quien aporta menos a la varianza total, observándose que el descriptor peso de grano está fuertemente asociado. El componente uno sigue manteniendo su comportamiento. Los autovectores expresan que el descriptor pesograno es el que recibe el peso positivo más alto (0.87); a diferencia del resto de descriptores que mantuvieron el perfil bajo; ello implica que este componente está altamente influenciado positivamente por el peso de grano como son las accesiones anteriormente citadas (CI0937, CI0910, CI0970 y CI0972).

### 7.2.2 Agrupación de las accesiones en función de las variables cuantitativas (análisis de conglomerados)

El agrupamiento de objetos multivariados es frecuentemente utilizado como método exploratorio de datos con la finalidad de obtener mayor conocimiento sobre la estructura de las observaciones y variables de estudio. Es decir, los objetos o variables en un mismo grupo comparten el mayor número permisible de características y los objetos en diferentes grupos tienden a ser distintos.

Para Díaz de Rada (2002) debe retomarse las medidas de proximidad entre los  $n$  casos tomados de dos en dos y cuando se emplea el método Ward es preciso considerar la distancia euclídea al cuadrado entre dos individuos, considerando dos variables, definida como la suma de las diferencias entre los elementos al cuadrado.

A partir de lo anterior se construyó un dendograma como aquel gráfico donde se muestra el proceso de agrupamiento entre los casos y la distancia en la que se produce cada agrupamiento. En tal sentido, un dendograma es la representación gráfica del historial de conglomeración que proporciona información muy valiosa sobre el número final de conglomerados.

Por otro lado, las estadísticas descriptivas (media, desviación estándar, valores máximos) para los grupos de accesiones basados en ocho descriptores cuantitativos (alpa, ntallos, longinflor, anchoinflor, díasflor, excerinflor, pesograno y nugrapa) fue considerada para el agrupamiento de las accesiones (cuadro 13).

Una aproximación descriptiva según conglomerados (cuadro 13) destaca que el primer grupo sobresale por presentar el mayor número de tallos, la menor longitud de inflorescencia y peso de grano; para el resto de descriptores las accesiones tuvieron un comportamiento intermedio. Los genotipos que pertenecen a este grupo son: CI0938, CI0936, CI0916 y CI0910.

Al segundo conglomerado pertenecen las siete accesiones donde existe la mayor longitud y excersión de inflorescencia, número de tallos, peso de grano intermedio; por otro lado, se manifiesta la menor altura de planta, ancho de inflorescencia, días a floración y número de granos por panoja que pudieran afectar la producción de semilla si fuera el caso. Las accesiones CI0970, CI0919, CI0973, CI0925, CI0914, CI0972 y CI0968 forman parte de este grupo.

Al tercer conglomerado pertenecen las accesiones que expresaron valores más altos con respecto a los descriptores altura de planta, ancho de inflorescencia, días a floración, peso de grano y número de granos por panoja. Sin embargo, presentaron un solo tallo y la menor excersión de la inflorescencia y una longitud de inflorescencia intermedia; siendo las accesiones CI0932, CI0943, CI0947 y CI0929 quienes forman parte de dicho grupo.

Cuadro 13. Estadística descriptiva para descriptores cuantitativos según agrupación de accesiones de sorgo.

Conglomerado 1: CI0938, CI0936, CI0916 y CI0910

Conglomerado	Variable	Media	Desv. Estandar	Mínimo	Máximo
1	ALPA	1.40	0.16	1.30	1.64
1	NTALLOS	1.80	0.23	1.55	2.00
1	LONGINFLOR	17.34	1.76	15.40	19.68
1	ANCHOINFLOR	4.98	0.38	4.45	5.33
1	DIASFLOR	72.50	1.29	71.00	74.00
1	EXCERINFLOR	11.15	1.37	9.28	12.20
1	PESOGRAÑO	2.74	0.48	2.34	3.42
1	NUGRAPA	1050.75	75.55	971.00	1150.00

Conglomerado 2: CI0970, CI0919, CI0973, CI0925, CI0914, CI0972 y CI0968

Conglomerado	Variable	Media	Desv. Estandar	Mínimo	Máximo
2	ALPA	1.37	0.13	1.24	1.61
2	NTALLOS	1.77	0.20	1.45	2.00
2	LONGINFLOR	26.19	1.50	23.85	28.50
2	ANCHOINFLOR	4.30	1.01	2.50	5.58
2	DIASFLOR	69.86	3.34	63.00	73.00
2	EXCERINFLOR	17.84	3.53	13.02	23.93
2	PESOGRAÑO	3.00	0.23	2.73	3.33
2	NUGRAPA	845.2	348.34	527.00	1641.00

Conglomerado 3: CI0932, CI0943, CI0947 y CI0929

Conglomerado	Variable	Media	Desv. Estandar	Mínimo	Máximo
3	ALPA	1.44	0.09	1.32	1.52
3	NTALLOS	0.00	0.00	0.00	0.00
3	LONGINFLOR	20.25	1.24	19.03	21.43
3	ANCHOINFLOR	5.50	0.80	4.60	6.54
3	DIASFLOR	74.00	2.16	72.00	77.00
3	EXCERINFLOR	8.12	1.33	6.13	8.98
3	PESOGRAÑO	3.23	0.43	2.88	3.86
3	NUGRAPA	1493.50	474.99	1172.00	2200.00

Según el análisis de conglomerados este permite implementar distinto proceso para agrupar accesiones por un conjunto de valores de varias variables, que para el caso según el coeficiente de correlación cofenética de 0.525, indica la correlación de las distancias definidas por la métrica del árbol binario con las distancias originales entre objetos, para el caso, corresponde a las accesiones, luego se espera que el agrupamiento con mayor coeficiente sea el que mejor describa el agrupamiento natural de los datos. Tomando de base el número de componentes principales que explican más allá del 75% de la variabilidad total, se retoma como número de conglomerados a tres (figura 29).

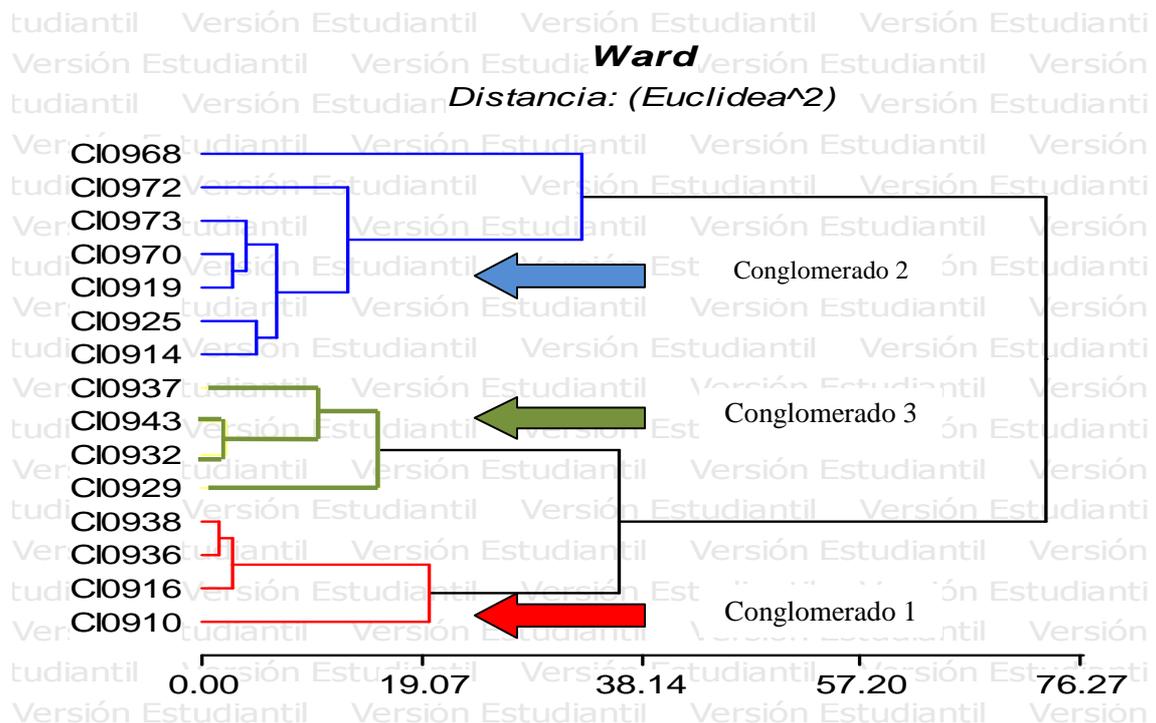


Figura 29. Dendrograma según conglomerados de los descriptores cuantitativos y accesiones.

Los resultados indican una gran similitud entre las accesiones CI0938 y CI0936 al tener una distancia de 1.55, la más baja de todas (cuadro 15); seguida de las accesiones CI0943 y CI0932 (2.15); CI0938 y CI0916 (2.42); CI0936 y CI0916 (2.55); CI0970 y CI0919: las accesiones más diferentes en cuanto al comportamiento de los descriptores son: CI0929 y CI0914 (82.25); CI0914 y CI0910 (73.37); CI0932 y CI0914 (63.49); CI0968 y CI0932 (45.11); CI0968 y CI0916 (42.55); CI0968 y CI0929 (42.08).

Cuadro 14 Método de Ward distancias Euclídeanas para las accesiones involucradas

Accesiones de sorgo

	CI0910	CI0914	CI0916	CI0919	CI0925	CI0929	CI0932	CI0936	CI0937	CI0938	CI0943	CI0968	CI0970	CI0972	CI0973
CI0910	0.00														
CI0914	73.37	0.00													
CI0916	19.71	36.85	0.00												
CI0919	19.43	6.43	24.05	0.00											
CI0925	12.80	4.73	21.31	5.44	0.00										
CI0929	36.11	82.25	38.21	35.94	36.88	0.00									
CI0932	17.23	63.49	33.60	34.21	27.85	15.38	0.00								
CI0936	16.04	20.21	2.55	9.43	21.25	23.99	19.64	0.00							
CI0937	16.06	36.17	27.09	26.07	28.22	16.47	9.99	22.33	0.00						
CI0938	9.22	12.66	2.42	5.10	12.60	18.65	12.18	1.55	16.34	0.00					
CI0943	11.25	22.92	10.45	13.08	18.92	10.61	2.15	11.62	7.22	9.14	0.00				
CI0968	38.45	32.87	42.55	25.28	16.22	42.08	45.11	40.02	37.88	26.41	27.00	0.00			
CI0970	10.72	5.21	18.10	2.58	2.92	27.05	21.25	17.14	17.66	9.61	14.63	15.60	0.00		
CI0972	24.58	12.77	23.49	11.25	11.97	37.01	27.94	22.92	21.11	15.77	17.08	34.74	8.13	0.00	
CI0973	17.75	6.02	13.01	3.79	4.88	26.33	21.87	13.89	19.60	8.74	14.59	18.93	3.42	6.62	0.00

Un análisis del dendograma establece que el primer grupo está conformado por CI0938, CI0936, CI0916 y CI0910, quienes forman el primer grupo de accesiones, logrando las dos primeras, de acuerdo a los descriptores involucrados, mayor homogeneidad (1.55), las cuales al relacionarse con la accesión CI0938 y CI0916 cuya distancia es de 2.42 y 2.55 respectivamente. Sin embargo, el comportamiento de la accesión CI0910 con relación al resto del grupo representó la mayor heterogeneidad (19.71) (figura 30 y cuadro 14).

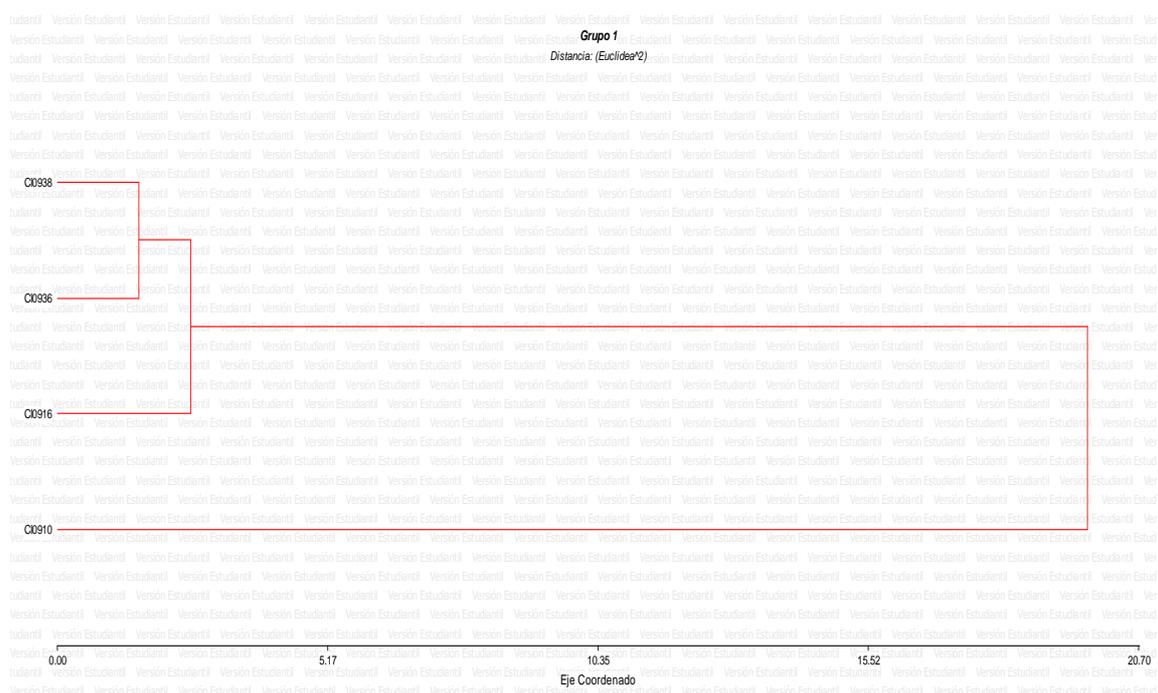


Figura 30. Dendograma para el primer conglomerado y accesiones relacionadas

El segundo grupo, según el dendograma, está formado por siete accesiones CI0970, CI0919, CI0973, CI0925, CI0914, CI0972 y CI0968, las cuales presentaron un mejor grado de homogeneidad en el comportamiento según los descriptores. Las accesiones CI0970 y CI0919 manifestaron un comportamiento más homogéneo del grupo (2.58); seguido por la relación entre CI0970, CI0919 y CI0973 que fue de 2.58 y 3.79 respectivamente. Un poco más distante, se relacionaron con las accesiones CI0973 y CI0925, que alcanzó valoraciones de 4.88, CI0925 y CI0914 que fue de 4.73. Aún cuando los valores extremos podrían omitirse del análisis, la relación entre las accesiones CI0914 y CI0968 es tan heterogénea que alcanzó valoraciones de 32.87 (figura 31 y cuadro 14).

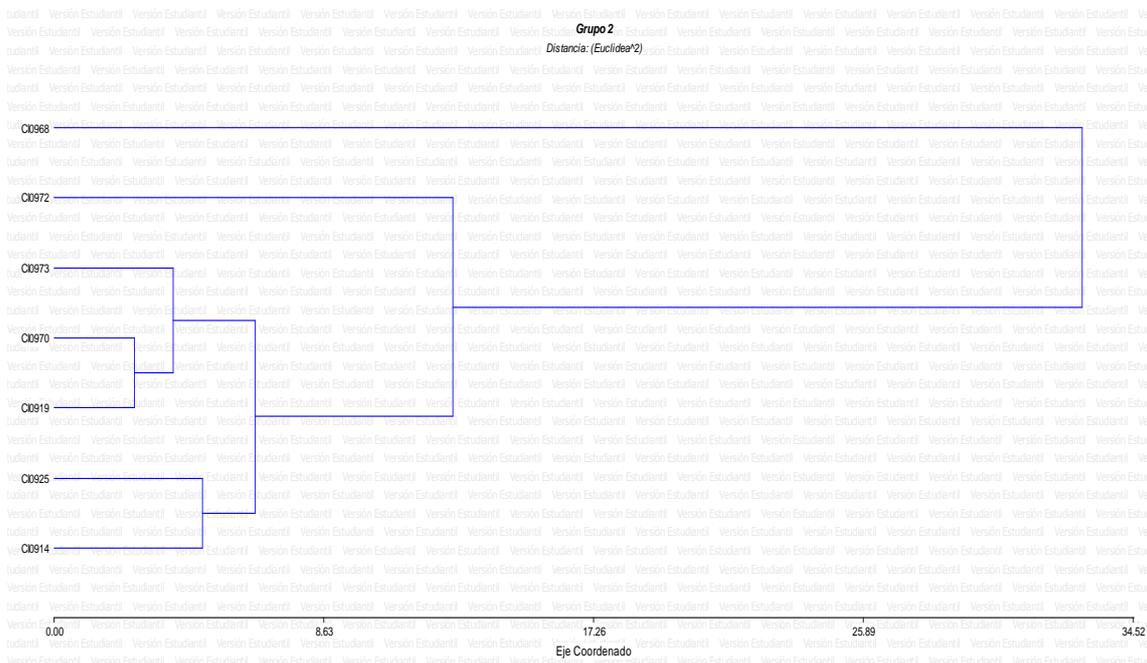


Figura 31. Dendrograma para el segundo conglomerado y accesiones relacionadas.

El tercer grupo según el dendrograma está conformado por cuatro accesiones siendo CI0932, CI0943, CI0947 y CI0929 las que conforman dicho grupo. La distancia entre las primeras dos accesiones (CI0932, CI0943) fue de 2.15, lo que indica un alto grado de homogeneidad, siendo su proximidad con la accesión CI0947 donde alcanza una distancia de 7.22 y 9.22 para la distancia con la accesión CI0932. La máxima distancia corresponde a las accesiones extremas CI0947 y CI0929 donde alcanzó un valor de 16.47 (figura 32).

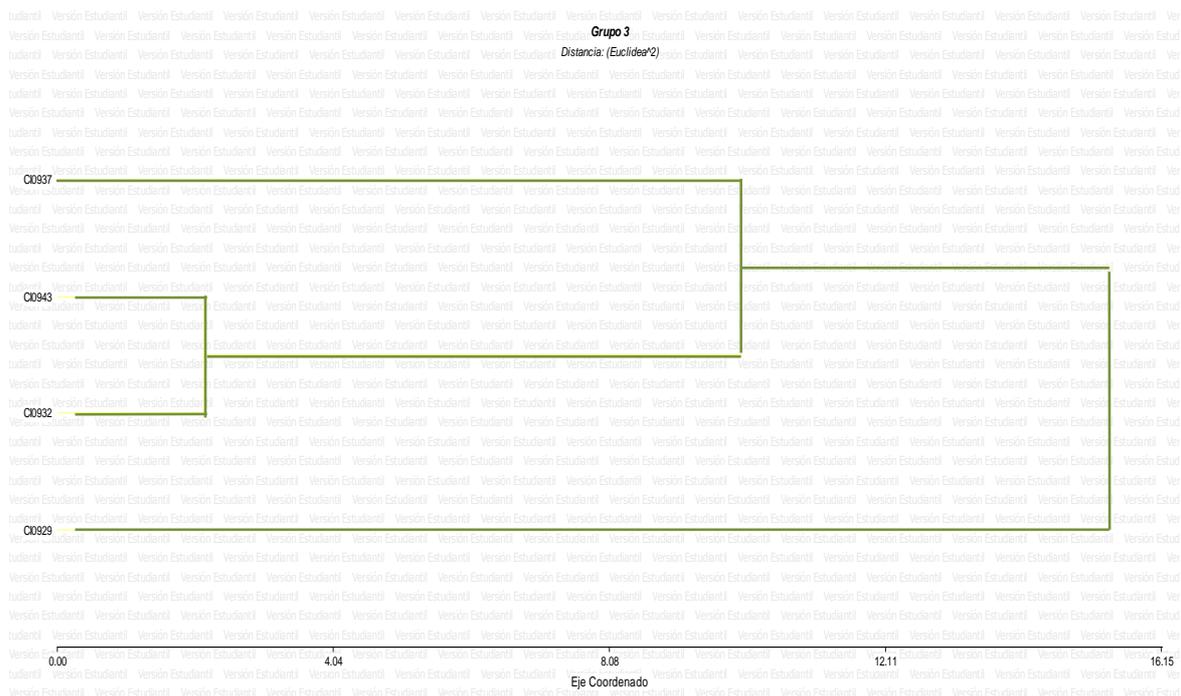


Figura 32. Dendrograma para el tercer conglomerado y accesiones relacionadas

En síntesis, puede afirmarse que en la medida que se incrementa el número de accesiones en los grupos, se incrementa la heterogeneidad expresada por la participación de los descriptores. Sin embargo, es en el tercer grupo donde las accesiones se comportan más homogéneas.

Lo anterior se confirma con el análisis de covarianza (Roy) (cuadro 15) realizado para los grupos o conglomerados, de donde se establece de acuerdo a la prueba hotelling y la comparación de medias DGC que los conglomerados son estadísticamente diferentes con una ( $P < 0.05$ ) una aproximación confirmatoria estableció que es el conglomerado uno donde se presentó el mayor número de tallos (1.80), la menor longitud de inflorescencia y peso de grano, manteniéndose en una situación intermedia el resto de descriptores.

El grupo dos, presento la mayor altura de planta, ancho inflorescencia, días a floración y número de granos por panoja. En él tercer conglomerado fue donde se presentó la mayor altura de plantas, ancho de inflorescencia, días a floración, peso de grano y número de granos por panoja, sin embargo, no se presentaron tallos adicionales y la excersión de la inflorescencia fue menor (8.12).

Cuadro 15. Análisis de varianza (roy) y prueba de hotelling con una significancia de accesiones de sorgo. Estación Experimental San Andrés, año 2011.

	Conglomerado	ALPA	NTALLO	LONGINFL	ANCHOINFL	DIASFLOR	EXCERINFL	PGRANO	NUGRAPA	n	
3	1.44	0.00	20.25	5.50	74.00	8.12	3.23	1493.50	4	A	
2	1.37	1.77	26.19	4.30	69.86	17.84	3.00	958.86	7	B	
1	1.40	1.80	17.34	4.98	72.50	11.15	2.74	1050.75	4	C	

### 7.2.3 Análisis de los descriptores cualitativos

En la caracterización morfoagronómica se evaluaron los descriptores cualitativos. Para los mismos se analizaron cada una de las 15 accesiones seleccionadas para el estudio de acuerdo a la fase fenológica correspondiente (cuadro 15).

Cuadro 16. Frecuencias absolutas y relativas de las características cualitativas y calificación del ICRISAT (1984) para los 15 genotipos de sorgo bmr.

Fase Vegetativa Descriptor	Calificación	Categoría	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
Vigor de cruzamiento	5	Media	5	0.33
	7	Bueno	10	0.67
<b>Fase Floración y Fructificación</b>				
Inflorescencia compacta y forma	9	Compacta elíptica	8	0.53
	6	Semi suelta y erecta	1	0.07
	8	Semi elíptica compacta	6	0.40
Aspecto de todas las plantas	3	Pobre	1	0.07
	5	Medio	14	0.93
Senescencia de las hojas	5	Intermedia	14	0.93
Cera o cutina vaina de las hojas	3	Un poco presente	1	0.07
	5	Media	2	0.13
	7	Parcialmente	8	0.53
	9	Completamente	4	0.27
<b>Fase Cosecha</b>				
Color de la planta	1	Pigmentada	1	0.07
	2	No pigmentada	14	0.93
Jugosidad del tallo	1	No jugosa	9	0.60
	2	Jugosa	6	0.40
Sabor del jugo del tallo	2	Dulce	7	0.47
	3	Insípido	8	0.53
Color de la gluma	2	Claro	9	0.60
	4	Rojo	6	0.40

Cubierta del grano	0	Grano descubierto	4	0.27
	1	0.25 grano cubierto	6	0.40
	3	0.50 grano cubierto	3	0.20
	5	0.75 grano cubierto	2	0.13
Color del grano	1	Amarillo	10	0.67
	2	Rojo	5	0.33
Forma del grano	1	Individual	15	1.00
Gordura del grano	3	Cóncavo	4	0.27
	7	Convexo	11	0.73
Textura del endospermo	5	Intermedia	15	1.00
Color del endospermo	1	Blanco	15	1.00
Tipo de endospermo	1	Normal	15	1.00
Plagas	3	Baja susceptibilidad	12	0.80
	5	Media susceptibilidad	2	0.13
	7	Alta susceptibilidad	1	0.07
Enfermedades	7	Alta susceptibilidad	15	1.00

En la evaluación visual realizada a los 15 días después de la siembra, se observó (cuadro 16) que el mejor comportamiento del descriptor “vigor de cruzamiento” fue bueno y representa el 67% de las accesiones que son: CI0968, CI0973, CI0916, CI0910, CI0925, CI0932, CI0936, CI0938, CI0943 y CI0947; en término medio resultaron las accesiones CI0972, CI0970, CI0919, CI0914 y CI0929, que representan el 33%. Se observa que las accesiones más vigorosas fueron favorecidas por las condiciones de humedad, ausencia de malezas al momento de la siembra, así como una buena preparación del suelo, lo que facilitó la emergencia de las plántulas. Cabe destacar que el vigor es una característica genética de la planta que a menudo es modificada por las condiciones ambientales como sequía y tipo de suelo.

Al hincharse la semilla, el tegumento rompe la radícula y el pequeño coleóptilo emerge. El coleóptilo aparece por primera vez arriba del suelo tres a cuatro días después del inicio de la imbibición (Compton 1990).

La emergencia de la primera hoja arriba del suelo pone a la planta bajo la influencia de la luz y esto resulta en la supresión del crecimiento del mesocótilo, el hipocótilo y el epicótilo, y estimula la formación de clorofila, un buen vigor de la plántula está relacionado con la elongación rápida de la plúmula (Somarriba 1997). La profundidad de siembra afecta la emergencia de la plántula por su efecto sobre la elongación del coleóptilo y del mesocótilo (Maiti 1986).

Para el descriptor “inflorescencia compacta y forma”, los resultados reflejaron que la inflorescencia compacta elíptica fue predominante en un 53% en las accesiones CI0968, CI0970, CI0973, CI0916, CI0919, CI0914, CI0925 y CI0932, quienes forman dicho grupo. E el 40% manifestaron el carácter tipo semi elíptica compacta, participaron las accesiones: CI0910, CI0929, CI0936, CI0938, CI0943 y CI0947; la accesión CI0972 fue la única en manifestar la forma semi suelta y erecta.

El número de flores de un genotipo es importante porque representa el número potencial de semillas y cantidad de polen para el rendimiento Compton (1990). Esto es importante porque dependiendo de la finalidad para la que se destinen estas accesiones, ya sea para la industria o ensilaje, el tipo de inflorescencia compacta elíptica sería el más adecuado, pues el rendimiento de grano será mayor y de mejor calidad nutricional.

El descriptor “aspecto de las plantas” se visualizó en base al manejo agronómico, los parámetros de pobre, medio y bueno, de las 15 accesiones, 14 de ellas presentaron una apariencia media debido a que las accesiones fueron altamente susceptibles al tizón foliar en las hojas (*Helminthosporium* sp) pero la accesión CI 0910 además del tizón foliar, manifestó alta susceptibilidad al ataque de áfidos o pulgones (*Rhopalosiphum maidis*) en toda la planta, debido a la concentración de azúcares que presenta este genotipo.

En el cuadro 16 se muestra que para el descriptor “senescencia de la hoja” esto se refiere a la muerte de las hojas y del tallo en el momento de la madurez del grano, la accesión CI0910

manifestó el carácter de muy poco senescente, por lo tanto, sobresalen las 14 accesiones restantes que mostraron una senescencia intermedia (94%). Cuadra *et al* (2012) reportó que el 45% de los mismos genotipos evaluados presentaron senescencia de tipo intermedio de acuerdo a la escala del CIAT. Comúnmente se piensa que la rápida senescencia de las hojas puede ir en detrimento del rendimiento si los granos de la panoja del sorgo no están completamente llenos. Esta característica es muy importante para aquellos productores que utilizarían esta variedad como doble propósito: aprovechamiento humano y animal del grano y de los residuos de cosecha para consumo animal.

Para el descriptor “cutina o cera” se encontró que el 53% presentaron un comportamiento igual en la vaina de la hoja y el tallo de la planta, calificándolo como parcialmente ceroso, a este grupo pertenecen las accesiones: CI0916, CI0919, CI0914, CI0925, CI0929, CI0932, CI0936 y CI0943; el 27% presentó la vaina de la hoja y el tallo completamente ceroso, a este grupo pertenecen las accesiones: CI0968, CI0972, CI0970 y CI0973; y las dos últimas accesiones presentaron porcentajes inferiores al 27%, siendo la CI0938 y CI0947, que presentaron la calificación medio cerosa en la vaina y el tallo.

Según el descriptor “color de la planta” se observa que el 93% de las accesiones no son pigmentadas y solamente el 7% reflejó pigmentación. Es importante mencionar que para el año 2004 ésta accesión fue liberada con el nombre de CENTA S-2 bmr ya que presenta mayor valor nutritivo que la variedad CENTA S-2 tradicional. Por otro lado, el color púrpura que presenta esta accesión es debido a la acumulación de azúcares en los tejidos y esto provoca que el gen antociánico que da esa coloración se exprese (PIONEER s/f)



Figura 33. a) accesión con pigmentación b) accesión sin pigmentación.

Según Clará *et al* (2009), el color de la planta está controlado por los genes PP y QQ, donde P\_Q\_ califican para el color púrpura. El genotipo CI0910 bmr fue el único que codificó este gen, el resto fueron de color verde gris.

Sobre el descriptor “jugosidad del tallo” el 60% de las accesiones no son suculentas, sobresaliendo las accesiones CI0968, CI0972, CI0970, CI0973, CI0910, CI0916, CI0925, CI0929 y CI0932; sólo el 40% de las accesiones: CI0914, CI0919, CI0936, CI0938, CI0943, y CI0947. Si el propósito es de ensilaje, estos jugos favorecen rápidamente en el proceso de fermentación, también se le puede ofrecer en forma fresca al ganado, lo que sería beneficioso por la palatabilidad y digestibilidad al consumirlo.

(Wall y Ross 1970) señalan que las células del parénquima de los entrenudos de los tallos del sorgo en muchas variedades contienen almidón y esta acumulación difusa puede que induzca el sabor dulce en los tallos del sorgo. Para el descriptor “sabor del jugo del tallo” los resultados obtenidos señalan que el 47% de las accesiones presentaron tallos con sabor dulce y las accesiones con esta característica fueron: CI0968, CI0970, CI0910, CI0916, CI0932, CI0936 y CI0943; el 53% de las accesiones presentaron un sabor insípido de los tallos, siendo: CI0972, CI0919, CI0914, CI0925, CI0929, CI0938, CI0947 y CI0973.

Para el descriptor “color de la gluma” los resultados indican que el 60% de las accesiones posee glumas de color claro; CENTA (2009) reporta que los sorgos que poseen glumas de color claro son preferidos para elaboración de harinas entre las que se encuentran: CI0910, CI0914, CI0919, CI0925, CI0929, CI0932, CI0936, CI0938 y CI0943. El 40% restante son accesiones con glumas de color rojo, los cuales afectan la calidad de harinas elaboradas siendo: CI0916, CI0947, CI0968, CI0970, CI0972 y CI0973, quienes forman parte de este grupo



Figura 34. Tipos de glumas: rojas, púrpura y claras

Clará *et al* (2009) sostienen que los genes de la gluma se encuentran generalmente asociados a los genes del color de la planta, y son P y Q. Algunos parámetros de calidad del grano para la elaboración de harina es que la gluma debe ser eliminada del grano antes de usarse en la elaboración de alimentos, por lo tanto, sorgos con gluma clara son los preferidos para alimento humano así como en la elaboración de harinas; los colores de gluma para grano de sorgo son de tres diferentes tipos: glumas claras (Tan), glumas rojas y glumas púrpura.

La característica “cubierta del grano” es importante porque las glumas protegen el embrión de cualquier daño causado por insectos que provocan enfermedades afectando el rendimiento. De las 15 accesiones cuatro presentaron el grano totalmente descubierto, estas accesiones fueron: CI0910, CI0925, CI0932, y CI0938; el (40%) presentaron glumas que cubren en un 25% al grano en la panoja; tres accesiones tienen glumas que cubren al grano en un 50%, entre las que se encuentran CI0916, CI0936 y CI0943; y solamente dos accesiones presentaron el 75% del grano cubierto por la gluma, entre ellas están CI0914 y CI0947 siendo estas últimas las ideales de producir.

Con respecto al “color del grano” al utilizar la tabla Munsell se identificaron dos grupos, uno amarillo y el otro rojo amarillo. El grupo amarillo se definió según la tabla en 2.5Y 8/4, se

encontraron 10 accesiones que equivalen al 66%, forman parte de este grupo: CI0914, CI0919, CI0925, CI0929, CI0932, CI0936, CI0938, CI0943, CI0970 y CI0972.

El segundo grupo rojo amarillo según la tabla se definió en 7.5YR 8/4, a este grupo pertenecen: CI0968, CI0916, CI0947 y CI0910, representando el 27%; y la accesión CI0973, también del grupo rojo amarillo difiere en el cromo del color según la tabla de Munsell, ubicándose en 7.5YR 7/4, representa el 7%.

Al comparar el “color del grano” de las accesiones del grupo amarillo CI0970, CI0972 y CI0973, con las variedades tradicionales CENTA RCV y las accesiones del grupo rojo amarillo que son CI0925, CI0929 y CI0932 con la variedad CENTA S-3 de doble propósito; estas no presentan el gen *bmr*, CENTA (2007) reporta para esta variedades el color del grano es blanco en comparación con las accesiones bajo estudio.

Cuadra (2012) sostiene que el valor comercial del grano está determinado por los siguientes aspectos: textura, color, tamaño, uniformidad y sanidad del mismo. Granos con buen aspecto y características atractivas tendrán mayor valor tanto por los agricultores como por los comerciantes.

Clará *et al* (2009) investigó que en el pericarpio están concentrados los genes que controlan el color, de igual forma la coloración del grano también afecta los productos alimenticios de consumo humano como animal. Existen actualmente identificados diez pares de genes que afectan el color del grano ( $R_{-}$ ,  $Y_{-}$ ,  $I_{-}$ ,  $S_{-}$ ,  $B_{1-}$ ,  $B_{2-}$ ) también los genes ( $P_{-}Q_{-}$ ) y  $Tp_{-}$ . Razón por la cual la caracterización es importante porque el color del grano es determinante para el color de los productos elaborados con sorgo, principalmente para las harinas (Calderón 2010).



Figura 35. Color del grano según la tabla de Munsell para las 15 accesiones de sorgo.

Para el descriptor “forma del grano” en el 100% de las accesiones el grano se encontró en forma individual, esto es importante porque esta característica es menos afectada por el ambiente.

El descriptor “gordura del grano” reflejó que el 73% de las accesiones tiene gordura convexa, y el 27% de las accesiones 4 accesiones presentaron gordura cóncava. Probablemente esta anatomía de la semilla le brinde protección al embrión del medio ambiente.

En el caso del descriptor “textura del endospermo” se encontró que el 100% de las accesiones presentaron una calificación intermedia, lo que indica que la proporción cornea con la proporción harinosa esta balanceada, importante detalle para el mercado industrial ya que CENTA 2009 reporta esta característica sobre productos como las harinas de buena calidad.

Al respecto Clará *et al* (2009) menciona que el endosperma comprende el 80-85% del tamaño del grano y determina la calidad de este. La textura del endosperma es la proporción relativa de las porciones córnea y harinosa, y ésta propiedad afecta el procesamiento del grano, además, se ve influenciada por el ambiente. Una proporción cornea alta da un mejor rendimiento en la molienda seca, en campo ayuda a la resistencia a insectos.

Para el descriptor “color del endospermo” el 100% de las accesiones (100%) presentaron un endospermo color blanco.

Clará *et al* (2009) menciona que fisiológicamente los pigmentos carotenoides son los que colorean a menudo de amarillo el endosperma. Un grano de sorgo con un pericarpio delgado e incoloro (R-yy ó rryy), sin testa y con endosperma amarillo, adquiere una apariencia amarilla. Un grano con pericarpio delgado y color rojo, sin testa y con endosperma amarillo, adquirirá apariencia de color bronce. Un mesocarpio grueso puede enmascarar un endosperma amarillo, de tal manera que se observa un color blanco al grano. Las variedades con endosperma amarillo son importantes fuentes de vitamina A.

Lo anterior es importante pues, los híbridos que se comercializan no tienen este tipo de endosperma, siendo esta fuente de carotenoides necesaria en la alimentación avícola, la cual es compensada mediante subproductos provenientes del maíz.

El descriptor "tipo de endospermo" el 100% de las accesiones presentaron un tipo normal no ceroso, lo que significa que el endosperma tiene 75% de amilopectina y 25% de amilosa; mientras que el endosperma ceroso ('waxy') tiene casi 100% de amilopectina. El almidón ceroso, tiene propiedades de cocimiento y gelatinización, características que son importantes en la industria. Por tal razón, estas accesiones no presentan características industriales, probablemente solo sean aptas al consumo fresco o en forraje.

Según Clará *et al* (2009) el almidón normal o no ceroso del sorgo contiene el 75% de amilopectina y el 25% de amilasa; mientras que el almidón ceroso contiene casi 100% de amilopectina. Un solo locus controla el tipo de almidón en el endosperma. El alelo dominante Wx controla el amiláceo y el homocigótico recesivo (wx) el ceroso.

Para el descriptor "plagas y enfermedades" se observó una susceptibilidad baja en 12 accesiones que representan el 80% de la población que no fue afectada por afidos ni pájaros, sin embargo para las accesiones CI 0938 CI 0919 la susceptibilidad fue media; pero la accesión CI0910 presentó alta susceptibilidad con respecto a la presencia de afidos.

En cuanto a las enfermedades el 100% de las accesiones presenta alta susceptibilidad a la presencia del Tizón foliar de la hoja, ocasionada por el hongo *Helminthosporium* sp.

#### **7.2.4 Análisis combinado de las variables cuantitativas y cualitativas**

Para determinar las relaciones entre variables cuantitativas y cualitativas se tomó en cuenta el dendograma obtenido con el análisis de conglomerado jerárquico de las variables cuantitativas usando el método de Ward y la distancia obtenida, a partir del coeficiente de similaridad de Gower que mostró la formación de tres grupos así como las frecuencias absolutas de los descriptores cualitativos, con ello se elaboró la matriz que refleja cuales descriptores son comunes para cada una de las accesiones (cuadro 17).

Al analizar los descriptores cualitativos en relación al conglomerado 1, se observó que las accesiones involucradas presentan buen vigor de cruzamiento, con una inflorescencia de forma semi elíptica compacta y un aspecto medio de las plantas; senescencia de hojas intermedia con presencia de cera o cutina de poco a parcialmente presente y color de la planta de predominancia no pigmentada, aunque en este grupo de accesiones fue donde se presentó aquella que manifestó pigmentación; con una jugosidad indeterminada y en el caso de las jugosas su sabor fue dulce.

En cuanto al grano se presentó un color que va de amarillo a rojo amarillento con glumas color claro y una cobertura del grano que va desde descubierto hasta el 50% de cobertura; sin embargo, la forma del grano fue individual y una gordura convexa, con un tipo de endospermo normal de color blanco y textura intermedia; en cuanto a la susceptibilidad respecto a plagas en este conglomerado hubo desde baja hasta alta susceptibilidad, sin embargo, en el caso de las enfermedades todas las accesiones de este conglomerado presentaron alta susceptibilidad al tizón foliar de la hoja, provocado por el hongo *Helminthosporium* sp.

Para el segundo grupo se presentó un vigor de cruzamiento entre medio y bueno; una inflorescencia compacta elíptica un aspecto de plantas medio, una senescencia intermedia y vainas de las hojas de parcial a completamente cerosa; el color de la planta en un 100% fueron no pigmentadas sin jugosidad en los tallos y de sabor insípido.

En cuanto al grano se presentó un color amarillento con color de gluma rojo y una cobertura desde descubierto hasta el 25% de cobertura; la forma del grano individual con una gordura

convexa, con un tipo de endospermo normal de color blanco y textura intermedia; en cuanto a plagas las accesiones se comportaron de baja susceptibilidad y alta susceptibilidad para el caso del tizón foliar de la hoja.

Para el grupo o conglomerado 3 se presentó un vigor de planta bueno, con inflorescencia semi elíptica compacta, un aspecto medio en todas las plantas y una senescencia de las hojas intermedia; en cuanto a la cera o cutina se presentó parcialmente, con ausencia de pigmentación y una jugosidad y sabor indefinido.

En relación al grano, este presentó un color amarillo con una cubierta indefinida desde descubierto hasta el 75% de cobertura y un color de la gluma claro; en cuanto a la forma del grano fue individual con una gordura indefinida entre cóncavo y convexo; el tipo de endospermo fue normal de color blanco y una textura intermedia; las accesiones correspondientes a este grupo se comportaron con baja susceptibilidad respecto a plagas y alta susceptibilidad al *Helminthosporium* sp.

Cuadro 17. Descriptores cualitativos por categoría y por conglomerado que se relacionan con las accesiones

DESCRIPTOR	CATEGORIA	CONGLOMERADO 1	CONGLOMERADO 2	CONGLOMERADO 3	TOTAL
		ACCESIONES	ACCESIONES	ACCESIONES	
		CI0938, CI0936, CI0916 y CI0910	CI0970, CI0919, CI0973, CI0925, CI0914, CI0972 y CI0968	CI0932, CI0943, CI0947 y CI0929	
Vigor de cruzamiento	Media	0	4	1	5
	Bueno	4	3	3	10
Inflorescencia compacta y forma	Compacta elíptica	1	6	1	8
	Semi suelta erecta		1		1
	Semi elíptica compacta	3		3	6
Aspecto de todas las plantas	Pobre	1			1
	Medio	14	Idem	Idem	14
Senescencia de las hojas	Poco	1			1
	Intermedia	14	Idem	Idem	14
Cera o cutina vaina de las hojas	Un poco presente	1			1
	Media	1		1	2
	Parcialmente	2	3	3	8
	Completamente		4		4
Color de la planta	Pigmentada	1			1
	No pigmentada	14	Idem	Idem	14
Jugosidad del tallo	No jugosa	2	5	2	9
	Jugosa	2	2	2	6
Sabor del jugo del tallo	Dulce	3	2	2	7
	Insípido	1	5	2	8
Color de la gluma	Claro	3	3	3	9
	Rojo	1	4	1	6
Cubierta del grano	Grano descubierto	2	1	1	4
	0.25 grano cubierto	1	4	1	6
	0.50 grano cubierto	2		1	3
	0.75 gra cubiert		1	1	2

Color del grano	Amarillo	2	6	3	11
	Rojo amarillo	2	1	1	4
Forma del grano	Individual	15	Idem	Idem	15
Gordura del grano	Cóncavo	1	1	2	4
	Convexo	3	6	2	11
Textura del endospermo	Intermedia	15	Idem	Idem	15
Color del endospermo	Blanco	15	Idem	Idem	15
Tipo de endospermo	Normal	15	Idem	Idem	15
Plagas	Baja susceptibilidad	2	6	4	12
	Media susceptibilidad	1	1		2
	Alta susceptibilidad	1			1
Enfermedades	Alta susceptibilidad	15	Idem	Idem	15

## VIII. Conclusiones

1. Las 15 accesiones de sorgo de la colección de CENTA, mostraron diversidad con el uso de los descriptores cuantitativos y cualitativos, no obstante se determinó que existen accesiones muy afines. Además los descriptores cuantitativos y cualitativos permitieron separar en tres grupos las 15 accesiones de sorgo, lo que indica la existencia de características diferentes entre las accesiones estudiadas.

2. El grupo uno está constituido por las accesiones CI0938, CI0936, CI0916 y CI0910 quienes presentaron el mayor número de tallos. En cuanto a los descriptores longitud de inflorescencia y peso de granos los valores fueron menores (17.34 cm y 2.74 g respectivamente). Al relacionar dicho grupo de accesiones con los descriptores cualitativos éstas sobresalieron por presentar buen vigor de cruzamiento, color de glumas claras, plantas parcialmente cerosas, inflorescencia compacta semi elípticas y jugosidad dulce.

3. El grupo dos formado por las accesiones CI0970, CI0919, CI0973, CI0925, CI0914, CI0972 y CI0968, expresaron su máximo potencial en los descriptores longitud y excursión de la inflorescencia (26.19 y 17,84 cm); y en menor expresión para los descriptores la altura de planta, ancho de inflorescencia, días a floración y número de granos por panoja (1.37 m 4.30 cm, 69.86 días, 958.86 granos respectivamente). Este grupo se caracterizó por presentar un vigor de cruzamiento medio, inflorescencia compacta elíptica, plantas de parcial o total cerosa, no suculentas y generalmente insípidas.

4. El grupo 3 constituido por las accesiones CI0932, CI0943, CI0947 y CI0929 presentaron la mayor altura de planta, ancho de inflorescencia, días a floración, peso de grano y número de granos por panoja. Sin embargo, este grupo de accesiones presentó un solo tallo y la menor longitud de excursión (8.12 cm). Este grupo de accesiones se caracterizó por presentar un buen vigor, inflorescencia semi elíptica compacta, plantas parcialmente cerosas con una jugosidad y sabor intermedio.

5. Para los descriptores cuantitativos, altura de la planta, peso del grano y días a floración, existió en la mayoría de las accesiones un comportamiento bastante homogéneo, sin embargo, las accesiones CI0910 y CI0968 mostraron las máximas alturas, la CI0910 mejor peso de grano y la CI0968 fue la accesión más precoz en el período de floración. Caso contrario el número de tallos, longitud de floración, excursión de la inflorescencia y número de granos por panoja, mostraron un comportamiento heterogéneo en las accesiones (CI0968, CI0910, CI0914 y CI0929). Sin embargo las variables cualitativas que tienen la mayor capacidad discriminante para separar los grupos de accesiones fueron vigor de cruzamiento, aspecto de las plantas, senescencia de la hoja, color de la planta, cera o cutina de la vaina de la hoja, color del grano, cubierta del grano, gordura del grano y plagas y enfermedades.

## **IX. Recomendaciones**

1. El uso de descriptores morfológicos cuantitativos y cualitativos discriminantes de este estudio, generan información necesaria para determinar la variabilidad existente en la población. Se recomienda su uso para futuros trabajos en otros periodos y en ambientes diferentes, para validar si los descriptores influyen en la respuesta de las accesiones.
2. Difundir los resultados así como la línea base de datos de la investigación a las diferentes instituciones encargadas en la conservación de germoplasma, para identificar accesiones con alto potencial agronómico y evitar pérdida por factores edáfico-climáticos.
3. Las accesiones CI0932, CI0943, CI0947 y CI0929 se pueden recomendar para la producción de granos porque éstas presentaron las características de mayor altura de planta, ancho de inflorescencia, peso de grano y número de granos por panoja. De igual manera se recomiendan para producción forrajera las accesiones CI0938, CI0936, CI0916, CI0910, CI0970, CI0919, CI0973, CI0925, CI0914, CI0972 y CI0968 por presentar el mayor número de tallos, longitud y excursión de la inflorescencia.

## X. Bibliografía

Abadie, T; Berretta, A. 2001. Caracterización y Evaluación de Recursos fitogenéticos. Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur (en línea). PROCISUR. Consultado el 01 de dic. 2009. Disponible en [http://www.fagro.edu.uy/~fitotecnia/docs/Caracterizacion\\_y\\_Evaluacion\\_de\\_Recursos\\_Fitogeneticos.pdf](http://www.fagro.edu.uy/~fitotecnia/docs/Caracterizacion_y_Evaluacion_de_Recursos_Fitogeneticos.pdf)

Álvarez, M; Talavera. 1990. Efecto de cuatro densidades poblacionales y cuatro niveles de nitrógeno en el rendimiento de sorgo. Vr pinolero 12 p.

Arnon, E. 1972. Crop production in dry regions. Vol. II. Leonard Hall. 633 p.

Baró, J. Alemany, R. (2000). Estadística II. Fundación para la Universidad de Catalunya. Barcelona. 250 p.

Bioversity International y The Christensen Fund 2010. Descriptores del conocimiento que los agricultores tienen de las plantas. Bioversity Internacional, Roma, Italia y the Christensen Fund, Palo Alto, California, USA. P. 30

Bramardi, S J. 2000. Estrategias para el análisis de datos en la caracterización de recursos fitogenéticos. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. 47-52 p.

Bruggers, RL; y Jaeger, MM. (1982). Bird pests and crop protection strategies for cereals of the semi-arid African tropics. In:ICRISAT. (1982). Sorghum in the eighties: proc. Int. symp. On sorghum, ICRISAT, India.

Calderón, VR. 2010. Parámetros de calidad de grano de sorgo para la elaboración de alimentos y harinas. (Folleto). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”. San Andrés, La Libertad

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, cr). 1979. Los recursos genéticos de las plantas cultivadas de América Central. Turrialba, Costa Rica. 217 p.

CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova,” sv). 2012. Proceso de certificación de semilla de sorgo (diapositivas). La Libertad, El Salvador. 38 diapositivas, color

CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova,” sv). 2007. (Guía Técnica) del Sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). La Libertad El Salvador, 38 p

Ceballos y Cruz 2002. Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 53 p.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, co) 1983. Metodología para obtener semillas de calidad. Arroz, Frijol, Maíz, Sorgo. Unidad de semillas. CIAT. Cali, Colombia. 194 p

Coffman, FA. 1977. Oat history, identification & classification. Technical Bull N 1516. USDAARS, Washington D.C. 85-95 p.

Compton, LP 1990. Agronomía del Sorgo. San Andrés. CENTA. El Salvador. 97-104 p.

Cuadra, SA.; Obando, R. 2012. Evaluación de Genotipos de sorgos con el gen bmr de doble propósito en el Valle de Sébaco, postrera 2011. Informe técnico. Programa manejo integrado de cultivos INTA. Centro Norte.

Cuadra, RM. 2000. Efecto de diferentes densidades de siembra y distancia entre hileras sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de sorgo. Tesis. Universidad Nacional Agraria. Escuela de producción vegetal. Managua, Nicaragua. 38 p.

Clara, R; Zeledón, HS. 2010. Protocolo para Incorporación de genes bmr (vena central café) y B1b1-B2b2 (taninos) a variedades comerciales de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.), CENTA, San Andrés, La libertad, El Salvador. 9 p.

Clará, R. 2011. Sorgo CENTA S-2 bmr, Nueva variedad forrajera. CENTA, San Andrés, La libertad, El Salvador. 7 p.

Clará, R.; Bill, W; Rooney, L. 2009. Control Genético del Color del Grano de Sorgo. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). L Libertad El Salvador.

Clará, R. 2008. Generan nuevas variedades de sorgo para grano y forraje tipo "BMR" INTSORMIL-CENTA San Andrés, La libertad, El Salvador. 7 p.

Cristini, AJ. 1987. Introducción del cultivo del Sorgo. Guatemala. 26 p.

Díaz de Rada V. 2002. Técnicas de análisis de datos multivariantes para investigación social y comercial. Ejemplos prácticos utilizando SpSS versión 11. Madrid: Editorial Ra-Ma; 19 p.

Di Rienzo, JA.; Casanoves F.; Balzarini MG.; González L.; Tablada M.; Robledo C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 336 p.

Doggett, H. 1998. Sorghum. 2<sup>nd</sup> edition. Longman Scientific and Technical, London. 512 p

Douglas, 1991. Nutritional value of sorghum grain for poultry. Grain Sorghum Feeding Information for Poultry - Neb. Grain Sorghum Devp., Util. and Mkt. Board. 1995 edition

DGEA (Dirección General de Economía Agropecuaria,sv). 2012-2013. Anuario de estadísticas agropecuarias, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Santa Tecla, El Salvador. 989p

Eastin, J.D. 1983. Sorghum In: Symposium on potencial productivity of field crops under different environments. IRRI, Los Baños Philippines

Evans, LT. ;Wardlaw, LF. 1976, Aspect of the comparative physiology of grain yield in cereals, Adv. Agronomic, 28-359

Falconer, HA. 1981. Introduction to quantitative genetics. Longman, New York. 340 p.

FAO (Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas) 1996. Conservación y utilización sostenible de los recursos fitogenéticos: Plan de acción mundial e informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos en el mundo. IT. 10p.

FAO (Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas 1980. Introducción al control integrado de las plagas del sorgo: (Estudio FAO: Producción y protección vegetal # 19). Roma EP, citado por Flores. M, 1996. 29 p.

Franco, LT. y Hidalgo, R. 2003. Análisis estadístico de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín técnico N° 8 Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 22, 27, 39 p.

Fernández, MA. 2007. Rol del grano de sorgo con altos niveles de taninos sobre las producciones de carne y leche. (En línea) Consultado 20 ene 2012. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/bordenave/contactos/autores/anibal/res15meyer.htm>.

Ferrán, M. 2001. Biblioteca Profesional Capitulo 15,Análisis factorial . Mc Graw Hill 339-353 p

Fischer KS. y Wilson GL. 1971. Studies of grain production in Sorghum vulgare. II. Sites responsible for grain dry matter production during the post –anthesis period. Aust.J. Agric. Res. 22:39–47.

González, TF, Rojo, HC. 2008. Gramíneas y seudocereales. Portuario de agricultura: cultivos agrícolas. Ed. Mundi Prensa. 1-20 p.

González, F y Pita, JM 2001. Conservación y caracterización de los recursos fitogenéticos. Madrid I.N.E.A. 279 p.

Gutiérrez, ND. 2004. Caracterización del fotoperiodismo y agromorfología de 14 variedades de sorgo millón (*Sorghum bicolor* [L] Moench.) en tres épocas de siembra en CNIA. Tesis Ing. Agrónomo Generalista. Managua, Nicaragua. 68p.

Harding, K. 1996. Approaches to assess the genetic stability of plant genetic recovered from *in vitro* culture. In: *In vitro* Conservation of Plant Genetic Resources. M. Normah; M. Narimah y M. Clyde (Eds.) 135-168 pp.

House, LR 1985. A guide to sorghum breeding. 2nd edn: ICRISAT, India IBPGR. 1981. Oat descriptors. International Board for plant Genetic Resources, Roma 150 p.

Ibar, A.L. 1987. El Sorgo. Cultivo y aprovechamiento. AEDOS. Barcelona, España. 15 p.

IBPGR (Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos it).1981. Oat descriptors. International Board for plant Genetic Resources, Roma 150 p.

ICRISAT (Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para las zonas tropicales semiáridas, In). 1984 Revised sorghum descriptors. Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para las zonas tropicales semiáridas. AGPG: IBPGR/84/142

Jiménez, J.I. 2009. Descriptores varietales de avena cultivadas en México. Tesis M.Sc. Colegio de postgrados. Montecillo, Texcoco. México. 87 p.

Krieb, DR. 1983. Sorghum. In: Teare, I.D.; and peet, M:M (eds) 1983. Crop-water relations: Jonn Wilwy and sons. 547 p.

León, L. 1987. Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. San José, Costa Rica. 158 p.

Lobo, R. 2004. Caracterización de yuca (*Manihot esculenta* Crantz).In Palma, R. Conservación *in situ* de cultivos nativos y parientes silvestres. Chorica, PE. Seminario taller. p 136-169.Martín, F.W. 1985. Sorghum. In: CRC Handbook of Tropical Food Crops: CRC Press, Inc., Ohio, USA

López, JF.; Fernández, H.; Lozada, C. López, J.F. *et al.*,2008. Analisis factorial con componentes principales para interpretación de imágenes satelitales 2008. Analisis factorial con componentes principales para interpretación de imágenes satelitales "Landsat tm 7". Scientia et technica, Universidad Tecnologica de Pereira (15):38, 241-246 p.

López, A.; Galleato. 1982. Efecto de competencia de maleza en distintos estados de crecimiento del sorgo. Publicación técnica N° 25. INTA Argentina. 30 p.

Martín, F.W. 1985. Sorghum. In: CRC Handbook of Tropical Food Crops: CRC Press, Inc., Ohio, USA

Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para las zonas tropicales semiáridas

Martín, O.G. 2005. Sorgos forrajeros, La nueva generación. Producción 7:(3)

- Martínez, F. 2002. Análisis de los sistemas de cultivo a base de sorgo para la construcción de un programa de Mejoramiento Genético Participativo en Madris, Nicaragua. Tesis de Master of Science. CNEARC. 156 p.
- Maiti R.K. 1986. Morfología, Crecimiento y Desarrollo del sorgo: Facultad. Agronomía.; Universidad. Auton. Nuevo León, México.
- Miller FR.; Barnes DK. 1980. Crecimiento y desarrollo del sorgo. En producción y Protección vegetal. Introducción al CIP. 135 p.
- Monterrey, C. 1997. Dosis y momento de aplicación de fertilizante nitrogenado: Efectos sobre el crecimiento y rendimiento en el cultivo del sorgo granífero. Tesis. Ing. Agr. UNA, Managua, Nicaragua. 44 p.
- Morales, AJ. 2011. Caracterización de materiales criollos de sorgo. CENTA, San Andrés, La libertad, El Salvador. 16 p. Sin publicar.
- Morales, VMJ. 2002. Comportamiento de generaciones f5 de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench). Tesis Ing. Agr. FDR/UNA. Nicaragua. 47 p.
- Muñoz, AG. 1983. Efecto de tres dosis de nitrógeno sobre los descriptores varietales de arroz. Tesis Mag.Sc. Bogotá, Colombia. 57 p.ew Windsor new york
- Munsell. 1977. Munsell color chsrts for plant tissues.
- Naranjo, J. s/f. El cultivo del sorgo (*sorghum vulgare*) como una alternativa medicinal y alimenticia (Correo electrónico).
- Ortiz, R. 2008. El Salvador. Investigaciones para mejorar sorgo. (En línea) Consultado 30 nov. 2011. Disponible en <http://www.laprensagrafica.com>.
- Peña, D. 2002. Análisis de datos multivariados. Mac Graw Hill, Madrid. 133 -158p.
- Peña, SEC. 1989. Influencia de rotación y control de maleza sobre la cenosis de la maleza de la maleza, en el crecimiento, el desarrollo y rendimiento del cultivo del sorgo. Tesis. Managua, Nicaragua. 48 p.
- Pérez, A.; Saucedo, O.; Iglesias, J.; Wencomo, HB.; Reyes, F.; Oquendo, G.; Milián, I. 2010. Caracterización y potencialidades del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), ISSN 0864-0394 Pastos y Forrajes 33: (1)
- Pérez, LC. 2004. Técnicas de análisis multivariante de datos. Aplicaciones con SPSS. Pearson, Madrid, 121-154 pp.
- Pineda, L. 1999. Cultivo del sorgo. Guía tecnológica 5. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA). Managua, Nicaragua 24 p.

PIONEER. s/f. Sorgo: crecimiento y desarrollo del cultivo. Boletín técnico. Buenos Aires, Argentina. 4 p.

Potter, RH.; Jones, MGK. 1991. Molecular analysis of genetic stability. In vitro Methods for Conservation of Plant Genetic Resources (J. H. Dodds, Ed.) Chapman and Hall, London, UK. p.71-91.

Poehlman, CL: 1965. Desarrollo de tecnología con genotipo mejorados de sorgo para áreas marginales de los valles altos de México XXXI Reunión anual PCCMCA, San Pedro Sula, Honduras,

Puldón, PV. 2006. Principios de mejoramiento genético en el arroz. Instituto de investigaciones del arroz. Habana, Cuba. P. 44.

Purseglove, JW. 1972. Tropical crops. !. Monocotyledons: Longman. 259-286 p.

Rivas, A.1988. Identidad varietal en Maíz en relación con la estabilidad de diversos caracteres. Tesis M.C. Colegio de posgraduados, Centro de genética, Montecillos México. 110 p.

Saavedra, MB. y Gutiérrez, M.J. 2008. Comparación de alternativas de manejo de plagas convencional e integrado (MIP), en el cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench): en época de postrera. Managua. Tesis Ing. Agr. Nicaragua, UNA. 37p.

Somarriba, C. 1997. Granos básicos. Texto, 1997. Escuela de producción vegetal. UNA. Managua, Nicaragua. 197 p.

Sharma, S. 1998. Applied Multivariate Techniques p. 40

Sánchez, MA., 1994. Cultivo del Sorgo Granífero (En línea) Consultado 27 de ene. 2012. Disponible en [www.monografias.com/trabajos/sorgo/sorgo](http://www.monografias.com/trabajos/sorgo/sorgo).

Saucedo, OM. 2008. Empleo del sorgo en la alimentación animal y humana. Taller Nacional sobre empleo del sorgo. Universidad Central de Las Villas. Villa Clara, Cuba.

Suarez, MM.; Zeledón, J.L 2003. Uso eficiente del nitrógeno por cuatro variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* [L] Moench) en el Municipio de San Ramón, Matagalpa Universidad Nacional Agraria

Torres, LA. 2010. Caracterización morfológica de 37 accesiones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) del banco de germoplasma del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. 83 p.

Wall, S; Ross, WM. 1970. Producción y uso del sorgo. Ed. Hemisferio Sur, Argentina 47 p.

Zamora, S.; Monroy L.; Chávez, C. 2009. Análisis factorial una técnica para evaluar la dimensionalidad de las puebas. Cuaderno #6 Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior. A.C. Ceneval 173 p.

Zapata M.; Orozco, H. 1991. Evaluación diferentes métodos de control de malezas y distancias de siembra sobre la cenosis de las malezas, crecimiento y rendimiento del frijol común. Tesis de Ing. Agron. UNA. Managua, Nicaragua. 72 p.

Zeledón, HS. 2008. Sorgo, Programa de granos básicos, (Correo electrónico) El Salvador.

## XI. Anexos

### Anexo 1. Descriptores Morfológicos para el cultivo de Sorgo utilizados por el ICRISAT (1984).

CARACTERISTICAS	ESTADO	NIVEL	
1	Planta: Altura	C	Cuando tenga el 50% floración
2	Color de la planta	C	Pigmentada 1() Canela 2()
3	Jugosidad del tallo	C	No Jugosa 0() Jugoso 1()
4	Sabor del jugo del tallo	C	No jugoso 0() Pastoso 1() Insípido 2()
5	Cutina o Cera	VG	No cera 0() Poco presente 3() Media 5() Parcialmente ceroso 7() Completamente ceroso 9()
6	Antesis	F	Cuando tenga el 50% de floración
7	Número de tallos florales/planta	F	Promedio de 20 plantas
8	Vigor de cruzamiento	VG	Malo 3() Media 5() Alto 7()
9	Inflorescencia compacta y forma	F	Panícula laxa 1()  Muy suelto rama primaria erecta 2() Muy floja rama primaria caída 3() Ramas primarias erectas 4() Suelta cayendo de ramas primarias 5() Semi-sueltas ramas primaria erectas 6() Semi-suelta cayendo ramas primarias 7() Semi-elíptica compacta 8() Compacto elíptica 9() Ovalada compacto 10() La mitad broom 11() Broom maíz 12()

10	Excursión de la inflorescencia	F	No exertos Poco exertos Exertos Bien exertos Pedúnculo recurvado	0 ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( )
11	Longitud de la inflorescencia	C	En centímetros	
12	Ancho de la inflorescencia	C	En centímetros	
13	Color de la gluma	C	Blanco Amarillo  Caoba  Rojo Purpura Negro Gris	1 ( ) 2 ( )  3 ( )  4 ( ) 5 ( ) 6 ( ) 7 ( )
14	Cubierta del grano	C	Descubierto 0.25 cubierto 0.50 cubierto 0.75 cubierto Totalmente cubierto  Glumas	0 ( ) 1 ( ) 3 ( ) 5 ( ) 7 ( )  9 ( )
15	Número de granos por panícula	L	Promedio de 20 panojas	
16	Peso del grano	L	Peso de 100 granos	
17	Color del grano	L	Crema Amarillo Gena	1 ( ) 2 ( ) 3 ( )
18	Gordura del grano	L	Cóncavo Convexo	3 ( ) 7 ( )
19	Forma del grano	L	Individual En pareja	1 ( ) 2 ( )
20	Textura del endospermo	L	Completamente córnea  Parcialmente córnea Intermedia Con almidón Completamente con almidón	1 ( )  3 ( ) 5 ( ) 7 ( ) 9 ( )
21	Color del endospermo	L	Blanco Amarillo	1 ( ) 2 ( )
22	Tipo de endospermo	L	Normal Waxy	1 ( ) 2 ( )

			Azucarado	3 ( )
23	Senescencia de la hoja	C	No senescentes	0 ( )
			Muy poco senescente	1 ( )
			Un poco envejecido	3 ( )
			Intermedia	5 ( )
			Sobre todo senescente	7 ( )
			Completamente senescente	9 ( )
24	Aspecto de las plantas	C	Pobre	3 ( )
			Medio	5 ( )
			Bueno	7 ( )
25	Plagas y enfermedades	C	Baja susceptibilidad	3 ( )
			Susceptibilidad media	5 ( )
			Alta susceptibilidad	7 ( )

Anexo 2. Superficie y producción de sorgo en El Salvador, 2012-2013

EL SALVADOR  
SORGO  
SUPERFICIE SEMBRADA, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO POR VARIEDAD  
SEGÚN REGIÓN, DEPARTAMENTO Y COSECHA  
2012 - 2013

REGIÓN DEPARTAMENTO Y COSECHA	TOTAL			VARIEDAD SEMBRADA					
	Superficie (Mz.)	Producción (Qq)	Rendimiento (Qq/Mz.)	Nacional			Mejorada		
				Superficie (Mz.)	Producción (Qq)	Rendimiento (Qq/Mz.)	Superficie (Mz.)	Producción (Qq)	Rendimiento (Qq/Mz.)
<b>REGIÓN I</b>	<b>50,547</b>	<b>1,034,689</b>	<b>20.5</b>	<b>47,806</b>	<b>952,342</b>	<b>19.9</b>	<b>2,740</b>	<b>82,347</b>	<b>30.1</b>
Ahuachapán	23,231	475,544	20.5	23,140	471,993	20.4	91	3,552	38.9
Santa Ana	11,910	243,788	20.5	9,803	172,132	17.6	2,107	71,655	34.0
Sonsonate	15,406	315,357	20.5	14,864	308,217	20.7	542	7,140	13.2
<b>REGIÓN II</b>	<b>40,353</b>	<b>804,385</b>	<b>19.9</b>	<b>39,099</b>	<b>770,607</b>	<b>19.7</b>	<b>1,254</b>	<b>33,779</b>	<b>26.9</b>
Chalatenango	18,128	333,443	18.4	17,459	316,990	18.2	669	16,453	24.6
La Libertad	15,681	337,006	21.5	15,560	331,722	21.3	121	5,285	43.7
San Salvador	2,553	52,251	20.5	2,265	45,000	19.9	288	7,251	25.2
Cuscatlán	3,991	81,686	20.5	3,815	76,895	20.2	176	4,790	27.3
<b>REGIÓN III</b>	<b>23,695</b>	<b>450,562</b>	<b>19.0</b>	<b>23,125</b>	<b>438,096</b>	<b>18.9</b>	<b>570</b>	<b>12,466</b>	<b>21.9</b>
La Paz	2,190	37,661	17.2	2,190	37,661	17.2	0	0	0.0
Cabañas	13,040	242,590	18.6	12,699	233,671	18.4	341	8,919	26.2
San Vicente	8,466	170,312	20.1	8,236	166,765	20.2	229	3,548	15.5
<b>REGIÓN IV</b>	<b>33,218</b>	<b>715,007</b>	<b>21.5</b>	<b>24,009</b>	<b>477,717</b>	<b>19.9</b>	<b>9,209</b>	<b>237,290</b>	<b>25.8</b>
Usulután	13,259	271,421	20.5	4,472	45,506	10.2	8,787	225,914	25.7
San Miguel	6,182	122,041	19.7	6,182	122,040	19.7	0	0	0.0
Morazán	5,023	125,565	25.0	4,601	114,189	24.8	422	11,376	27.0
La Unión	8,754	195,981	22.4	8,754	195,981	22.4	0	0	0.0
<b>TOTAL PAÍS</b>	<b>147,813</b>	<b>3,004,644</b>	<b>20.3</b>	<b>134,639</b>	<b>2,638,761</b>	<b>19.7</b>	<b>13,773</b>	<b>365,883</b>	<b>26.6</b>
1ª Siembra(mayo-junio)	15,375	291,435	19.0	13,942	255,946	18.4	1,433	35,488	24.8
2ª Siembra(agosto, Sept)	132,438	2,713,209	20.5	120,697	2,382,816	19.8	12,340	330,394	26.8

Fuente: Encuestas Primera y Segunda de Propósitos Múltiples 2012/2013. DGEA - MAG.

Anexo 3. Accesiones de sorgo bmr-12, 30 días después de la siembra

