Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Carrera de Agronomía

Respuesta morfoagronómica de cultivares de sorgo guinea (*Sorghum bicolor* (L.) Moench subsp. *bicolor* raza *guinea*) en dos épocas de siembra

Tesis para aspirar al Título de Ingeniero Agrónomo

Diplomante: Lenay Martín Cruz

Tutores: MSc. Víctor Daniel Gil Díaz
Lic. Lesly Díaz Suárez

Santa Clara, 2017

Pensamiento:

La agricultura es la única fuente constante, cierta y enteramente pura de riqueza.

José Martí

Agradecimientos:

A la Revolución Cubana por darme la oportunidad de estudiar en tan prestigiosa universidad.

A la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas por inculcarme valores éticos, morales y brindarme el conocimiento, espacialmente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

A mis tutores: MSc. Víctor Daniel Gil Días y Lic. Lesly Díaz Suárez por la ayuda brindada, la dedicación y empeño que pusieron para la realización de mi Trabajo de Diploma. Sin sus ayudas no hubiera sido posible la realización del mismo.

A los técnicos, obreros y todo aquel personal que labora en el Centro De Investigaciones Agropecuarias que de una manera u otra influyeron en la realización de mi tesis, en especial al obrero Félix Hernández Moya.

A todos los profesores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias que intervinieron en el proceso docente educativo para mi formación como futura Ingeniera Agrónoma.

A mis amigas y amigos que tan importante son en mi vida.

A todas aquellas personas que directa o indirectamente de distintas formas contribuyeron y ayudaron para que yo estudiara en la Universidad Central de las Villas.

A todos ¡gracias!

Dedicatoria:

A mi mamá: Por ser la persona más importante de mi vida, por ser mi alegría, por iluminar mi día, por ser mi ejemplo a seguir, por inculcarme y educarme sobre la base de la honestidad, creando en mi buenos valores éticos y morales, por ser mi mejor amiga y confidente, por estar en cada momento de alegría, tristeza y triunfo desde mi infancia hasta hoy y por siempre.

¡Gracias!

Resumen

Resumen

El sorgo es el quinto cereal de mayor importancia en el mundo. En el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), en años anteriores fueron seleccionados los cultivares MC10-002, MC10-010 y MC10-014 de sorgo guinea (*Sorghum bicolor* (L.) Moench subsp. *bicolor* raza *guinea*). El objetivo de la investigación fue determinar la respuesta morfoagronómica de estos cultivares en siembras de junio y diciembre. El estudio se realizó, en el laboratorio de granos del CIAP y en áreas de la Parcela Experimental de este, sobre un Suelo Pardo Mullido carbonatado. Las siembras de los tres cultivares se ejecutaron en junio y diciembre de 2016; se les determinó el ciclo biológico, se caracterizaron morfológicamente, y se les estimó el rendimiento y el índice de cosecha. Se encontró que la duración de los ciclos biológicos en la siembra de junio fue superior en 14 días respecto a la de diciembre, donde la principal diferencia se presentó en la duración de la fase vegetativa. Los caracteres cualitativos analizados no presentaron diferencias relevantes entre las épocas de siembra; en cambio, los caracteres morfológicos cuantitativos examinados, entre otros, longitud de las plantas, rendimiento en granos y biomasa, alcanzaron valores significativamente superiores en la siembra de junio. Sin embargo, el índice de cosecha de granos fue superior en diciembre. Las respuestas morfoagronómicas encontradas se corresponden con la sensibilidad al fotoperiodo de días cortos que presenta la raza guinea. En todos los caracteres analizados, el cultivar MC10-010 presentó la menor variación entre épocas de siembra, considerándolo así el más estable.

Palabras clave: sorgo guinea, ciclo biológico, respuesta morfoagronómica, rendimiento, índice de cosecha

Índice

Contenidos Pág.

Capítulo 1. Introducción ---------- 1

Capítulo 2. Revisión bibliográfica ---------- 3
2.1. Importancia, origen y distribución de *Sorghum bicolor* (L.) Moench ------- 3
2.2. El cultivo del sorgo en el mundo y en Cuba ---------- 3
2.2.1. El cultivo del sorgo en el mundo ---------- 3
2.2.2. El cultivo del sorgo en Cuba ---------- 4
2.3. Características de la planta de sorgo ---------- 5
2.3.1. Clasificación taxonómica ---------- 5
2.3.2. Características botánicas ---------- 6
2.3.3. Etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo ---------- 7
2.3.4. Características de la raza guinea ---------- 8
2.4. Exigencias edafoclimáticas ---------- 9
2.4.1. Temperatura ---------- 9
2.4.2. Requerimiento de Agua ---------- 10
2.4.3. Condiciones edáficas ---------- 11
2.5. Especificidades del cultivo del sorgo ---------- 11
2.5.1. Siembra ---------- 11
2.5.2. Plagas, enfermedades y control de las mismas ---------- 12
2.5.3. Cosecha ---------- 13
2.5.4. Rendimiento en diferentes épocas de siembra ---------- 13

Capítulo 3. Materiales y métodos ---------- 15
3.1. Determinación del ciclo biológico de los cultivares estudiados en ambas épocas de siembra ---------- 17
3.2. Caracterización morfológica de los cultivares analizados, en siembras de junio y diciembre ---------- 18
3.2.1. Caracteres cualitativos ---------- 18
3.2.2. Caracteres cuantitativos ---------- 19
3.3. Rendimiento agrícola e índice de cosecha de los cultivares analizados, en siembras de junio y diciembre ---------- 19

Capítulo 4. Resultados y discusión ---------- 21
4.1. Determinación del ciclo biológico de los cultivares estudiados en ambas épocas de siembra ---------- 21
4.1.1. En la siembra realizada en junio ---------- 21

4.1.2. En la siembra realizada en diciembre ---------- 23

4.2. Caracterización morfológica de los cultivares analizados, en siembras de junio y diciembre ---------- 27
4.2.1. Caracteres cualitativos ---------- 27
4.2.2. Caracteres cuantitativos ---------- 32
4.3. Rendimiento agrícola de los cultivares analizados, en siembras de junio y diciembre ---------- 37

Conclusiones ---------- 42
Recomendaciones ---------- 43
Bibliografía
Anexos

Introducción

1. Introducción

De acuerdo con el reporte “Perspectivas Agrícolas 2016-2025” de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción mundial de los cereales secundarios (sorgo, cebada y avena) crecerá a una tasa promedio anual del 1,1% hacia 2025, impulsada principalmente por la demanda de alimentos y, en segundo lugar, por la demanda de forrajes. Las proyecciones indican que el consumo mundial de sorgo crecerá, y a finales del período la relación inventarios-consumo será del 17,2%. La expansión del uso de los cereales secundarios como alimentos, proviene principalmente del África subsahariana, mientras que el incremento de la demanda como forrajes procede de manera importante de China (FIRA, 2016).

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es el quinto cereal de mayor importancia en el mundo, después del trigo (*Triticum aestivum* L.), el arroz (*Oryza sativa* L.), el maíz (*Zea mays* L.) y la avena (*Avena sativa* L.)(Dahlberg *et al*., 2011).

S. bicolor presenta buena adaptabilidad a las condiciones tropicales y con rendimientos aceptables, por lo que se le ha denominado "el cereal del siglo XXI". A nivel mundial, a principio de los años 60 una gran producción de sorgo se empleaba directamente en la alimentación humana; mientras que en años recientes su utilización para el consumo animal se ha duplicado (Rodríguez, 2006).

Los cereales constituyen una de las principales fuentes energéticas que se emplean en la formulación de concentrados destinados a la alimentación animal. Dentro de las especies tradicionalmente cultivadas en Cuba para estos fines, las más conocidas son el maíz y el sorgo, este último muy difundido entre los productores porcinos en los últimos años a causa de su alta resistencia a la sequía y a la capacidad de rebrote, lo cual lo sitúa en ventaja respecto al maíz (Arias *et al*. 2009; Burke *et al*. 2010; Herrera *et al*. 2013).

En el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de la Universidad Central de Las Villas (UCLV) desde los años 90 del pasado siglo se vienen realizando importantes investigaciones en el cultivo del sorgo, principalmente con germoplasma introducido desde México. En el año 2004 se realizó una prospección por zonas de la provincia de Villa Clara y Sancti Spiritus, en esta última, en el municipio de Yaguajay fue colectada una accesión, localmente identificada como Millo-Cebada, con características distintivas

respecto a los sorgos ya existentes en el CIAP. Dicha accesión posteriormente fue clasificada como sorgo guinea (*Sorghum bicolor* (L.) Moench subsp. *bicolor* raza *guinea*) y sometida a un proceso de mejora, seleccionando varios genotipos con bajo nivel de pérdidas de granos por la incidencia de los pájaros, buenos rendimientos en condiciones de bajos insumos, y gran capacidad de rebrote (Gil *et al*. 2007; Gil *et al*. 2008).

En investigaciones posteriores, fueron formadas 40 familias de medios hermanos maternos, entre las cuales se seleccionaron los cultivares MC10-002, MC10-010 y MC10-014; de los cuales se desconocen las respuestas morfoagronómicas en distintas épocas de siembra, en las que se presenten condiciones climáticas contrastantes.

Problema científico

Las respuestas morfoagronómicas de los cultivares MC10-002, MC10-010 y MC10-014 de sorgo guinea, no han sido verificadas en siembras de junio y diciembre.

Teniendo en cuenta la problemática planteada se estableció la siguiente hipótesis.

Hipótesis

Las épocas de siembras determinan las respuestas morfoagronómicas de los cultivares MC10-002, MC10-010 y MC10-014 de sorgo guinea.

Objetivo general

Determinar la respuesta morfoagronómica de los cultivares de sorgo guinea, objetos de estudio, en siembras de junio y diciembre.

Objetivos específicos

Para cumplimentar el objetivo general planteado, han sido formulados los siguientes objetivos específicos:

1- Determinar en ambas épocas de siembra, el ciclo biológico de los cultivares estudiados.

2- Caracterizar morfológicamente, en siembras de junio y diciembre, los cultivares analizados.

3- Estimar el rendimiento agrícola y el índice de cosecha en ambas épocas de siembra.

Revisión bibliográfica

2. Revisión bibliográfica

2.1. Importancia, origen y distribución de *Sorghum bicolor* (L.) Moench

Los sorgos se cultivan para grano y también para forraje en aquellas zonas del mundo donde la precipitación es insuficiente para obtener buenos resultados con el cultivo del maíz. El sorgo puede sustituir cereales como el trigo y el maíz en la mayoría de los usos de estos, tanto en la alimentación humana como en la producción de forrajes o granos para la ceba de animales, y también en la industria. A su vez, posee alto potencial de producción de granos y buenas perspectivas de contribución al desarrollo de la agricultura mundial (ICRISAT, 2008).

Según Pérez *et al.* (2010) el origen del cultivo del sorgo ha sido grandemente discutido. Se plantea que procede del noreste de África, en la región ocupada por Etiopía aunque se ubicó inicialmente en la India y se introdujo en América en el siglo XVIII. Se considera que muchas especies distintas se cultivan de forma esporádica en países de América, y que los sorgos actuales son híbridos de esas primeras introducciones o de mutantes que han aparecido.

Hoy en día se observa la máxima variación del género *Sorghum* en la región del cuadrante nororiental de África que comprende Etiopía, Sudán y África oriental. Es posible que, alrededor del año 200 d.C. o incluso antes, el sorgo se desplazara hacia África Oriental desde Etiopía a manos de los bantúes que empleaban el grano principalmente para hacer cerveza (Ijasan *et al.*, 2011).

2.2. El cultivo del sorgo en el mundo y en Cuba

2.2.1. El cultivo del sorgo en el mundo

A nivel mundial el sorgo es cultivado en una superficie de 42 millones de hectáreas con una producción anual cercana a las 60 millones de toneladas y es utilizado en la dieta alimenticia de 500 millones de personas en más de 30 países, debido a que muchas variedades se adaptan con facilidad a zonas áridas y semiáridas así como al clima tropical (Naveda *et al.,* 2013). La producción mundial de sorgo en la campaña 2014-2015 (FAO, 2016) se encontró fuertemente concentrada en países líderes en la producción de este cereal tales como: Estados Unidos de América (USA), con una producción de 15,2

millones de toneladas de grano, Nigeria (6,2 t), México (5,7 t), India (5,5 t) y Argentina (3,7 t).

La previsión para la producción mundial de cereales totales (trigo y cereales secundarios) en la campaña 2016-2017 se ha incrementado en 10 millones de toneladas; tratándose de un aumento interanual del 1% y de la segunda mayor cosecha de la historia. De igual manera, la perspectiva para el consumo mundial de cereales también se ha incrementado en 10 millones de toneladas y se espera que el consumo se aproxime al récord del período 2014-2015 (IPAF, 2016).

El crecimiento de la producción de los cereales secundarios (sorgo, cebada y avena) se concentran en África oriental y occidental, donde el sorgo y el mijo son utilizados para consumo humano, de manera que esas regiones representarán más del 90% del crecimiento de la producción mundial. Etiopía representará casi el 40% de la producción adicional hacia 2025, seguido por Nigeria (14%) y Sudán (10%). Se esperan incrementos en los rendimientos en los tres países, lo cual será reforzado por un aumento en la superficie agrícola utilizada por este cultivo (FIRA, 2016).

2.2.2. El cultivo del sorgo en Cuba

Madruga (2004) plantea que el gran poder de seducción del sorgo sobre agricultores cubanos radica en las posibilidades que tiene ante la sequía y los fuertes calores. Investigadores de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas (UCLV) están entre sus promotores. Desde el periodo especial, en la UCLV se comenzaron a crear las bases científicas y técnicas para la introducción del cereal a gran escala.

El sorgo es una de las alternativas para superar el gran obstáculo que frena el crecimiento de las producciones porcinas, avícolas y ganaderas. El sistema de producción de semillas, para introducir a gran escala el sorgo, tuvo como centro a los bancos de la UCLV. Desde ellos se envió material genético registrado y certificado a las granjas productoras de Semillas en La Habana, y de aquí a empresas arroceras de Pinar del Río, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila, Camagüey, Las Tunas, Granma y Holguín; pero no fue hasta 1996 que comenzó la producción a gran escala de este cereal sobre la base de un proyecto de rotación de cultivo sorgo-arroz.

A partir del 2000 se multiplicaron las siembras de sorgo en el país. En el 2001 se empezaron a multiplicar con fuerza los bancos de semillas. Con tal fin en noviembre de ese año fueron surtidas con material genético de alta calidad las provincias de Granma Villa Clara, Cienfuegos, Camagüey, Las Tunas y Holguín. En la segunda distribución, en julio del 2002, además de los territorios mencionados, se incluyeron las provincias de Guantánamo y Santiago de Cuba. Una tercera distribución abarcó todo el territorio nacional excepto Pinar del Río. Finalmente en el año 2003 se distribuye el grano a todo el país.

Este sistema de distribución de semillas ha permitido que la producción de sorgo se haya extendido a todas las provincias. Por supuesto, hay territorios donde ello tiene un desarrollo mayor, lo cual debe reflejarse paulatinamente en sus producciones de carne. En lo anterior se destaca la provincia de Villa Clara, la cual en todos sus municipios logró insertar el cultivo del referido cereal dentro del Movimiento de Arroz-Popular.

2.3. Características de la planta de sorgo

2.3.1. Clasificación taxonómica

Según la base de datos oficial, especializada en nomenclatura, Trópicos (2017), el género *Sorghum* y específicamente la especie *S. bicolor* fue nombrada inicialmente por Moench en 1974 en el libro titulado “Methodus Plantas Horti Botanici et Agri Marburgensis: a staminum situ describendi”. La clasificación taxonómica del sorgo, es la siguiente:

Reino: *Plantae*
División: *Magnoliophyta*
Clase: *Liliopsida*
Orden: *Poales*
Familia: *Poaceae*
Subfamilia: *Panicoideae*
Tribu: *Andropogoneae*
Género: *Sorghum* Moench
Especies del Subgénero: *Sorghum halepense*, *Sorghum bicolor*
Subespecie: *Sorghum bicolor drummondii, Sorghum bicolor verticilliflorum*
Razas de subsp: *bicolor*, *guinea*, *durra, kafir*, *caudatum*.

2.3.2. Características botánicas

Según Salvador *et al*. (2007), Pérez *et al.* (2010) y Zeledón *et al*. (2012) las características botánicas del cultivo del sorgo son las siguientes:

Raíz

El sistema radical es adventicio fibroso y se desarrolla de los nudos más bajos del tallo. La profundidad de enraizado es generalmente de 1 a 1,3 metros, con 80% de las 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.

Tallo

El sorgo es una planta de un solo tallo, pero puede desarrollar otros (hijos) dependiendo de la variedad y el ambiente. Está formado de una serie de nudos y entrenudos, su longitud varía de 0,5 a 4 metros, su diámetro de 0,5 a 5 cm cerca de la base, volviéndose más angosto en el extremo superior; su consistencia es sólida con una corteza o tejido exterior duro y una médula suave. Los tallos tienen de 7 a 24 nudos y son erectos.

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.

Inflorescencia

La inflorescencia es de tipo panícula de racimo, 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 exersión es importante para la cosecha mecanizada y para la tolerancia de plagas y enfermedades. La panícula es corta o larga, suelta y abierta, y compacta o semi-compacta. Puede tener de 4 a 25 cm de largo, 2 a 20 cm de ancho y contener de 400 a 800 granos, según el tipo de panícula.

2.3.3. Etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo

Las etapas de crecimiento y desarrollo en las plantas se estudian a través de la fenología. La fenología es el estudio de los fenómenos periódicos que presentan los organismos vivos y su reacción con el proceso meteorológico. En particular, la fenología agrícola se refiere a los fenómenos periódicos que presentan las plantas y su relación con las condiciones ambientales, tales como la temperatura, luz, humedad, etc. (Soto *et al.,* 2009).

Zeledón *et al*. (2012) plantearon que el sorgo presenta tres etapas fenológicas de 30 días aproximadamente cada una. La primera etapa corresponde a la fase vegetativa desde la siembra hasta el inicio de los primordios florales, la segunda (reproductiva) abarca desde la emergencia del primordio floral hasta la maduración de los órganos reproductivos y, por último, la tercera etapa comprende la polinización, fecundación, desarrollo y maduración del grano.

Por otro lado, Carrasco *et al*. (2011) definen 10 etapas de crecimiento y desarrollo del cultivo de sorgo, caracterizadas por:

- Etapa 0 – Emergencia. La emergencia ocurre cuando el coleóptilo es visible en la superficie del suelo, que es por lo general de 3 a 10 días después de la siembra.
- Etapa 1 – Estado de tres hojas. Se produce cuando las lígulas de tres hojas se ven sin tener que romper la planta. Esta etapa se produce aproximadamente 10 días después de la emergencia.
- Etapa 2- Etapa de las 5 hojas. Esta etapa se produce cuando las lígulas de cinco hojas se pueden ver sin necesidad de romper la planta, y se produce cerca de 3 semanas después de la emergencia.
- Etapa 3- Diferenciación del punto de crecimiento. En esta etapa el punto de crecimiento de la planta de sorgo cambia de vegetativo a reproductivo. Esta etapa se produce aproximadamente a los 30 días después de la emergencia.
- Etapa 4- Última hoja visible. En este punto todas, excepto los últimas 3 o 4 hojas, se han expandido totalmente, es decir, se ha determinado el 80% del área foliar. Las últimas 2-5 hojas (inferiores) se han perdido.
- Etapa 5- Panoja embuchada. En esta etapa todas las hojas se han expandido totalmente, lo que significa que la planta se encuentra en sus niveles máximos de

área foliar e intercepción de luz. El tamaño potencial de la panoja se ha determinado, y la misma se encuentra embuchada en la vaina de la hoja bandera.

- Etapa 6- 50% de floración. Esta etapa se define cuando la mitad de las plantas están en la etapa de floración, la cual comienza en la parte superior de la panoja.
- Etapa 7- Grano pastoso. En esta etapa, el grano tiene una consistencia pastosa y el llenado de granos se produce rápidamente. Aproximadamente la mitad del peso seco del grano se acumula entre las etapas 6 y 7. Las hojas inferiores siguen envejeciendo, entre 8 a 12 hojas mueren en esta etapa.
- Etapa 8 – Grano duro. En esta etapa se alcanza las tres cuartas partes del peso seco del grano. La absorción de nutrientes en este momento es prácticamente nula.
- Etapa 9- Madurez fisiológica. En esta etapa se alcanza el máximo peso seco de la planta. En los granos se forma un punto oscuro. La humedad del grano depende de la variedad, con valores que oscilan entre 25% y 35%. Esta madurez fisiológica no es la madurez de la cosecha, ya que el grano aún debe perder humedad antes de poder ser cosechado para un almacenamiento convencional.

2.3.4. Características de la raza guinea

La raza *guinea* es típica de África occidental, pero también es común en África meridional. Estos sorgos están adaptados a las zonas húmedas. Los granos son simétricos y presentan una rotación entre las glumas maduras, las panículas son sueltas. Los sorgos de esta raza presentan una gran variabilidad morfológica y se han agrupado en numerosas clasificaciones basadas en el tamaño de los granos y la relación entre el tamaño de los granos y el de las glumas. Actualmente, se distinguen tres o cuatro sub-razas, incluida *margaritiferum* (granos pequeños y vítreos) (Deu *et al*., 1994).

La raza guinea posee un grupo de rasgos de adaptación. Por ejemplo, las panículas sueltas o flojas y las glumas abiertas proporcionan la resistencia a formar moho en los granos. Además, la fuerte sensibilidad fotoperiódica que desarrollan está vinculada con la duración del crecimiento y la humedad disponible. Por último, esta raza presenta gran resistencia al bajo PH del suelo, a las inundaciones y a la sequía (Gil *et al.*, 2008).

2.4. Exigencias edafoclimáticas

2.4.1. Temperatura

La temperatura controla la tasa de desarrollo de muchos organismos que requieren de la acumulación de cierta cantidad de calor para pasar de un estado en su ciclo de vida a otro. Se plantea que, entre los factores que inciden en el potencial de producción, se destaca la radiación y la temperatura por su influencia sobre la tasa de crecimiento como condicionantes fundamentales del desarrollo (Xiao *et al.,* 2007), donde incluso la temperatura del suelo juega un rol importante.

La especie *Sorghum bicolor* tiene un elevado potencial de rendimiento asociado con altos niveles de fotosíntesis. El comportamiento fotosintético de esta especie, difiere notablemente del resto de los cultivos templados. Todo ello es consecuencia de que es una planta C4, y por tanto es el producto primario de la fijación del carbono ácido dicarboxílico, con una estructura de cuatro carbonos. Esta característica tiene importantes efectos ecológicos y agronómicos, entre ellos, altos requerimientos de temperatura e intensidad luminosa (Rincón *et al.,* 2007; Soto y Hernández, 2012).

Para la germinación, este cultivo necesita temperaturas de 12 a 13ºC y el crecimiento de la planta se activa cuando estas sobrepasan los 15ºC, con el óptimo alrededor de los 32ºC. La temperatura de 21°C representa la mínima para un buen crecimiento, y18°C significa la óptima del suelo para su germinación (Pérez e*t al*., 2010). Por lo general, los valores críticos que afectan el rendimiento agrícola, el ahijamiento y la formación y llenado de los granos en el cultivo del sorgo se encuentran por debajo de 20ºC y por encima de 30ºC (Maqueira *et al.,* 2016).

Se plantea que los descensos de temperatura en el momento de la floración pueden reducir el rendimiento del grano, además de producir esterilidad de las espiguillas y afectar también la viabilidad del grano de polen. Las temperaturas muy altas durante los días posteriores a la floración reducen el peso final del grano. La temperatura de 38°C merma los rendimientos por el aborto de sus flores; mientras que la de 27°C resulta ideal para el período reproductivo (Pérez e*t al*., 2010).

2.4.2. Requerimiento de Agua

El sorgo se considera una planta de clima cálido que responde a temperaturas altas con lluvias moderadas y bien distribuidas. Esto se debe a sus características morfológicas ya que presenta un buen crecimiento del sistema radical, con un bajo nivel de transpiración en relación con la alta capacidad de absorción radicular, y además una cubierta cerosa en los tallos y hojas que lo hacen un cultivo muy eficiente ante tales condiciones (Salinas *et al.,* 2013).

Según Infoagro (2016) el sorgo tolera mejor la sequía y el exceso de humedad en el suelo que la mayoría de los cereales y crece bien bajo una amplia gama de condiciones edáficas. Este cultivo responde favorablemente a la irrigación, requiriendo un mínimo de 250 mm durante su ciclo, con un óptimo comprendido entre los 400-550 mm, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Requerimientos de agua para el cultivo del sorgo (Infoagro, 2016).

Requerimiento en el ciclo	mm
Óptimo	**400-550**
Conveniente	**350**
Mínimo	**250**

Resultados de un estudio realizado en Cuba (González *et al.,* 2010) donde se compara la productividad del agua entre los cultivos de maíz, soya y sorgo, resalta que este cultivo tiene una tolerancia mucho mayor al déficit hídrico que los cultivos de maíz y soya. En el propio estudio se expone que el sorgo tiene una productividad del agua total entre 0,49 y 0,96 kg m^3, y que la productividad máxima en este cultivo se obtuvo con 3620 m^3.

Las mayores exigencias de este cultivo en cuanto a agua, comienzan unos 30 días después de emergencia y continúan hasta el llenado de los granos. Las etapas más críticas en este sentido son las de paniculación y floración, puesto que deficiencias hídricas en estos momentos producen mermas en los rendimientos. El sorgo, además, tiene la capacidad de permanecer latente durante un periodo de sequía y reemprender su crecimiento en periodos favorables, aunque estas situaciones de estrés modifican su comportamiento (Infoagro, 2016)

2.4.3. Condiciones edáficas

Según Infoagro (2016) el sorgo se desarrolla bien en terrenos alcalinos, sobre todo las variedades azucaradas que exigen la presencia en el suelo de carbonato cálcico, lo que aumenta el contenido de sacarosa en tallos y hojas. Prefiere suelos profundos, sin exceso de sales, con buen drenaje, sin capas endurecidas, de buena fertilidad y con un pH comprendido entre 6,2 y 7,8. Es moderadamente tolerante a suelos con alguna salinidad y/o alcalinidad, siendo su comportamiento, ante esas condiciones mejor que la de otros cultivos como maní, soja y maíz.

2.5. Especificidades del cultivo del sorgo

2.5.1. Siembra

La preparación adecuada del terreno es esencial para obtener una buena cosecha (Saucedo, 2008; Pérez y Hernández, 2009). Se recomienda arar a una profundidad de 10 a 20 cm, de acuerdo con el tipo de suelo, entre 22 y 30 días antes de la siembra, ya que de esa forma se controlan los insectos y las malezas. Según las características del terreno, se recomiendan dos o tres pases de rastras y el último, un día antes de plantar.

Saucedo (2006) indica que para la siembra manual del cultivo del sorgo granífero en Cuba es necesario lograr un espaciamiento de 50 a 70 cm de camellón y de 5 a 6 cm entre plantas y realizar el tape de la semilla con menos de 5 cm de suelo. Además recomienda lograr de 14 a 16 plantas por metro lineal de sorgo. El propio autor divide la siembra mecanizada en dos métodos: la siembra convencional y la siembra de labranza reducida.

En la primera (siembra mecanizada), ya con el suelo preparado y labores previas, se utilizan preferentemente sembradoras con tolvas a 0,70 m, entre surcos, con regulación de profundidad y ruedas tapa surcos. No se deben descartar las sembradoras de grano fino, regulando la distancia entre surcos anulando 2 a 3 boquillas de siembra.

Por otro lado, la siembra de labranza reducida se realiza preparando el suelo con implementos que dejen en superficie la mayor cantidad posible de residuos. Las labores se realizan con cincel, complementadas con cultivador de campo o rastra de doble acción

ya que es un buen método para controlar la erosión y se requieren sembradoras especialmente adaptadas a suelos con residuos en superficie.

Carrasco *et al*. (2011) plantean que el sorgo presenta un poder germinativo mínimo del 85% y 90% de pureza, por lo tanto la densidad usada va estar en función de estos parámetros y del peso de la semilla. La densidad de siembra varía entre 150 a 250 mil plantas logradas por hectárea para sorgos graníferos (6,7 kg ha^{-1}) y sileros (8,4 kg ha^{-1}) mientras que para el sorgo forrajero la densidad varía entre 350 a 600 mil (19,4 kg ha^{-1}).

El propio autor plantea que, la semilla de sorgo es pequeña y varía su peso desde los 24 a 35 g por cada 1000 semillas. Esto hace suponer que la profundidad de siembra no debería sobrepasar los 2 cm. Sin embargo la semilla de sorgo tiene buena capacidad para elongar su primer pseudotallo (hipocótilo), pudiendo emerger desde los 4-5 cm de profundidad sin dificultad.

Por otro lado, una siembra muy superficial (menos de 2 cm) sumado a las altas temperaturas dominantes en la época de siembra generan un alto riesgo de desecación, lo que depende de la ocurrencia de lluvias para germinar, poniendo en riesgo el éxito de la germinación (Carrasco *et al.*, 2011). Por esta razón, las variaciones en la fecha de siembra afectan de manera importante el crecimiento y desarrollo del cultivo, ya que colocan a las distintas etapas de generación del rendimiento bajo diferentes condiciones de radiación, temperatura y precipitaciones (Pedrol *et al.,* 2008).

En un estudio realizado por Hernández y Soto (2012), se obtuvo un incremento de la duración del ciclo del cultivo de *S. bicolor* var. ISIAP Dorado en siembra de noviembre con respecto a otras dos siembras realizadas en junio y julio. Según los propios autores, estos resultados se deben a que la temperatura y la radiación incidente mostraron valores inferiores respecto a las otras dos fechas y por tanto también en esta fecha se detectaron los valores más bajos de eficiencia en el uso de la radiación.

2.5.2. Plagas, enfermedades y control de las mismas

Entre los insectos del suelo que atacan el cultivo del sorgo se pueden encontrar la gallina ciega *(Phillophaga* spp.*)*, el gusano de alambre *(Melanotus* sp.*, Agriotes* sp.*, Dalopius* sp.*)* y los gusanos cortadores (Lepidoptera), para los cuales en general se recomienda el tratamiento a la semilla con Gaucho en dosis de 56 g por 45 kg de semilla (Salvador *et*

al., 2007). Por otro lado, para los insectos del follaje, como el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), el gusano soldado (*Spodoptera exigua*) y algunos áfidos y pulgones (*Aphis* sp.), se recomienda el manejo integrado, con prácticas culturales, mecánicas y químicas (Salvador *et al.*, 2007; Velásquez-Vélez, 2010; Leiva, 2014).

Otros insectos como el llamado barrenador del tallo *(Diatrarea* sp*., Elasmopalpus lignoselus)* o la mosquita de la panoja *(Contarinia sorghicola),* se alojan en la panícula de los sorgos. La mosquita de la panoja está considerada como la plaga más destructiva del sorgo, donde la hembra deposita sus huevos en las espiguillas en floración y al nacer la larva se alimenta de los ovarios de granos en formación, causando granos vanos, desarrollo anormal y por consiguiente una panícula arruinada (Salvador *et al.,* 2007).

Según el propio autor, son varias las enfermedades que pueden atacar las plantaciones de sorgo. Entre ellas, podemos encontrar la mancha gris de la hoja ocasionada por *Cercospora sorghi*, el tizón de la hoja ocasionada por *Helmintosporium* sp., el cogollo retorcido ocasionada por *Fusarium moniliformis* y el mildiú velloso ocasionada por *Peronosclerospora sorghi*.

Sin embargo, se considera que la enfermedad con mayor incidencia y severidad que se presenta en los sorgos, especialmente en los criollos, es la roya del sorgo (*Puccinia sorghi*). Esta enfermedad aparece cuando se inicia la maduración del grano hasta las últimas etapas del cultivo de sorgo, volviendo inservible el follaje para la alimentación del ganado. El mejor control para estas enfermedades es seleccionar variedades o híbridos resistentes y utilizar semilla con tratamiento de fungicidas.

2.5.3. Cosecha

La cosecha se puede realizar manual empleando cuchillas de cortar tabaco y machetines, o con una cosechadora de granos. Cuando se realiza con combinadas se debe ajustar correctamente para evitar pérdidas, de forma tal que todo los granos sean trillados y separados de la panícula. La humedad del grano en el momento de la cosecha debe ser de 16-20% cuando se disponen secadoras. Cuando no se dispone de este equipo la humedad debe ser del 14% por lo que se necesitan días de temperaturas altas para la cosecha del grano (Martín, 1992).

2.5.4. Rendimiento en diferentes épocas de siembra

El rendimiento es el resultado final de un grupo de interacciones, donde intervienen el genotipo, el clima, el suelo y el manejo del cultivo. El impacto de los distintos parámetros que intervienen en estas variables del sistema definen el rendimiento de los cultivos (Soto *et al.,* 2009).

El sorgo se considera un cultivo muy eficiente en el uso de los recursos medioambientales. El periodo crítico de crecimiento de este cultivo va desde el momento que aparece la panícula en las hojas del vértice de las plantas, hasta el final del estado lechoso del grano. Por tanto, el estado fisiológico que presente el cultivo a lo largo de estas etapas dependerá su posterior rendimiento (Montero *et al.,* 2009).

El sorgo es un cultivo reconocido como resistente tanto al estrés por exceso como por defecto de humedad. El efecto del consumo de agua sobre los rendimientos, parece ser indiferente a las distintas condiciones ambientales de ambas estaciones en Cuba (Montero *et al.,* 2009; Herrera *et al.,* 2011).

Otros autores (González *et al.,* 2014) refieren que el rendimiento del sorgo, en Cuba, con nivel máximo de riego en el período poco lluvioso, es de 4,53 t ha^{-1}, y en el período lluvioso de 4,74 t ha^{-1}. Por otro lado, Hernández y Soto (2013) indican que para el cultivo del sorgo var. ISIAP Dorado se obtiene mayores rendimientos en el periodo lluvioso, momento en el cual se muestran los valores más elevados de eficiencia en el uso de la radiación y una gran persistencia de área foliar. Además, en estas fechas los autores obtuvieron los mayores acumulados de masa seca y un mayor índice de área foliar en los estadios más próximos a la cosecha, implicando una mayor eficiencia del cultivo y por ende, un mayor rendimiento.

Materiales y métodos

3. Materiales y métodos

Ubicación y descripción del lugar donde se realizó la investigación

La presente investigación se desarrolló en el laboratorio de granos del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) y en áreas de la Parcela Experimental de este, sobre un Suelo Pardo Mullido carbonatado (Hernández *et al*., 1999); pertenecientes a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV), sita en carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara.

Los cultivos precedentes en el área de siembra, en la época de primavera fue frijol común, y en la época de invierno frijol caupí. Se efectuó preparación de suelo con laboreo mínimo, realizada con tracción animal.

Para puntualizar las características químicas del suelo, mostradas en la Tabla 2, se muestreó la parcela en el período de sequía (diciembre de 2016), mediante la metodología del muestreo estratificado (Darwich, 2003). Se tomaron un total de 5 muestras compuestas a profundidad de 0-20 cm.

Los análisis químicos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Suelos del CIAP, según la norma ramal NRAG-837 de 1986, del Ministerio de la agricultura (MINAG); utilizando los métodos siguientes:

- P_2O_5 y K2O: Método de Oniani (refern). Solución extractiva de ácido sulfúrico (0,1N). El P_2O_5 se determinó colorimétricamente.
- Materia orgánica: Se realizó por el método colorimétrico según Walkley y Black (1947), oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado, con colorímetro Genesys 20 de ThermoSpectronic.
- pH (H_2O) y pH (KCl): Se realizó mediante el método potenciométrico, usándose el potenciómetro PocketMeter 315i de WTW, con relación suelo: solución 1:2,5.

Tabla 2. Principales características del suelo donde se realizó el experimento.

pH		**P_2O_5** (mg/100g)	**MO (%)**	**% hbss**
H_2O	**KCl**			
7,97	6,45	38,96	2,87	12,61

% hbss: % de humedad en base a suelo seco.

Desarrollo del experimento

Se estudió la respuesta morfoagronómica de los cultivares MC10-002, MC10-010 y MC10-014 de sorgo guinea, en dos épocas de siembra:
- Primavera (Época Lluviosa): siembra realizada el 11 de junio de 2016.
- Invierno (Época Poco Lluviosa): siembra realizada el 13 de diciembre de 2016.

Los cultivares de sorgo guinea estudiados fueron distribuidas aleatoriamente en parcelas simples, sin réplicas, se utilizó un marco de siembra de 0,90 m entre hileras y 0,10 m entre plantas, el que fue ajustado por entresaque de las plántulas sobrantes a los 10 días posteriores a la siembra. Las parcelas tenían un área de 90 m^2, formadas por 5 surcos de 20 m de longitud; alcanzando 200 plantas por surco, para un total de 1000 plantas por parcela, con un área vital de 0,09 m^2 por planta. La densidad de siembra correspondió a 111 111 plantas ha^{-1}.

La siembra se realizó de forma manual, sobre suelo húmedo, las semillas se encontraban desprovistas de protección fitosanitaria, a las que se les realizó un tape ligero, de un espesor de 2 a 3 cm de suelo. El cultivo se condujo con criterios de mínimos insumos: sin fertilización química, sin aplicación de productos fitosanitarios, y solo riegos en el experimento de la siembra de diciembre. En cada uno de los experimentos, se realizó un aporque con tracción animal y dos labores de limpieza manual.

Para la siembra del 13 diciembre de 2016 se efectuó un riego 24 horas antes, con una norma de 50 m^3 ha^{-1} de agua, equivalente a 5,0 mm de lluvia. En este mismo experimento, debido a la escasa ocurrencia de precipitaciones (anexos 4 y 6), se realizaron cinco riegos de subsistencia, con una norma de 25 m^3 ha^{-1} de agua, lo que equivale a 2,5 mm de lluvia en cada momento. Dichos riegos se ejecutaron a los 9, 18, 32, 40 y 60 días después de la siembra.

En el experimento de la siembra de junio, no se aplicó ningún riego, pues ocurrieron abundantes precipitaciones bien distribuidas (anexos 3 y 5).

Para el cálculo de la producción de materia seca (MS), las plantas cosechadas fueron separadas en sus diferentes estructuras morfológicas aéreas (tallos, hojas, panículas y granos), siendo troceadas en fracciones de 2 a 3 cm, y envueltas en papel; seguidamente

colocadas en estufa con circulación forzada de aire, a temperatura de 105^0C, durante 24 a 72 horas, hasta peso constante de las muestras.

El cálculo automático del contenido de humedad (%) de los granos se realizó con un probador de granos modelo mini GAC® Plus, producido por DICKEY-john corporation.

Registro de parámetros meteorológicos

Las variables climáticas fueron aportadas por la Estación 78343, ubicada en el "Valle del Yabú"; las precipitaciones se tomaron de los registros del Pluviómetro No. 985 del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, ubicado en la Estación Experimental Agrícola "Álvaro Barba" de la UCLV; ambas localidades situadas en el entorno de Santa Clara.

Las horas de sol fueron tomadas del Registro del Calendario Astronómico *Online*, disponible en https://www.tutiempo.net/la-habana.html?datos=calendario.

El comportamiento de las variables climáticas en el período del experimento se muestra en los anexos 3, 4, 5 y 6.

3.1. Determinación del ciclo biológico de los cultivares estudiados en ambas épocas de siembra

A partir de los 27 días después de la siembra, con una frecuencia semanal, se registró la cantidad de plantas en cada uno de los estados fenológicos, en los cultivares estudiados, para lo cual se evaluaron la totalidad de los individuos en los tres surcos centrales de cada parcela, excluyendo los que se encontraban a 1 metro de las cabezas de los surcos, para evitar los efectos de borde.

La descripción de los estados fenológicos (anexo 11) se realizó acorde a la siguiente escala, la que se elaboró tomando como base la propuesta por Carrasco *et al*. (2011):

- Estado 0: Emergencia (E). La emergencia ocurre cuando el coleóptilo es visible en la superficie del suelo, (de 3 a 10 días después de la siembra).
- Estado 1: Crecimiento Vegetativo (CV). En este estado la planta desarrolla sus estructuras vegetativas, las hojas y tallos, que terminarán soportando la formación y crecimiento del grano.
- Estado 2: Panícula Embuchada (PE) En esta etapa todas las hojas se han expandido totalmente, lo que significa que la planta se encuentra en sus niveles máximos de área

foliar e intercepción de luz. El tamaño potencial de la panícula se ha determinado, y la misma se encuentra embuchada en la vaina de la hoja bandera.

- Estado 3: Inicio de Apertura de las Panículas (IAP). La parte superior de la vaina de la hoja bandera comienza a abrirse, observándose la emergencia de las panículas.
- Estado 4: Panícula Abierta (PA). Se observa la panícula totalmente abierta.
- Estado 5: Emisión de Polen (EP). Las anteras comienzan a emitir polen.
- Estado 6: Grano Acuoso (GA). El grano comienza su llenado y su contenido es líquido.
- Estado 7: Grano Pastoso (GP). En esta etapa el grano tiene una consistencia pastosa, y el llenado de los mismos se produce rápidamente. En este estado los granos alcanzan aproximadamente la mitad del peso seco final.
- Estado 8: Madurez Fisiológica (MF). En esta etapa se alcanza el máximo peso seco de la planta, y en los granos se forma un punto oscuro. Esta madurez fisiológica no es la madurez de cosecha, ya que el grano aún debe perder humedad antes de poder ser cosechado para un almacenamiento convencional.
- Estado 9: Madurez de Cosecha (MC). El grano ha perdido gran cantidad de agua y posee la humedad óptima para ser cosechado.

3.2. Caracterización morfológica de los cultivares analizados, en siembras de junio y diciembre

Las evaluaciones fueron efectuadas cuando las plantaciones se encontraban en Estado de Madurez de Cosecha; para lo cual fueron elegidas al azar 30 plantas, de cada cultivar en ambas ápocas de siembra, en las mismas posiciones de las parcelas, explicadas en el anterior acápite.

3.2.1. Caracteres cualitativos

La caracterización morfológica se realizó según los descriptores reportados por Muñoz *et al*. (1993):

- **Densidad de las Panículas**: Compacta (C), Medianamente Compacta (MC), Poco Compacta (PC), Semiabierta (SA), Abierta (A).
- **Cobertura de los Granos**: 0% (Grano Totalmente Descubierto), 25% del Grano Cubierto, 50% del Grano Cubierto, 75% del Grano Cubierto, Grano Totalmente Cubierto (GTC), Glumas más Largas que el Grano (GMLG).
- **Desgrane Predominante**: Muy Difícil (MD), Difícil (D), Intermedio (I), Fácil (F).

- **Color Exterior de los Granos**: Amarillo Crema (ACr), Amarillo Claro (ACl), Rojo Oscuro (RO), Rojo Claro (RCl), Rojo Crema (RCr), Rojo Amarillento (RA), Crema (Cr), Crema Oscuro (CrO), Crema Claro (CrCl), Crema Rojizo (CrR), Negro (N) y Café (C).
- **Color Exterior Glumas**: Blanco (B), Amarillo (A), Café (C), Rojo (R), Morado (M), Negro (N), Gris (G), Crema (Cr) y Crema Oscuro (CrO).
- **Estado del follaje al momento de la cosecha**: Follaje Verde (FV), Follaje Ligeramente Senescente (FLS).

En los caracteres relacionados con colores (color exterior de los granos y color exterior glumas), para definir la tonalidad de los mismos se utilizó el "Cuadro de Colores" recomendado por Muñoz *et. al*. (1993).

3.2.2. Caracteres cuantitativos

Fueron analizadas los siguientes atributos.

⇒ Características morfométricas de los tallos: Longitud Total de las Plantas (m)(desde la base del tallo hasta el ápice de la panícula), Longitud de los Tallos (m)(desde la base del tallo hasta el último nudo, coincidente con la base del pedúnculo), Diámetro de los Tallos (cm)(tomado en el centro del tercer entrenudo), y Cantidad de Entrenudos por Tallo.

⇒ Características morfométricas de las panículas: Longitud del Pedúnculo (m)(desde el último nudo del tallo hasta la base de la panícula), y Longitud de la Panícula (m) (desde el final del pedúnculo hasta el ápice de la panícula).

⇒ Acumulación de materia fresca y seca (g planta^{-1}): Biomasa Fresca Aérea Total, Materia Seca Aérea Total, Biomasa Fresca Aérea Post Cosecha de las Panículas (no incluye la estructura de las panículas ni los granos), y Materia Seca Aérea Post Cosecha de las Panículas.

3.3. Rendimiento agrícola de los cultivares analizados, en siembras de junio y diciembre

Para desarrollar este aspecto, se utilizaron las 30 plantas referidas en el acápite 3.2, las que fueron cosechadas en Estado de Madurez de Cosecha. Las panículas de cada planta

fueron desgranadas manualmente de forma individual, y los granos beneficiados para eliminar los restos de glumas y otras materias extrañas.

Los granos limpios fueron colocados en cartuchos de papel y expuestos al sol y al aire, hasta alcanzar una humedad en los mismos de 13±0,2%.

⇒ Componentes del Rendimiento en Granos: Masa de los Granos por Panículas (g) a 13±0,2% de humedad; Relación Masa de los Granos por Panículas (correspondencia entre la masa de los granos y la masa total de la panícula antes del desgrane); y Masa de 100 granos (g) a 13±0,2% de humedad.

⇒ Rendimiento en Biomasa Fresca Aérea Total (t ha^{-1}); Rendimiento en Granos (t ha^{-1}) a 13±0,2% de humedad; y Rendimiento en Biomasa Fresca Aérea Post Cosecha de las Panículas (t ha^{-1}): Las estimaciones de rendimiento se efectuaron a partir de la producción promedio por planta (calculada a partir de las 30 plantas evaluadas), y considerando una densidad de 111 111 plantas ha^{-1}.

⇒ Índice de Cosecha de Granos: Relación entre la materia seca acumulada en el fruto agrícola (los granos), y la materia seca total producida por la planta.

Procesamiento estadístico

Para el procesamiento de los datos se utilizó el paquete estadístico profesional STATGRAPHICS Centurión XV ver. 15.2.14 Edición Multilingüe del 2006.

Para la comparación de medias se utilizó análisis de varianza simple con un 95% de nivel de confianza, empleando la prueba paramétrica de Tukey HSD, en los casos que cumplían los supuestos de distribución normal y varianza homogénea de los datos.

Se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para los casos que no cumplían los supuestos anteriores. Para determinar cuáles medianas eran significativamente diferentes unas de otras, se seleccionó el Gráfico de Caja y Bigotes, marcando la opción de muesca de mediana.

Resultados y discusión

4. Resultados y discusión

4.1. Determinación del ciclo biológico de los cultivares estudiados en ambas épocas de siembra

4.1.1. En la siembra realizada en junio

En la siembra realizada en el mes de junio, el ciclo fenológico de los tres cultivares analizados tuvo una tendencia semejante, mostrando solo diferencias en la duración de algunos estados fenológicos (figura 1, anexo 1). En todos los cultivares la fase vegetativa se amplió hasta los 62 días posteriores a la siembra, aunque en ese momento MC10-014 solo contaba con el 3,4% de los individuos en dicha fase; mientras los otros cultivares aún poseían más del 15% de las plantas en la fase vegetativa. En tanto, la fase reproductiva se inició a los 55 días, período en el que ya MC10-014 contaba con el 24% de las plantas en el estado fenológico de Panícula Embuchada, sin embargo MC10-002 y MC10-010 tenían solamente el 8,4% y 6,9%, respectivamente, de los individuos en este estado fenológico.

En la fase reproductiva, la duración de los estados fenológicos iniciales (PE, IAP, PA, EP) se prolongó al menos una semana más que la de los estados fenológicos finales (GA, GP, MF). La madurez fisiológica en el cultivar MC10-010 se presentó a los 90 días en una ínfima parte (0,8%) de la población, mientras que dicho estado fenológico en los cultivares MC10-002 y MC10-014 comenzó a los 97 días, (figura 1, anexo 1).

Pérez *et al*. (2010) plantean que la cosecha del sorgo puede hacerse cuando el grano alcanza la madurez fisiológica, aproximadamente 90 días después de la germinación.

En investigaciones realizadas por Soto y Hernández (2012), con la variedad de sorgo granífero ISIAP Dorado, en áreas del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), encontraron que en las siembras efectuadas en el mes de julio requirió de 93 días para llegar a la fase de madurez fisiológica, sin embargo en las siembras realizadas en el mes de noviembre las plantas necesitaron más tiempo para llegar a esta fase, 106 días, lo que infiere que dicha variedad responde a un fotoperiodo de días largos.

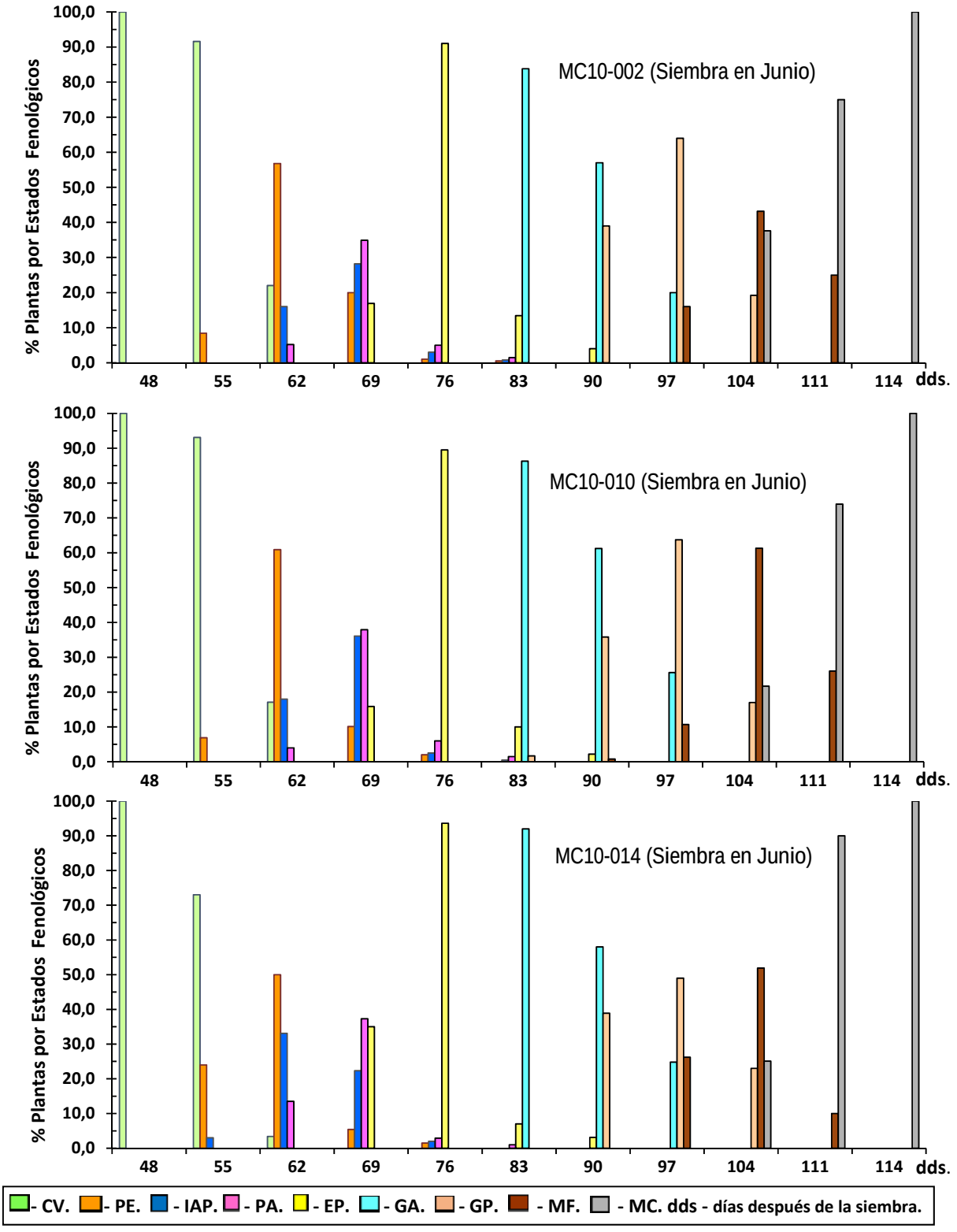


Figura 1. Dinámica de los estados fenológicos de los tres cultivares en la siembra del 11 de junio de 2016.

4.1.2. En la siembra realizada en diciembre

El ciclo fenológico de los tres cultivares probados en la siembra realizada en el mes de diciembre, también presentó una tendencia similar, presentándose pequeñas diferencias en la duración de algunos estados fenológicos (figura 2, anexo 2). En los tres cultivares la fase vegetativa se extendió solamente hasta los 48 días posteriores a la siembra, pero ya MC10-014 en ese momento solo contaba con el 2,4% de los individuos en dicha fase; y los dos cultivares restantes aún poseían más del 15% de las plantas en la fase vegetativa. No obstante, la fase reproductiva se inició a los 41 días, momento en el que ya MC10-014 contaba con el 22% de las plantas en el estado fenológico de Panícula Embuchada; y MC10-002 y MC10-010 tenían solamente el 9,1% y 7,9%, respectivamente, de los individuos en dicho estado fenológico.

La duración de los estados fenológicos iniciales (PE, IAP, PA, EP) de la fase reproductiva, superó en 7 días a la permanencia de los estados fenológicos finales (GA, GP, MF) de dicha fase. El estado de madurez fisiológica en el cultivar MC10-010 se mostró a los 76 días en una ínfima parte (0,2%) de la población, en tanto en los cultivares MC10-002 y MC10-014 comenzó a los 83 días (figura 2, anexo 2).

La raza guinea de sorgo, ennoblecida en el África occidental tropical, posee una serie de rasgos importantes para la adaptación a través de diferentes ambientes (Barro-Kondombo *et al*., 2008). El grado generalmente alto de sensibilidad al fotoperiodo de la raza guinea (Grenier *et al*., 2001) permite que la plasticidad fenotípica del ciclo del cultivo se adapte mejor a la duración de la temporada disponible, donde las fechas de siembra son muy variables.

Respuesta comparativa de las dos épocas de siembra

La duración de los ciclos biológicos fue diferente en ambas épocas de siembra; en la efectuada en el mes de junio, la cosecha se realizó a los 114 días posteriores a la siembra, mientras que en la de diciembre se cosechó a los 100 días (figuras 1 y 2).

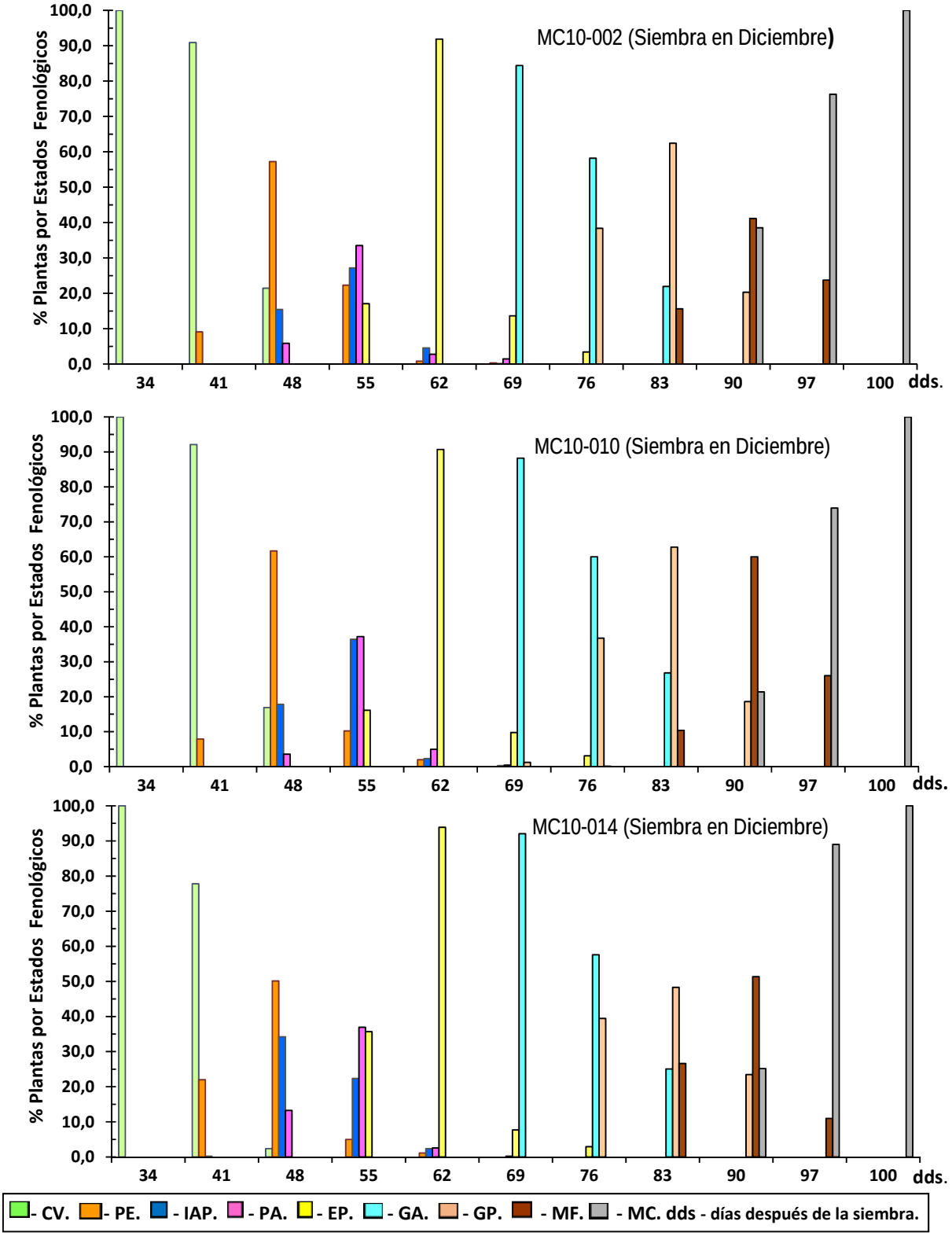


Figura 2. Dinámica de los estados fenológicos de los tres cultivares en la siembra del 13 de diciembre de 2016.

En el cultivo de sorgo el desarrollo fenológico responde a estímulos ambientales que le permite controlar el momento de la floración, de manera que su etapa reproductiva ocurra en una estación determinada (Major *et al.,* 1990). En esta especie el periodo de crecimiento es influenciado por el fotoperiodo y la temperatura (Grenier *et al.,* 2001).

Otros investigadores (Hammer *et al.,* 1989; Major *et al.,* 1990), han indicado que en el cultivo de sorgo la duración del estado vegetativo, desde la emergencia a la iniciación floral, es controlada por el fotoperiodo y la temperatura, mientras que la duración de la fase reproductiva es solo controlada por la temperatura.

Según Gracia (2013), dentro de los sorgos cultivados, existen cultivares sensibles al fotoperiodo, tanto de días largos como de días cortos. Algunas variedades cultivadas en Cuba son fotoperiódicas de días largos, como la ISIAP Dorado, la que en siembra de invierno necesita más tiempo para alcanzar la fase de madurez fisiológica, que en siembra de primavera (Soto y Hernández, 2012). Por otro lado, las variedades de la raza Guinea presentan generalmente un alto grado de sensibilidad al fotoperiodo de días cortos (Grenier *et al.,* 2001; Rattunde *et al.,* 2013), lo que permite que la plasticidad fenotípica del ciclo del cultivo se adapte mejor a la duración de la temporada disponible.

En las figuras 1 y 2 también se puede observar que entre las dos épocas de siembra, la principal diferencia se presenta en la duración de la fase vegetativa; hasta los 62 días en la siembra de junio y hasta los 48 días en la de diciembre. Una vez que comienza el estado reproductivo, se necesitan 59 días para alcanzar la madurez de cosecha en la totalidad de la población, en ambas épocas de siembra.

Estos resultados coinciden con lo planteado por García (2013), quien señala que la diferencia principal de la respuesta de las variedades de sorgo fotosensibles, radica en la duración de la fase vegetativa al ser cultivadas en diferentes condiciones de fotoperiodo; en las que la etapa de llenado del grano se mantiene similar.

A pesar de que los tres cultivares analizados estuvieron sometidos a las mismas condiciones climatológicas, en ambas épocas de siembra, el cultivar MC10-014 presentó un ciclo fenológico ligeramente diferente a los otros dos cultivares, lo que se puede constatar en la culminación de los estados de crecimiento vegetativo y madurez fisiológica (figuras 1 y 2). En la siembra de junio, solo el 3,4% del total de plantas se

encontraba en la fase vegetativa a los 62 días; y en la siembra de diciembre a los 48 días los individuos que mantenían esta fase representaban solo el 2,4% del total de las plantas, porcentajes estos mayores en los cultivares restantes. En este cultivar, mayor parte de la población comienza antes el estado reproductivo, con la fase de panícula embuchada; además, la mayoría de los individuos culmina primero el estado de madurez fisiológica.

Las respuestas al fotoperiodo son de origen genético, y se manifiestan en las diferencias de la duración del ciclo fenológico en los cultivares de sorgo sensibles, al ser cultivados en disímiles ambientes. En los casos en que existe sensibilidad al fotoperiodo de días largos, ésta se debe a la influencia de ciertas condiciones de temperatura y radiación (Soto y Hernández, 2012).

El conocimiento detallado del ciclo biológico de estos cultivares, en dos épocas de siembra contrastantes, es importante para alcanzar una mayor eficiencia en la culminación del proceso de mejoramiento de los mismos, en virtud de alcanzar su registro en el padrón nacional de variedades.

La correcta planificación de las labores agrotécnicas también es beneficiada con el conocimiento exhaustivo del ciclo biológico de cada cultivar, por ejemplo, en Infoagro (2016) se plantea que las mayores exigencias de agua en el cultivo del sorgo, comienzan unos 30 días después de la emergencia y continúan hasta el llenado de los granos (incluye GA, GP). Las etapas más críticas en este sentido son las de paniculación (PE, IAP) y floración (PA, EP), en las cuales las deficiencias hídricas provocan mermas en los rendimientos.

Aunque las especies de sorgo son predominantemente autógamas, niveles de alogamia han sido encontrados, entre el 5 y el 40%, con valores que oscilan del 20 al 30% en la raza guinea (Chantereau y Kondombo, 1991; Barnaud *et al.,* 2008). Por tanto, en los tres cultivares analizados es fundamental conocer el momento de inicio y la duración de las etapas de floración para evitar cruzamientos indeseados, aspecto fundamental para lograr una planificación óptima de mantenimiento y varietal producción de semillas.

4.2. Caracterización morfológica de los cultivares analizados, en siembras de junio y diciembre

4.2.1. Caracteres cualitativos

Los caracteres densidad y desgrane predominantes de las panículas, y cobertura predominante de los granos por las glumas, presentaron respuestas similares en ambas siembras; solo ligeras diferencias fueron observadas en casos específicos (anexos 7, 8 y 9):

⇒ Densidad predominante de las panículas.

- Los cultivares MC10-010 y MC10-014, en ambas siembras, tuvieron las panículas Semi-Abiertas (SA), lo que demuestra la homogeneidad de ambos genotipos en relación a este carácter.
- El cultivar MC10-002, en la siembra de junio de 2016 presentó la mayoría de sus panículas SA (70,0%), aproximadamente un cuarto fueron Abiertas (A) (26,7%), y el resto se presentaron Poco Compactas (PC) (3,3%). Pese a que la diferencia entre estas tres categorías es ínfima, las panículas de densidad SA son las distintivas de los tres cultivares objeto de estudio, por lo que en este caso se procedió a una selección positiva de los individuos que tuvieran dicha tipología, a partir de los cuales fue obtenida la semilla para realizar la siembra de diciembre del propio año; práctica que resultó muy efectiva, pues en dicha siembra se constató que el total de las plantas mostraron panículas SA.

⇒ Desgrane predominante de las panículas.

- Los cultivares MC10-002 y MC10-014, en ambas siembras, las panículas presentaron desgrane Fácil (F), expresión esta de la uniformidad de dichos genotipos respecto a este carácter.
- El cultivar MC10-010, en la siembra de junio de 2016, la totalidad de sus panículas tuvo desgrane F; sin embargo en la siembra posterior (diciembre) aparecieron unas pocas plantas con panículas de desgrane diferente, el 3,4% con desgrane Difícil (D) y el 6,6% con desgrane Intermedio (I). Este resultado demuestra la variabilidad genotípica en relación a este carácter presente en este genotipo, aspecto que debe tomarse en cuanta para el descarte de los fenotipos fuera de tipo en las generaciones posteriores.

⇒ Cobertura predominante de los granos por las glumas.

- Solo en el cultivar MC10-014, en ambas siembras, la totalidad de las plantas presentaron la categoría del 25% de la superficie de los granos cubierta por las glumas; atributo que parece estar ligado a la estabilidad de este carácter en este cultivar.
- Los cultivares MC10-002 y MC10-010 en la siembra de junio mostraron una variabilidad moderada en este carácter, lo que indujo a realizar selección positiva de los individuos en que predominara la categoría del 25% de la superficie de los granos cubierta por las glumas; categoría considerada adecuada para la producción de granos en sorgo guinea, puesto que los granos más descubiertos proporcionan mayores pérdidas por la incidencia de pájaros granívoros; en tanto, cuando los granos están más cubiertos se dificulta la trilla y beneficio post cosecha de los mismos.

  La selección efectuada resultó muy eficiente en el cultivar MC10-002, pues en la siembra siguiente (diciembre) todas las plantas produjeron granos con la categoría del 25% de la superficie cubierta por las glumas.

  En el cultivar MC10-010 no fue totalmente efectiva la selección practicada, pues en la siembra de diciembre solo se incrementó hasta el 90% la prevalencia de plantas con la categoría del 25% de la superficie de los granos cubierta por las glumas.

En los caracteres color exterior predominante en las glumas y en los granos, se observaron diferencias entre las épocas de siembra en los tres cultivares analizados (figura 3 y 4).

⇒ Color exterior predominante de las glumas.

- En el cultivar MC10-002, las glumas presentaron pequeñas diferencias entre las dos épocas de siembra, en cuanto al color exterior y tonalidad. En la siembra de junio el 96,7% de las plantas tenían glumas de color crema, presentándose solo un 3,3% de plantas con glumas de color crema oscuro. En la siembra de diciembre las variaciones fueron mayores, donde el 6,8% de las plantas presentaron glumas de color café con tonalidades 54 y 55, mientras que el 93,2% se observaron de color crema (tonalidades 73 y 75).
- El cultivar MC10-010 se caracterizó por presentar en la siembra de junio todas las glumas de color crema, con tonalidades 72 y 73. Pero en la siembra de diciembre se apreció el color café (tonalidades 53 y 54) en el 6,6% de las glumas; el resto presentó

color crema 73. Este resultado demuestra una mínima inestabilidad de este carácter en el genotipo analizado, lo que debiera tenerse en cuenta para futuras selecciones.

- En el cultivar MC10-014, en ambas épocas de siembra, todas las glumas analizadas presentaron color crema exteriormente. Sin embargo, en la siembra de diciembre la tonalidad observada fue 73, mientras que en la siembra de junio se clasificó como 72. Este resultado pudo haber estado influenciado por la apreciación visual del evaluador, puesto que las diferencias son ínfimas entre ambas tonalidades, lo que la hace poco significativa a los efectos de esta investigación. Consideramos que el carácter analizado es bastante estable en este genotipo.

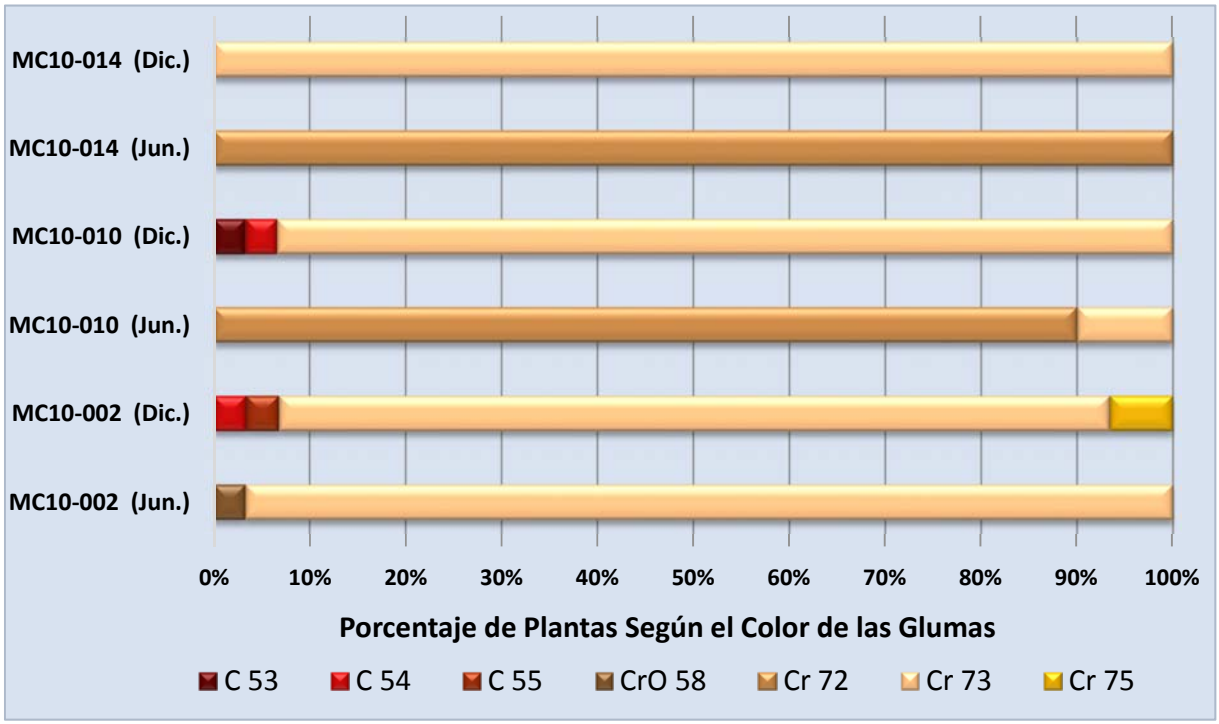


Figura 3. Color exterior predominante en las glumas, de los tres cultivares, en siembras de junio y diciembre.

⇒ Color exterior predominante de los granos.

- El cultivar MC10-002 fue el que mayor variabilidad presentó en cuanto al carácter analizado, habiéndose incrementado esta en la siembra de diciembre. En la totalidad de las plantas sembradas en el mes de junio se observaron granos de color crema (Cr 71, Cr 73); y en la siembra de diciembre se identificó el 6,6 % de las plantas con granos de color café en dos tonalidades diferentes (C 53, C 55), y el 93,4 % restante con

granos de color crema oscuro con cuatro tonalidades (CrO 56, CrO 57, CrO 58, CrO 59).

- En el cultivar MC10-010, los granos de la totalidad de las plantas de la siembra de junio fueron de color crema (Cr 71); no obstante, en la siembra correspondiente al mes de diciembre los granos del 100% de las plantas fueron de color crema oscuro (CrO 57, CrO 58).
- En el cultivar MC10-014 la totalidad de los granos analizados en la siembra de junio presentaron color crema oscuro de tonalidad 57 (CrO 57); pero en la siembra de diciembre, además de este, se observaron granos con las tonalidades 56 y 58 de crema oscuro, así como una ínfima cantidad (3,3 %) de crema (Cr 71).

Los resultados expuestos demuestran la inestabilidad de este carácter, debido fundamentalmente a la variabilidad favorecida por la alogamia presente en esta especie.

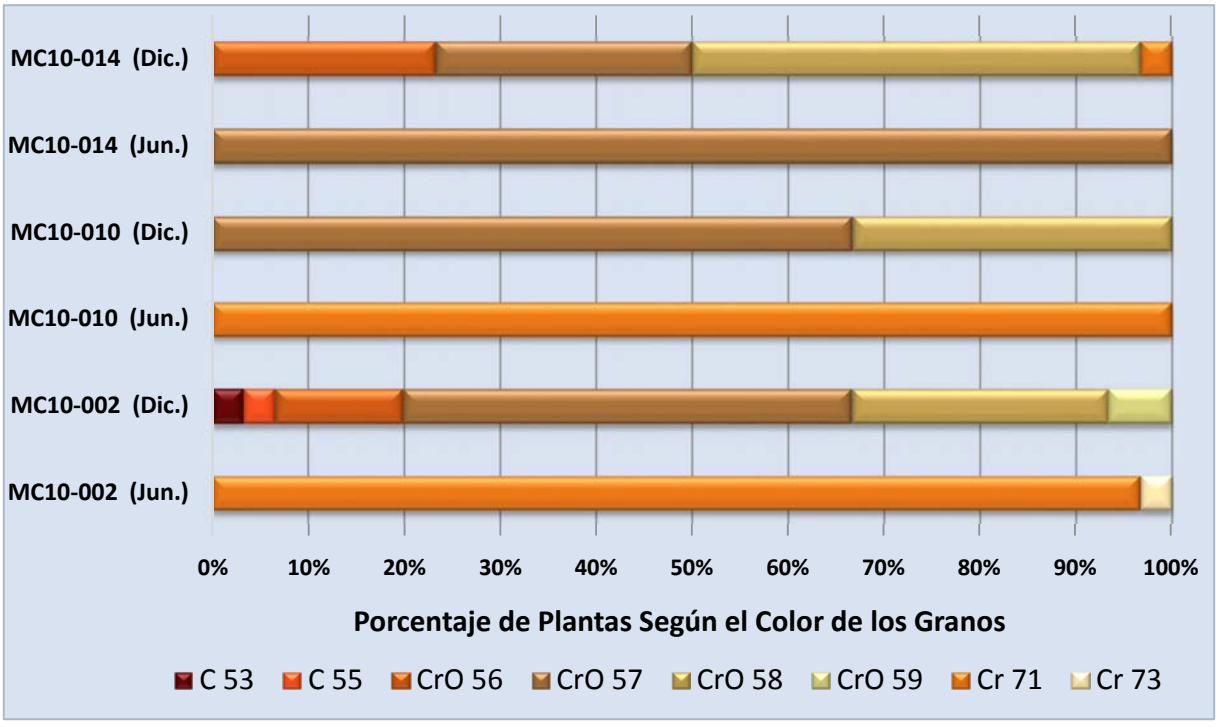


Figura 4. Color exterior predominante en los granos, de los tres cultivares, en siembras de junio y diciembre.

Los caracteres cualitativos anteriormente analizados suelen ser poco influenciados por el ambiente (CIAT, 1983; Gordón-Mendoza *et al*., 2010). Se infiere que las diferencias

encontradas en ciertos caracteres de algunos cultivares, entre las dos siembras realizadas, se deben fundamentalmente a la variabilidad genética que se presenta en las poblaciones de sorgo guinea producto la alogamia propia de esta especie (Barnaud *et al*., 2008), aspecto que solo puede ser solventado por un adecuado proceso de mantenimiento varietal.

⇒ Estado del Follaje al Momento de la Cosecha.

- Al analizar los resultados concernientes a este carácter (anexo 10), puede apreciarse que en la siembra de junio todas las plantas de los tres cultivares, culminaron su ciclo biológico con el follaje verde (FV); sin embargo en la siembra de diciembre los tres cultivares presentaron diferentes niveles de plantas con el follaje en estado ligeramente senescente (FLS) al arribar al estado de madurez de cosecha de los granos, sobresaliendo el cultivar MC10-010 como el que menor porcentaje (3,3 %) de plantas presentó en este estado.
- La respuesta anteriormente observada se debe a las condiciones climáticas que se presentaron en cada uno de los períodos de cultivo transcurridos en ambas siembras, sobre todo el régimen de precipitaciones y las temperaturas medias diarias. En la siembra de junio, durante el ciclo biológico del cultivo hubo abundantes precipitaciones y con una distribución más o menos adecuada, para un acumulado de 618,5 mm; mientras que las temperaturas medias diarias estuvieron en el entorno de 25 ± 1^{0}C (anexos 3 y 5).
- Sin embargo, en la siembra de diciembre las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo fueron muy escasas, con un acumulado de solo 108,0 mm (anexos 4 y 6), más cinco riegos de subsistencia efectuados, equivalentes cada uno a 3 mm de precipitaciones, para un total de 15 mm, lo que proveyó un acumulado general de 123 mm. Las temperaturas medias diarias estuvieron en el entorno de 21 ± 1^{0}C.

Teniendo en cuenta las consideraciones hechas por González *et al*. (2010), González *et al*. (2014), e Infoagro (2016); se deduce que la poca disponibilidad de agua en el suelo durante el ciclo del cultivo, estuvo entre las causas fundamentales que provocaron dicha respuesta en el follaje de algunas de las plantas, pese a las cualidades del sorgo para tolerar estrés por déficit hídrico.

Soto y Hernández (2012) señalan que *Sorghum bicolor* (L.) Moench constituye una especie típica de zonas de clima cálido, y es capaz de tolerar condiciones de sequía y de baja disponibilidad de nutrientes. Dichos autores puntualizan que la duración del área foliar representa la continuación del funcionamiento de la superficie asimiladora de la planta; y en investigaciones realizadas con la variedad de sorgo granífero ISIAP Dorado, demostraron que la duración del área foliar varió en dependencia de la fecha de siembra, alcanzándose el mayor valor en la siembra donde ocurrieron las mayores temperaturas medias desde la emergencia hasta el inicio de la fase reproductiva.

Estudios realizados muestran que una mayor duración del follaje verde implica un mayor aprovechamiento de la radiación solar, lo cual se manifiesta en un mayor crecimiento general de las plantas, mayor acumulación de materia seca y mayor rendimiento total (Barraza *et al*., 2004; Hernández y Soto, 2013).

4.2.2. Caracteres cuantitativos

En los tres cultivares se presentaron notables variaciones en los caracteres cuantitativos analizados, entre las siembras de junio y diciembre; así como marcadas diferencias entre los cultivares, independientemente de las épocas de siembra.

⇒ Características morfométricas de los tallos.

En la siembra de junio, las plantas de los tres cultivares presentaron valores significativamente superiores a las de la siembra de diciembre; tanto de Longitud Total de las Plantas (LTP), Longitud de los Tallos (LT), Diámetro de los Tallos (DT), como Cantidad de Entrenudos (CE) (tabla 3).

En esta misma época de siembra, los cultivares MC10-010 y MC10-014 alcanzaron los mayores valores de LTP y LT (tabla 3); mientras que en los caracteres DT y CE no se presentaron diferencias significativas entre los tres cultivares.

En la siembra de diciembre, el cultivar MC10-010 alcanzó los mayores valores de LTP, LT y DT; sin diferencias estadísticas con el cultivar MC10-002 en relación a la CE (tabla 3). Este resultado permite inferir que el cultivar MC10-010, respecto a las características morfométricas de los tallos, fue el menos afectado por el estrés hídrico que afrontó la plantación en esta siembra.

Tabla 3. Principales características morfométricas de los tallos, en los tres cultivares en las dos fechas de siembra analizadas.

Cultivares y Fechas de Siembra	LTP (m) (*)		LT (m) (*)		Diám. Tallo (cm)(*)		Cant. Entren. (*)	
	Medias **	Rangos medios	Medias **	Rangos medios	Medias **	Rangos medios	Medias **	Rangos medios
MC10-002 (Jun.)	3,16 ±0,03	112,12 b	2,24 ±0,03	111,90 b	1,65 ±0,03	139,55 a	9,64 ±0,13	138,70 a
MC10-002 (Dic.)	1,70 ±0,03	34,25 d	0,75 ±0,03	36,68 d	0,74 ±0,02	34,98 c	3,97 ±0,11	51,35 b
MC10-010 (Jun.)	3,51 ±0,03	159,77 a	2,53 ±0,03	152,97 a	1,61 ±0,05	134,20 a	9,31 ±0,12	125,65 a
MC10-010 (Dic.)	1,99 ±0,03	68,10 c	1,00 ±0,03	68,38 c	0,85 ±0,02	60,78 b	4,03 ±0,09	54,25 b
MC10-014 (Jun.)	3,34 ±0,02	134,62 a	2,45 ±0,02	141,63 a	1,59 ±0,02	132,55 a	9,79 ±0,11	142,15 a
MC10-014 (Dic.)	1,72 ±0,03	34,15 d	0,75 ±0,04	31,43 d	0,76 ±0,02	40,93 c	3,40 ±0,12	30,90 c

* Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$).

** Medias ± Error Estándar

Leyenda:

LTP: Longitud Total de las Plantas; LT: Longitud de los Tallos; Diám. Tallo: Diámetro de los Tallos; Cant. Entren: Cantidad de Entrenudos.

Según López y Galeato (1982), el tamaño de la planta de sorgo varía por varios factores, entre ellos se pueden mencionar factores ambientales (humedad y temperatura), y disponibilidad de nutrientes.

Rana (1984) estima que el tipo óptimo de planta debe tener unos 175 cm de altura, sin embargo, aunque las variedades altas son inconvenientes para la mecanización de la cosecha, también pueden ser prometedoras para la producción de grano y forraje.

La altura de la planta de sorgo es afectada también por la respuesta fotoperiódica, dado que la activación de la floración reduce el crecimiento vegetativo (Compton, 1990).

En investigaciones realizadas por Ruiz *et al*. (2012) y Rodríguez *et al*. (2015) con el cultivar MC04-12 de sorgo guinea, en siembras en la época poco lluviosa, obtuvieron resultados análogos a los nuestros en las variables Longitud Total de las Plantas, Diámetro de los Tallos, y Cantidad de Entrenudos.

⇒ Características morfométricas de las panículas.

Tabla 4. Principales características morfométricas de las panículas, en los tres cultivares en las dos fechas de siembra analizadas.

Cultivares y Fechas de Siembra	Long. Ped. (m) (*)		Long. Pan. (m) (*)	
	Medias **	Rangos medios	Medias **	Rangos medios
MC10-002 (Jun.)	0,51 ±0,01	38,23 b	0,41 ±0,005	156,88 a
MC10-002 (Dic.)	0,64 ±0,01	111,53 a	0,32 ±0,005	46,22 c
MC10-010 (Jun.)	0,62 ±0,01	98,18 a	0,36 ±0,005	104,72 b
MC10-010 (Dic.)	0,65 ±0,01	118,75 a	0,35 ±0,004	81,57 b
MC10-014 (Jun.)	0,53 ±0,02	47,02 b	0,36 ±0,005	106,95 b
MC10-014 (Dic.)	0,66 ±0,01	129,28 a	0,32 ±0,007	46,67 c

* Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$).

** Medias ± Error Estándar

Leyenda:

Long. Ped: Longitud del Pedúnculo; Long. Pan: Longitud de la Panícula.

Del análisis de los resultados expuestos en la tabla 4 se deduce, que de forma general, las mayores longitudes de los pedúnculos se alcanzaron en la siembra de diciembre, aunque en el cultivar MC10-010 no se presentaron diferencias estadísticas entre ambas siembras; por el contrario las mayores longitudes de las panículas se obtuvieron en la siembra realizada en junio, pese a que también en el cultivar MC10-010 no hubo diferencias estadísticas entre ambas siembras.

Paradójicamente, en términos de valores absolutos (tabla 4), en el cultivar MC10-002 (siembra de junio) se obtuvo la menor longitud del pedúnculo y la mayor longitud de las panículas; totalmente opuesto a lo que ocurrió en el cultivar MC10-014 (siembra de diciembre) en el que se alcanzó la mayor longitud del pedúnculo y la menor longitud de las panículas.

La presencia de pedúnculos largos es característica de genotipos de sorgo sensibles al fotoperiodo, en particular la raza guinea responde a fotoperiodos de días cortos, motivo por el que las plantas crecidas en el período en el que los días tienen menor duración, los tallos alcanzan menor porte y los pedúnculos adquieren mayor talla; estos aspectos

facilitan la cosecha mecanizada de los granos en las siembras realizadas en esta época del año; contrapuesto a lo que sucede en las plantaciones crecidas en la época de días largos, donde estos genotipos alcanzan grandes alturas, las que impiden la cosecha mecanizada de las panículas.

Algunos autores refieren que la longitud del pedúnculo es esencial para la cosecha mecanizada del sorgo (Rodríguez *et al*., 2007).

La longitud del pedúnculo o exerción está controlada genéticamente, pero los factores ambientales, como la deficiencia de agua y las variables climáticas, pueden influir en su expresión (Compton, 1990).

También, Ruiz *et al*. (2012) y Rodríguez *et al*. (2015) alcanzaron resultados similares a los obtenidos en nuestra investigación, con las variables longitud del pedúnculo y longitud de las panículas, en las siembras realizadas en la época poco lluviosa con el cultivar MC04-12 de sorgo guinea.

⇒ Acumulación de materia fresca y seca

La acumulación de materia fresca y seca por planta, fue significativamente superior en la siembra de junio, en relación a la efectuada en el mes de diciembre (tabla 5), aspecto muy relacionado con el mayor porte que alcanzaron las plantas de los tres cultivares en la siembra de junio.

En la siembra de junio el cultivar MC10-002, y en la siembra de diciembre el cultivar MC10-010; obtuvieron los mayores valores de acumulación de materia fresca y seca en cada época de siembra; mientras que los peores resultados generales se obtuvieron en la siembra de diciembre con el cultivar MC10-002. La mayor estabilidad se alanzó en el cultivar MC10-010, al registrar las menores diferencias entre ambas siembras (tabla 5). Estos resultados sugieren que el cultivar MC10-002 es el menos tolerante a las condiciones ambientales desfavorables acontecidas de la época poco lluviosa.

Una vez cosechadas las panículas, los niveles de Biomasa Fresca Aérea y de Materia Seca Aérea remanentes por planta, son considerables, y teniendo en cuenta que aún la mayor parte del follaje se encuentra totalmente verde; esta representa una fuente

importante de forraje, sobre todo las plantaciones sembradas en diciembre, cuya cosecha se realiza cuando todavía no han comenzado las lluvias y escasean los pastos y forrajes.

Tabla 5. Acumulación de materia fresca y seca por planta, en los tres cultivares en las dos fechas de siembra analizadas.

Cultivares y Fechas de Siembra	BFAT (*)		MSAT (*)		BFA-PCP (*)		MSA-PCP (*)	
	(g planta^{-1})							
	Medias **	Rangos medios	Medias **	Rangos medios	Medias **	Rangos medios	Medias **	Rangos medios
MC10-002 (Jun.)	463,10 ±15,96	158,43 a	172,48 ±5,36	159,25 a	418,70 ±15,91	157,32 a	121,42 ±4,61	157,32 a
MC10-002 (Dic.)	76,23 ±3,22	28,77 d	37,54 ±1,51	31,73 d	50,23 ±2,45	26,12 d	16,07 ±0,78	26,12 d
MC10-010 (Jun.)	365,35 ±17,38	133,02 ab	138,25 ±5,60	133,12 ab	327,88 ±17,39	133,18 ab	95,09 ±5,04	133,12 ab
MC10-010 (Dic.)	105,69 ±4,65	63,13 c	49,44 ±1,96	63,63 c	73,24 ±3,85	59,53 c	23,44 ±1,23	59,60 c
MC10-014 (Jun.)	314,63 ±5,35	114,98 b	119,56 ±1,77	114,03 b	281,50 ±5,49	116,00 b	81,64 ±1,59	116,00 b
MC10-014 (Dic.)	89,70 ±3,88	44,67 cd	40,67 ±1,69	41,23 cd	65,86 ±3,00	50,85 c	21,08 ±0,96	50,85 c

* Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$).

** Medias ± Error Estándar

Leyenda:

BFAT: Biomasa Fresca Aérea Total; MSAT: Materia Seca Aérea Total; BFA-PCP: Biomasa Fresca Aérea Post Cosecha de las Panículas; MSA-PCP: Materia Seca Aérea Post Cosecha de las Panículas.

Los caracteres cuantitativos anteriormente analizados son influenciados por el ambiente, al presentar respuestas diferenciadas entre las distintas épocas de siembra; aspectos estos corroborados por CIAT (1983) y Gordón-Mendoza *et al.* (2010).

La producción de un cultivo está determinada por su potencial genético y el impacto del ambiente sobre su capacidad de crecimiento y partición de materia seca hacia destinos reproductivos. El rendimiento por unidad de superficie está condicionado por el número de individuos capaces de producir rendimiento en grano; la biomasa producida por cada individuo refleja la disponibilidad de recursos durante toda la estación de crecimiento y se asocia con su rendimiento (Cantarero *et al*., 2000).

4.3. Rendimiento agrícola de los cultivares analizados, en siembras de junio y diciembre

De los tres componentes del rendimiento agrícola en granos analizados (tabla 6), la masa de 100 granos no presentó diferencias estadísticas entre épocas de siembra, ni entre cultivares, lo que indica que este carácter es muy estable en los genotipos estudiados, y poco influenciado por las variaciones de las condiciones ambientales.

Tabla 6. Respuesta de los principales componentes del rendimiento en granos (a 13±0,2% de humedad), en los tres cultivares en las dos fechas de siembra analizadas.

Cultivares y Fechas de Siembra	MGP (g) (*)		RMGP (g) (*)		M100G (g) (*)
	Medias **	Rangos medios	Medias **	Rangos medios	Medias **
MC10-002 (Jun.)	36,47 ±1,76	139,73 a	0,82 ±0,01	104,23 b	2,05 ±0,04
MC10-002 (Dic.)	18,39 ±0,89	45,03 b	0,71 ±0,01	53,75 c	2,04 ±0,04
MC10-010 (Jun.)	34,27 ±0,90	143,08 a	0,92 ±0,01	153,07 a	2,10 ±0,03
MC10-010 (Dic.)	21,23 ±0,91	63,10 b	0,65 ± 0,02	36,32 c	2,08 ±0,04
MC10-014 (Jun.)	29,93 ±0,94	115,92 a	0,90 ±0,01	144,25 a	2,07 ±0,03
MC10-014 (Dic.)	16,66 ±0,68	36,13 b	0,70 ±0,01	51,38 c	2,05 ±0,04

* Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$).

** Medias ± Error Estándar

Leyenda:

MGP: Masa de los Granos por Panículas; RMGP: Relación Masa de los Granos por Panículas; M100G: Masa de 100 granos.

En las variables Masa de los Granos por Panículas (MGP) y Relación de la Masa de los Granos por Panículas (RMGP), se obtuvieron los mejores resultados en la siembra de junio en los tres cultivares.

Para el carácter MGP, no se encontraron diferencias estadísticas entre los cultivares en una misma siembra, aunque sí se aprecian diferencias entre los valores absolutos, los que al nivel de una hectárea de cultivo contribuyen a notables diferencias en los rendimientos.

Respecto a la variable RMGP, los mejores resultados se alcanzaron en la siembra de junio; también se registraron diferencias estadísticas entre los genotipos, pero solamente

dentro de la siembra de junio, en la que los cultivares MC10-010 y MC10-014 alcanzaron las mayores relaciones Masa de los granos/Masa Total de las Panículas, de 0,92 y 0,90 respectivamente.

Los resultados expuestos en la tabla 7 confirman que las variables Rendimiento en Biomasa Fresca Aérea Total (RBFAT), Rendimiento en Granos (RG), y Rendimiento en Biomasa Fresca Aérea - Post Cosecha de las Panículas (RBFA-PCP), expresadas las tres en t ha^{-1}, alcanzaron resultados estadísticamente superiores en la siembra de junio, en los tres cultivares analizados.

Tabla 7. Rendimientos agrícolas en biomasa fresca, y granos (a 13±0,2% de humedad), e índice de cosecha; en los tres cultivares en las dos fechas de siembra analizadas.

Cultivares y Fechas de Siembra	RBFAT (*) (t ha^{-1})		RG (**) (t ha^{-1})	IC-G (*)		RBFA-PCP (*) (t ha^{-1})	
	Medias ***	Rangos medios	Medias	Medias ***	Rangos medios	Medias ***	Rangos medios
MC10-002 (Jun.)	51,46 ±0,95	22,50 a	4,05 a	0,19 ±0,01	31,38 b	46,52 ±0,28	22,50 a
MC10-002 (Dic.)	8,47 ±0,03	2,50 f	2,04 cd	0,45 ±0,01	150,88 a	5,58 ±0,03	2,50 d
MC10-010 (Jun.)	40,59 ±0,13	18,50 b	3,81 a	0,24 ±0,01	54,32 b	36,43 ±0,49	18,50 b
MC10-010 (Dic.)	11,74 ±0,54	10,50 d	2,36 c	0,39 ±0,01	129,52 a	8,14 ±0,23	10,50 c
MC10-014 (Jun.)	34,96 ±0,25	14,50 c	3,33 b	0,23 ±0,01	54,12 b	31,28 ±0,04	14,50 b
MC10-014 (Dic.)	9,97 ±0,06	6,50 e	1,85 d	0,37 ±0,01	122,78 a	7,32 ±0,05	6,50 c
E.E. (ỹ) ±	---	---	0,1820	---	---	---	---

* Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$).

** Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey HSD ($p \leq 0,05$).

*** Medias ± Error Estándar

Leyenda:

RBFAT: Rendimiento en Biomasa Fresca Aérea Total; RG: Rendimiento en Granos; IC-G: Índice de Cosecha de Granos.; RBFA-PCP: Rendimiento en Biomasa Fresca Aérea - Post Cosecha de las Panículas; E.E: Error Estándar.

En relación a la respuesta de los cultivares, respecto a estas mismas variables, se constató que MC10-002 en la siembra de junio registró los mejores resultados; contrario a lo acontecido en la siembra de diciembre, donde dicho cultivar estuvo entre los peores (tabla 7). Las menores diferencias entre la siembra de junio y diciembre, en las variables antes mencionadas, se obtuvieron en el cultivar MC10-010, el que además mostró resultados superiores a MC10-014.

El aumento o disminución del periodo de crecimiento, provocado por las variaciones en las condiciones ambientales, puede incidir en el rendimiento (Soto *et al.,* 2009; Xiao *et al*., 2007); sin embargo, alcanzar rendimientos máximos estará en relación directa con una máxima fotosíntesis y que esta ocurra en un tiempo bastante prolongado, por lo que una mayor área foliar y duración de la misma en la etapa reproductiva podría conducir a un rendimiento más alto (Escalante, 1999).

De las anteriores observaciones se deduce que el cultivar MC10-002 fue el más afectado por las condiciones de estrés hídrico que se presentaron durante el ciclo de vida del cultivo, en la siembra de diciembre; mientras que el cultivar MC10-010 fue el que mayor estabilidad presentó ante dichas condiciones.

Estos resultados están respaldados por lo planteado por varios autores, entre otros:

- Satorre *et al*. (2005) consideran que la disminución en el número de granos y el rendimiento de los cultivos aparece asociado a las condiciones de crecimiento de las plantas alrededor de la floración, la presencia de un estrés durante ese periodo reduce la tasa de crecimiento, lo que produce marcadas disminuciones en el rendimiento.

- Soto *et al*. (2009) plantean que rendimiento es el resultado final de un grupo de interacciones, donde intervienen el genotipo, el clima, el suelo y el manejo del cultivo; el impacto de los distintos parámetros que intervienen en estas variables del sistema, define la fenología y el rendimiento de los cultivos.

- Carrasco *et al*. (2011) señalan que el estrés por falta de humedad o por acción de algún herbicida, puede provocar que la panícula no termine de salir de la vaina de la hoja bandera, provocando así una polinización incompleta. En esta etapa comienza el período crítico de definición del rendimiento, donde una carencia en esta etapa se traduce directamente en menores rendimientos.

En las condiciones de Cuba, García *et al*. (2005), consideran como un rendimiento adecuado hasta 3,8 t ha^{-1}; lo cual se adviene con los resultados obtenidos en este trabajo con los cultivares MC10-002 y MC10-010 en la siembra de junio (tabla 7).

Respecto a la variable Rendimiento en Granos, resultados equivalentes a los nuestros son reportados por Gil *et al*. (2008) y Rodríguez *et al*. (2015), quienes en investigaciones realizadas con el cultivar MC04-12 de sorgo guinea, obtuvieron rendimientos de grano de 2,07 y 2,54 t ha^{-1}, respectivamente, en siembras realizadas en la época poco lluviosa; mientras que mayores rendimientos (3,24 y 3,60 t ha^{-1}, respectivamente) fueron reportados por estos autores en siembras efectuadas en la época lluviosa.

El Índice de Cosecha de Granos (IC-G), mostró una tendencia muy bien definida, caracterizada por no mostrar diferencias estadísticas entre los cultivares dentro de cada momento de siembra; mientras que al comparar los resultados alcanzados en cada siembra, se confirmó la obtención de mayores IC-G en la siembra de diciembre, con diferencias estadísticamente significativas respecto a la siembra de junio (tabla 7).

El índice de cosecha (IC) es una medida de la eficiencia de la planta en el uso de la luz, el agua y los nutrientes para producir grano (Soto y Hernández, 2012).

El sorgo es una planta C4, condición esta que le confiere una alta eficiencia en la producción de materia seca por unidad de agua transpirada en condiciones de alta luminosidad (Rincón *et al*., 2007).

Producto de la respuesta al fotoperiodo de días cortos que presentan los cultivares estudiados, en la siembra de diciembre se obtuvo una mejor relación entre la producción de materia seca de los granos por planta y la producción de materia seca aérea total por planta, ya que en este período las plantas crecieron menos y se alcanzó menor producción de biomasa aérea, aspecto que favoreció el Índice de Cosecha de Granos en esta época de siembra.

Según Trouche *et al*. (1998) la raza guinea se caracteriza por tener tallos muy altos que implican un bajo índice de cosecha; lo cual concuerda con nuestros resultados, al combinarse la producción de las plantas con mayor longitud en la siembra de junio, con la obtención de los menores índices de Cosecha de Granos de los tres cultivares estudiados.

Estudios realizados en Cuba estiman que en algunas variedades de sorgo el índice de cosecha varia en las distintas épocas de siembra (Soto y Hernández, 2012; Hernández y Soto, 2013), por ejemplo, en investigaciones realizadas con la variedad de sorgo granífero ISIAP Dorado, se obtuvieron índices de cosecha de 0,39 en siembras realizadas en el mes de junio, y de 0,36 para las siembras del mes de noviembre (Soto y Hernández, 2012). Esta respuesta está acorde a sensibilidad de dicha variedad al fotoperiodo de días largos.

En la tabla 7 también se puede constatar que existe una relación directa entre el Rendimiento en Biomasa Fresca Aérea y el Rendimiento en Granos, aspecto coincidente con Soto y Hernández (2012), los que reportan que a mayor acumulación de biomasa se alcanza un mayor rendimiento en granos.

Consideraciones Finales

Los resultados derivados de esta investigación constituyen un importante apoyo a la ampliación de la base de datos sobre la caracterización de los recursos fitogenéticos de *Sorghum bicolor* (L.) Moench.

El estudio fue realizado en el marco del Proyecto P131LH001175, Asociado al Programa de Alimento Humano del Ministerio de la Agricultura (MINAG) de Cuba, titulado “Conservación de recursos fitogenéticos de granos, hortalizas, frutales y leguminosas forrajeras como contribución al logro de la sostenibilidad alimentaria en Cuba”, el mismo es coordinado nacionalmente por el Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt” (INIFAT).

Los aportes principales están relacionados con la ampliación del conocimiento sobre la raza Guinea de sorgo, la cual está poco difundida en Cuba; así como disponer de información sobre de la respuesta morfoagronómica de tres cultivares élite de esta raza en dos épocas de siembra, aspectos que permitirán realizar recomendaciones para la introducción a escala productiva de los cultivares más adecuados.

Conclusiones

5. Conclusiones

Sobre la base del análisis de los resultados obtenidos, pueden formularse las siguientes conclusiones:

1- El ciclo biológico de los tres cultivares, en la siembra de diciembre disminuye en 14 días en relación a la siembra de junio.

2- Las características morfológicas cualitativas de los cultivares, no mostraron diferencias esenciales entre las dos épocas de siembra.

3- Los caracteres morfológicos cuantitativos analizados, en los tres cultivares, tienden a alcanzar valores significativamente superiores en la siembra de junio.

4- Los mayores rendimientos en biomasa y granos se obtienen en la siembra de junio.

5- El mayor índice de cosecha de granos se obtiene en la siembra de diciembre.

Recomendaciones

6. Recomendaciones

1- Determinar en otras condiciones edafoclimáticas, la respuesta morfoagronómica de los cultivares MC10-002, MC10-010 y MC10-014 de sorgo guinea.

2- Proponer el cultivar MC10-010 para su introducción en áreas agrícolas comerciales, que presenten similitudes edafoclimáticas con las que se tuvieron en esta investigación.

Referencias bibliográficas

7. Referencias bibliográficas

Arias, A.; Marrero, L.; Castro, A. 2009. Rasgos de comportamiento de cerdos en crecimiento-ceba alimentados con dietas basadas en granos de sorgos ensilados. Revista computarizada de producción porcina, 16:191-193.

Barnaud, A.; Trigueros, G.; McKey, D.; Joly, H. I. 2008. High out crossing rates in fields with mixed sorghum landraces: how are landraces maintained? Heredity, 101:445-452.

Barraza, F. V.; Fischer, G.; Cardona, C. E. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo del tomate. Agronomía Colombiana, 22(1):81-90.

Barro-Kondombo, C.; Vom-Brocke, K.; Chantereau, J.; Sagnard, F.; Zongo, J. D. 2008. Variabilité phénotypique des sorghos locaux de deux régions du Burkina-Faso: La Boucle du Mouhoun et le Centre-Ouest. (In French, with English summary) Cah. Agric., 17:107-113.

Burke, J.; Franks, C. D.; Burow, G.; Xin, Z. 2010. Selection system for the stay-green drought tolerance trait in *sorghum* germplasm. Agronomy Journal, 102:1118-1122.

Cantarero, M. G.; Luque, S. F. y. Rubiolo, O. J. 2000. Efecto de la época de siembra y la densidad de plantas sobre el número de granos y el rendimiento de un híbrido de maíz en la región central de Córdoba (Argentina). Revista Agriscietia, 17:3-10.

Carrasco, N.; Zamora, M.; Melin, A. 2011. Manual de sorgo. 1ª ed. Chacra Experimental Integrada. Barrow: ediciones INTA, 105 p. Buenos Aires, Argentina ISBN: 978-987-679-071-0

Chantereau, J.; Kondombo, C. 1991. Estimation du tauxd' allogamie chez les sorghos de la race guinea. In: Salez P (ed). Compterendu de mission a la conférence des réseaux Safgrad. Conférence inter-réseaux sur la recherche et la production des cultures vivrie`res: Niamey, Niger, 7 p. Consultado el 26/5/2017 http://agritrop.cirad.fr/427967/

CIAT. 1983. Sorgo (*Sorghum vulgare*). In: ed. Metodología Para Obtener Semillas de Calidad. Arroz, Frijol, Maíz y Sorgo. Unidad de Semillas del Centro Internacional de Agricultura Tropical, pp. 125–160. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali.

Compton, L. 1990. Agronomía del sorgo. Trad. por Ma. Guadalupe López Abdelrague (Ind.). Instituto Internacional para el Mejoramiento de Cultivos para los Trópicos Semiáridos. Hyderabad, India (ICRISAT), 35.

Dahlberg, J.; Berenji, J.; Sikora, V.; Latkovic, D. 2011. Assessing sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) germplasm for new traits: food, fuels & unique uses. Maydica, 56:85-92.

Darwich, N. 2003. Muestreo de suelos para una fertilización precisa. En: II Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa. XI Congreso Nacional de AAPRESID. Tomo II. p. 281-289

Deu, M.; Hamon, P. 1994. Diversidad de los sorgos aplicación a la gestión de los recursos genéticos y a la selección CIRADCA, BP 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, Francia. Agriculture et developpement número especial.

Escalante, J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. Revista Terra, 17(2):149-157.

FAO (2016) La producción mundial del sorgo. Disponible en: http://www.produccionmundialsorgo.com/default.asp (accedido el 24/2/2017).

FIRA 2016. Panorama agroalimentario Sorgo 2016. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial; Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), México, 35 pp.

García, E.; Permuy, N.; Chaveco, O.; Segura, T. 2005. Recomendaciones para el cultivo de sorgo para granos (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Estación Territorial de Investigaciones Agrícolas de Holguín (ETIAH), Holguín, Cuba.

Garcia, R.; Mendes, A.; Paz, A.; Komiyama, C. M.; Caldara, F.; Nääs, I. A.; & Mariano, W. S. 2013. Implications of the use of *sorghum* in broiler production. Revista Brasileira de Ciencia Avícola, 15(3):257-262.

Gil, V.; Quintero, E. y Artiles, Y. 2007. Potencialidades en la producción agropecuaria del cultivar MC-2004 de Sorgo en condiciones de bajos insumos. En: I Convención Internacional Sobre Ganadería Agroecológica y Recursos Fitogenéticos SIGA-FITOGEN´2007. Diciembre 3 al 5. Sancti Spiritus, Cuba.

Gil, V.; Quintero, E.; Artiles, Y.; Ortiz, R. y Ríos, H. 2008. Diseminación participativa y potencialidades en la producción agropecuaria del cultivar MC-2004 de sorgo *raza guinea.* En: Congreso Científico del INCA (16: 2008, Nov 24-28, La Habana).

Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. ISBN 978-959-16-0953-3.

González, F.; Herrera, J.; López, T.; Cid. L. 2014. Productividad del agua en algunos cultivos agrícolas en Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, ISSN -1010-2760, RNPS-0111. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, La Habana, Cuba, 23(4):21-27.

González, R.; Herrera, P.; & López, S. T. 2010. Productividad del agua en maíz, soya y sorgo en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 19(1):95-97.

Gordón-Mendoza, R.; Franco-Barrera, J.; & Camargo-Buitrago, I. 2010. Adaptabilidad y estabilidad de 20 variedades de maíz, Panamá. Agronomía mesoamericana, 21(1):11-20.

Grenier, C.; Bramel-Cox, P.J. and Hamon, P. 2001. Core collection of *sorghum*: I. Stratification based on eco-geographical data. Crop Sci. 41:234-240. doi:10.2135/cropsci2001.411234x.

Hammer, G.; Vanderlip, R.; Gibson, G.; Wade, L. J.; Henzell, R. G.; Younger, D. R., ... & Dale, A. B. 1989. Genotype-by-environment interaction in grain *sorghum*. II. Effects of temperature and photoperiod on ontogeny. Crop Science, 29(2):376-384.

Hernández, A.; Pérez, J.M.; Bosch, D.; Rivero, L. 1999. Nueva Versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Instituto de Suelos, AGRINFOR, Ciudad Habana, 64 p.

Hernández, C. y Soto C. 2012. Influencia de tres fechas de siembra en el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivadas en condiciones tropicales. Parte II. Cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* I. Moench var. ISIAP Dorado). Cultivos Tropicales, 33(2):50-55. ISSN 1819-4087.

Hernández, C. y Soto C. 2013. Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento. C*ultivos Tropicales*, 34(2):24-29.

Herrera, P. J.; Pujol, R.; Cid, G.; Menéndez, M.; Alarcón, R. 2011. “Problemas del drenaje agrícola en Cuba”, Revista Ingeniería Agrícola, 1(1):21-32.

Herrera, R.; Pérez, A.; Arece, J.; Hernández, A.; Iglesias, J. M. 2013. Utilización de grano de sorgo y forraje de leñosas en la ceba porcina. Pastos y Forrajes, 36:56-63.

ICRISAT 2008. Partnerships in research for development. Annual Report. Disponible en: http://r4d.dfid.gov.uk/PDF/Outputs/icrisat/icrisat-annualreport-2008.pdf (accedido el 27/06/2016).

Ijasan, B.; Goodfellow, V.; Bryce, J. H.; Bringhurst, T. A.; Brosnan, J. M.; Jack, F. R. y Agu, R. C. 2011. Quality Assessment of a *Sorghum* Variety Malted Commercially under Tropical Conditions and Controlled Tropical Temperatures in the Laboratory. Journal of the Institute of Brewing, 117:206-211.

Infoagro. 2016. El cultivo del sorgo. Productos para Agricultura. ¡Por una vida más saludable! www.agri-nova.com

IPAF 2016. Instituto de Políticas Agrícolas de Fedeagro. 1º Quincena de Junio, 7(152)

Leiva, P. 2014. Oruga militar tardía *Spodoptera frugiperda*, una plaga de los maíces tardíos. INTA Pergamino. Disponible en: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_pergamino_oruga_militar_tarda_spodoptera_frugipe.pdf Consultado el 7 de mayo de 2016.

López, J.; & Galeato, A. 1982. Efecto de competencia de distintos estados de crecimientos del sorgo. Publicaciones técnicas, 25. INTA. Argentina.

Madruga, A. 2004. El camino del sorgo La Habana, 8(44). http://www.granma.cubaweb.cu Diario Granma.

Major, D.; Rood, S. B.; & Miller, F. R. 1990. Temperature and photoperiod effects mediated by the *sorghum* maturity genes. Crop Science, 30(2):305-310.

Maqueira, L.; Torres, W.; Pérez, S.; Roján, O.H y Morejón, R. R. 2016. Comportamiento del crecimiento y rendimiento agrícola de dos cultivares de (*Sorghum bicolor* L. Moench) en la época poco lluviosa en la localidad de los palacios. Cultivos Tropicales. Ministerio de Educación Superior. Cuba Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas http://ediciones.inca.edu.cu, 37(3):103-108

Martín, D.; Saucedo. O.; Castillo. A. 1992. Variedad del sorgo UDG-110 de grano blanco con adaptación tropical, apta para consumo humano, alimentación animal y su tecnología de cultivo en cuba.

Montero, L.; Cun, R; Pérez, J; Ricardo, M. P; Herrera, J. 2009. "Riego con aguas residuales a los cultivos del sorgo y maíz como alternativa para la producción de alimento animal", Revistas Ciencias Técnicas Agropecuarias, 18(4):44-48.

Muñoz, G.; Giraldo, G.; Fernández de Soto, J. 1993. Descriptores varietales: arroz, frijol, maíz, sorgo. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 174p. (Publicación CIAT 177)

Naveda, A.; Lozano, C.; García, F. Z.; Sáenz, E. O.; Díez, A.; & Badillo, M.; 2013. Comportamiento agronómico de líneas para la producción de semilla de sorgo. Agronomía Mesoamericana, 24(1):111-118.

Pedrol, H. M. 2008. Respuesta al ambiente y estabilidad relativa de cultivares de maíz. Jornada para Profesionales sobre Maíz y Sorgo. 26 de agosto 2008. AER Roldán, Santa Fé. AR.

Pérez, A. & Hernández, A. 2009. Empleo de forrajeras proteicas y sorgo energético en la dieta porcina. Conferencia dictada en el Taller Regional sobre alimentación porcina. Matanzas, Cuba.

Pérez, A.; Saucedo, O.; Iglesias, J.; Wencomo, H. B.; Reyes, F.; Oquendo, G. y Milián, I. 2010. Caracterización y potencialidades del grano de sorgo *(Sorghum bicolor* (L.) Moench). Pastos y Forrajes, 33(1):1-26.

Rana, B. S.; Singh, B. U.; & Rao, N. G. P. 1984. Breeding for shoot fly and stem borer resistance in *sorghum*. In Proceedings of the International *Sorghum* Entomology Workshop, 15: 21.

Rattunde, H.; Weltzien, E.; Diallo, B.; Diallo, A. G.; Sidibe, M.; Touré, A. O.; & Touré, A. 2013. Yield of photoperiod-sensitive *sorghum* hybrids based on *Guinea-race* germplasm under farmers' field conditions in Mali. Crop Science, 53(6):2454-2461.

Rincón, A.; Ligarreto, G. y Sanjuanelo, D. 2007. Crecimiento del maíz y los pastos (Brachiariasp.) establecidos en monocultivo y asociados en suelos ácidos del piedemonte llanero colombiano. Agron. Colomb, 25(2):264-272.

Rodríguez, A. 2006. Agricultura Urbana: Una expresión de la agricultura agraria cubana: Las Investigaciones agropecuarias en Cuba cien años después. Editorial Científico-Técnica. La Habana, Cuba, p. 115.

Rodríguez, C.; Arredondo, I.; Martínez, L. 2007. Variedades de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para una agricultura de bajos insumos I. Estudio comparativo del rendimiento y otros caracteres de las variedades. Revista: Centro Agrícola, 34(1):57-61; CE: 57,06 CF: cag081071528 ISSN: 0253-5785

Rodríguez, J.; Gil, V.; Marrero, L. y Castro, A.; Mollineda, A.; Hoedtke, S.; Bindelle, J. y Lima, R. 2015. Morfología, rendimiento y contenido de minerales de nuevos

cultivares de sorgos cosechados en dos estados vegetativos del grano y en dos épocas del año. Centro Agrícola, 42(4):37-45.

Ruiz, D.; Gil, V. y Lima, R. 2012. El millo cebada en Villa Clara. MONOGRAFÍA IMPRESA, Editorial Académica Española, LAP LAMBERT Academic Publishing; ISBN: 978-3-659-06368-8.

Salinas, R. J.; MamadouBâ, K.; Bucio, H. A.; & Magaña, H. 2013. Estimación de la demanda hídrica del trigo y sorgo en el Estado de México mediante la recalibración de KT. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 22:72-76.

Salvador, H.; Hernández, M.; Ayala, J. E.; Guzmán, R. F.; Borja, C.A.; Alvarado, M.; Ruth, V. C. 2007. Guía Técnica del cultivo de Sorgo. San Andrés, La Libertad, El Salvador. CENTA, 6p.

Satorre, E. H.; Menéndez, F.; Tinghitella, G. y Cavasassi, J. L. 2005. Un sistema de apoyo a la fertilización nitrogenada de trigo. Convenio AACREA y PROFERTIL S.A. Software de aplicación agronómico.

Saucedo, O. 2006. El cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Correo electrónico: saucedo@uclv.edu.cu

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

Soto, F. y Hernández, N. 2012. Influencia de tres fechas de siembra en el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivadas en condiciones tropicales. Parte II. Cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) var. ISIAP Dorado. Cultivos Tropicales, 33(2):50-55. ISSN 1819-4087

Soto, F. y Hernández, N. 2012. Influencia de tres fechas de siembra en el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivadas en condiciones tropicales. Parte II. Cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench var. ISIAP Dorado). Cultivos Tropicales, 33(2):50-55.

Soto, F.; Plana, R. y Hernández, N 2009. Influencia de la temperatura en la duración de las fases fenológicas del trigo harinero (*Titicum aestivum* ssp. *ativum*) y triticale (*x Titicum secale Wttmack*) y su relación con el rendimiento. Cultivos Tropicales, 30(3):32-36.

Tropicos.org. Missouri Botanical Garden. 2017. http://www.tropicos.org/Name/25513454

Velásquez-Vélez, M.I. 2010. Reproductive Isolation Between Two Populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae) Collected in Corn and Rice Fields from Central Colombia. Annals of the Entomological Society of America, 104(4): 826-833.

Walkley, A.; Black, I. A. 1947. Determination of organic matter in the soil by chromic acid digestion. Soil Science 63: 251-264

Xiao, G.; Zhang, Q.; Yao, Y.; Yang, S.; Wang, R.; Xiong, Y. y Sun, Z. 2007.Effects of temperature increase on use and crop yields in a pea-spring wheat-potato rotation. Agricultural Water Management, 91:86-91.

Zeledón, H., Hernández, M., Ayala., Guzmán, R., Borja, A., Alvarado, M., y Calderón, V. 2012. Guía Técnica del sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, pp. 1-40.

Anexos

8. Anexos

Anexo 1. Dinámica de los estados fenológicos de los tres cultivares; en la siembra realizada el 11 de junio de 2016.

Cultivar: MC10-002.		**% de plantas por estados fenológicos**								
Fechas	**dds**	**CV**	**PE**	**IAP**	**PA**	**EP**	**GA**	**GP**	**MF**	**MC**
29/07/2016	48	100								
05/08/2016	55	91.6	8.4							
12/08/2016	62	22.0	56.8	16.0	5.2					
19/08/2016	69		20.0	28.2	34.9	16.9				
26/08/2016	76		1.0	3.0	5.0	91.0				
02/09/2016	83		0.5	0.8	1.5	13.4	83.8			
09/09/2016	90					4.0	57.0	39.0		
16/09/2016	97						20.0	64.0	16.0	
23/09/2016	104							19.2	43.2	37.6
30/09/2016	111								25.0	75.0
03/10/2016	114									100
Cultivar: MC10-010.										
29/07/2016	48	100								
05/08/2016	55	93.1	6.9							
12/08/2016	62	17.1	60.9	18.0	4.0					
19/08/2016	69		10.1	36.1	37.9	15.9				
26/08/2016	76		2.0	2.5	6.0	89.5				
02/09/2016	83			0.5	1.5	10.0	86.3	1.7		
09/09/2016	90					2.2	61.2	35.8	0.8	
16/09/2016	97						25.6	63.7	10.7	
23/09/2016	104							17.0	61.3	21.7
30/09/2016	111								26.0	74.0
03/10/2016	114									100
Cultivar: MC10-014.										
29/07/2016	48	100								
05/08/2016	55	73.0	24.0	3.0						
12/08/2016	62	3.4	50.0	33.1	13.5					
19/08/2016	69		5.4	22.3	37.3	35.0				
26/08/2016	76		1.5	2.0	2.9	93.6				
02/09/2016	83				1.0	7.0	92.0			
09/09/2016	90					3.1	58.0	38.9		
16/09/2016	97						24.8	49.0	26.2	
23/09/2016	104							23.0	51.9	25.1
30/09/2016	111								10.0	90.0
03/10/2016	114									100

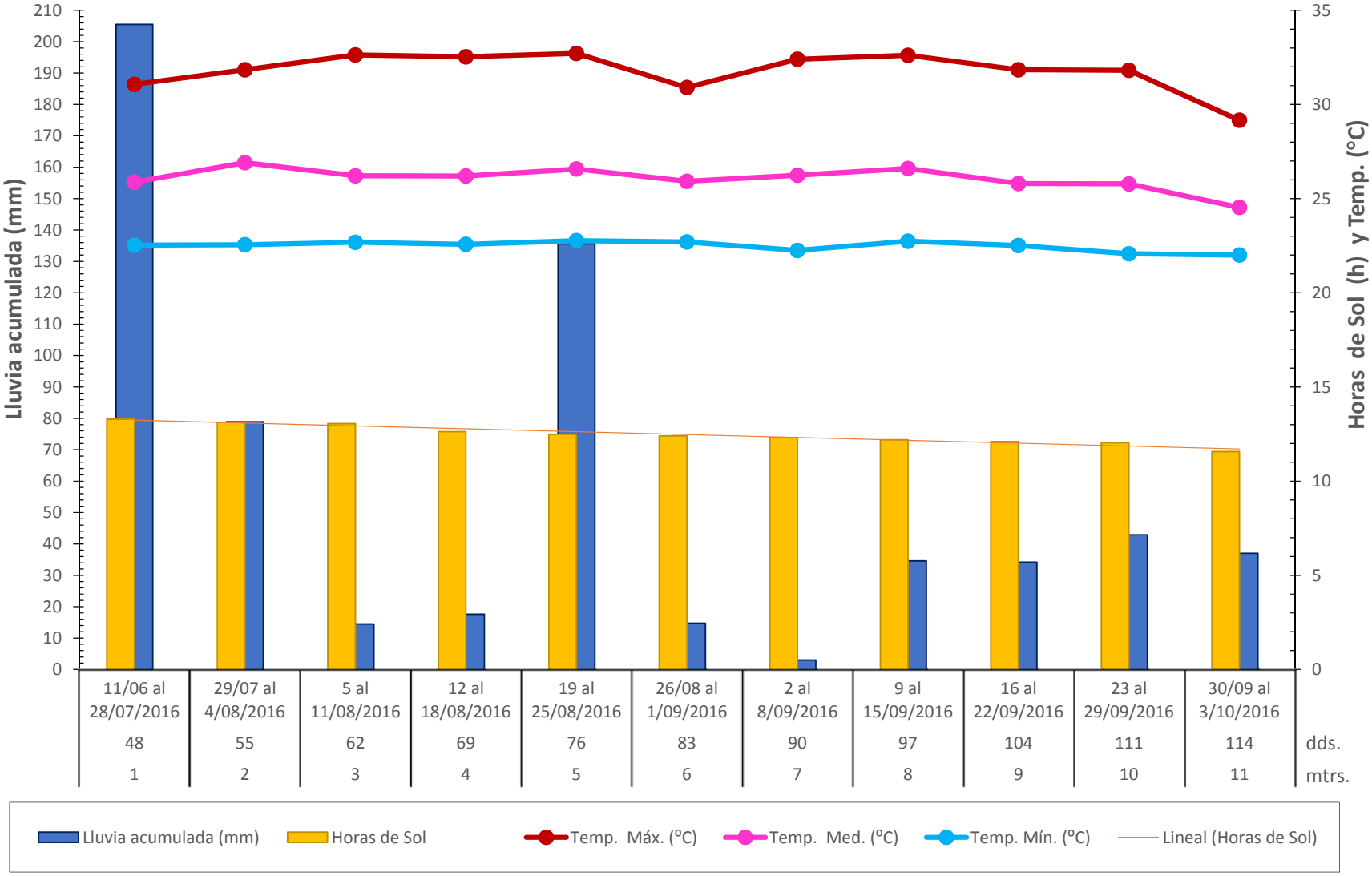
Leyenda:
dds- días después de la siembra. **CV**- Crecimiento Vegetativo. **PE**- Panícula Embuchada.
IAP- Inicio de apertura de la panícula. **PA**-Panícula Abierta. **EP**-Emisión de Polen. GA-Grano Acuoso. **GP**-Grano Pastoso. **MF**-Madurez Fisiológica. **MC**-Madurez de Cosecha.

Anexo 2. Dinámica de los estados fenológicos de los tres cultivares; en la siembra del 13 de diciembre de 2016.

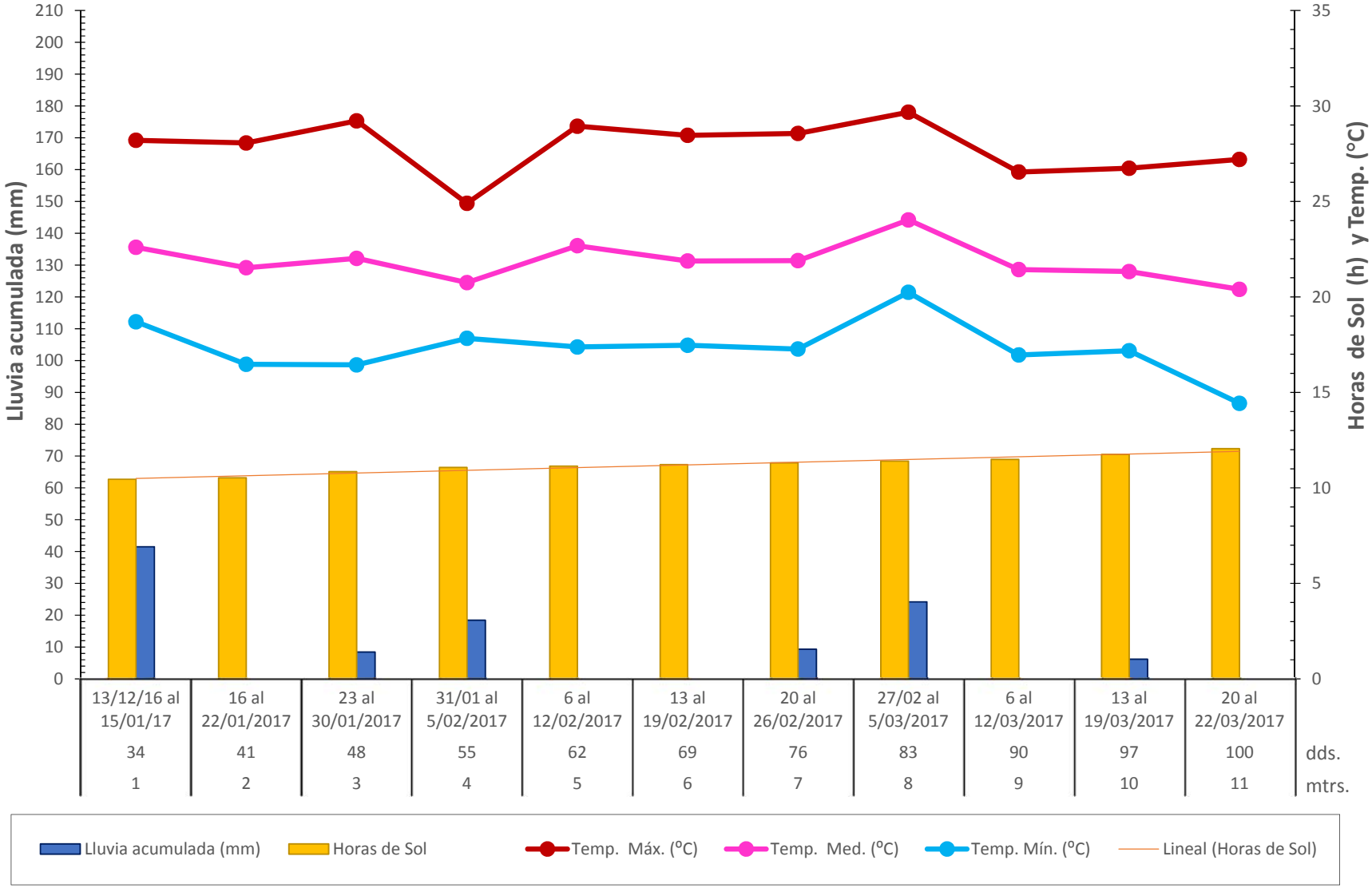
Cultivar: MC10-002.		**% de plantas por estados fenológicos**								
Fechas	**dds**	**CV**	**PE**	**IAP**	**PA**	**EP**	**GA**	**GP**	**MF**	**MC**
16/01/2017	34	100								
23/01/2017	41	90.9	9.1							
30/01/2017	48	21.5	57.2	15.4	5.9					
06/02/2017	55		22.3	27.2	33.5	17.1				
13/02/2017	62		0.8	4.6	2.8	91.9				
20/02/2017	69		0.3	0.2	1.5	13.7	84.4			
27/02/2017	76					3.4	58.2	38.4		
06/03/2017	83						22.0	62.4	15.6	
13/03/2017	90							20.3	41.1	38.5
20/03/2017	97								23.7	76.3
23/03/2017	100									100
Cultivar: MC10-010.										
16/01/2017	34	100								
23/01/2017	41	92.1	7.9							
30/01/2017	48	16.9	61.7	17.8	3.6					
06/02/2017	55		10.2	36.4	37.2	16.1				
13/02/2017	62		2.0	2.3	5.0	90.7				
20/02/2017	69			0.3	0.5	9.8	88.2	1.2		
27/02/2017	76					3.1	60.0	36.7	0.2	
06/03/2017	83						26.8	62.8	10.4	
13/03/2017	90							18.6	60.0	21.4
20/03/2017	97								26.0	74.0
23/03/2017	100									100
Cultivar: MC10-014.										
16/01/2017	34	100								
23/01/2017	41	77.8	22.0	0.2						
30/01/2017	48	2.4	50.1	34.2	13.3					
06/02/2017	55		5.0	22.3	37.0	35.7				
13/02/2017	62		1.1	2.4	2.6	93.9				
20/02/2017	69				0.2	7.7	92.1			
27/02/2017	76					2.9	57.6	39.5		
06/03/2017	83						25.1	48.3	26.6	
13/03/2017	90							23.5	51.4	25.2
20/03/2017	97								11.0	89.0
23/03/2017	100									100

Leyenda:
dds- días después de la siembra. **CV**- Crecimiento Vegetativo. **PE**- Panícula Embuchada.
IAP- Inicio de apertura de la panícula. **PA**-Panícula Abierta. **EP**-Emisión de Polen. GA-Grano Acuoso. **GP**-Grano Pastoso. **MF**-Madurez Fisiológica. **MC**-Madurez de Cosecha.

Anexo 3. Sinopsis de las variables climáticas; durante el ciclo de los cultivos en la siembra del 11 de junio de 2016.



Anexo 4. Sinopsis de las variables climáticas; durante el ciclo de los cultivos en la siembra del 13 de diciembre de 2016.



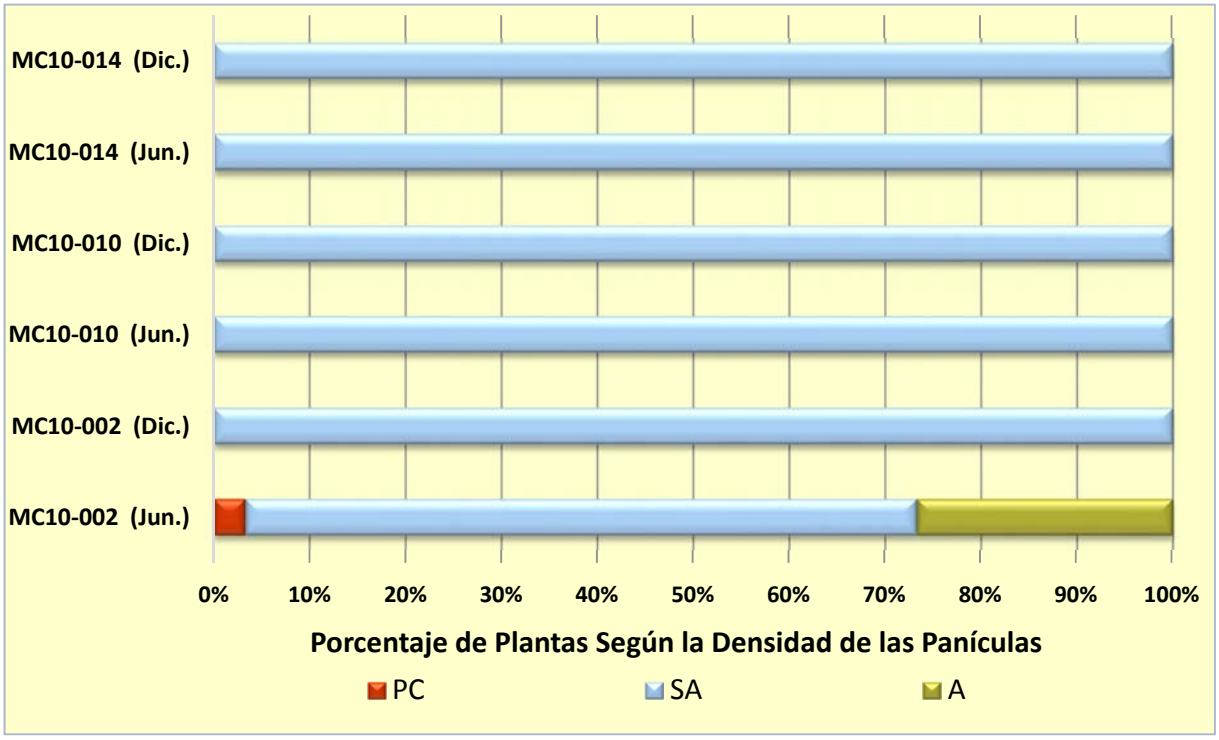
Anexo 5. Valores promedios de las variables meteorológicas durante el ciclo del cultivo, en la siembra realizada el 11 de junio de 2016.

Muestreos	Días Posteriores a la Siembra	Período Anterior al Muestreo	Promedios (Período Anterior)					
			Temp. Máx. (°C)	Temp. Med. (°C)	Temp. Mín. (°C)	Humedad Relativa Media (%)	Lluvia acumulada (mm)	Horas de Sol (h)
1	48	11/06 al 28/07/2016	31,1	25,9	22,5	83,2	205,5	13,29
2	55	29/07 al 4/08/2016	31,8	26,9	22,6	80,4	78,9	13,12
3	62	5 al 11/08/2016	32,6	26,2	22,7	84,3	14,5	13,05
4	69	12 al 18/08/2016	32,5	26,2	22,6	89,0	17,6	12,63
5	76	19 al 25/08/2016	32,7	26,6	22,8	83,0	135,6	12,49
6	83	26/08 al 1/09/2016	30,9	25,9	22,7	85,4	14,7	12,40
7	90	2 al 8/09/2016	32,4	26,2	22,3	81,6	3,0	12,31
8	97	9 al 15/09/2016	32,6	26,6	22,7	79,4	34,6	12,20
9	104	16 al 22/09/2016	31,8	25,8	22,5	86,3	34,2	12,10
10	111	23 al 29/09/2016	31,8	25,8	22,1	85,1	42,9	12,04
11	114	30/09 al 3/10/2016	29,2	24,5	22,0	87,7	37,0	11,57
Acumulado	---	---	---	---	---	---	618,5	----

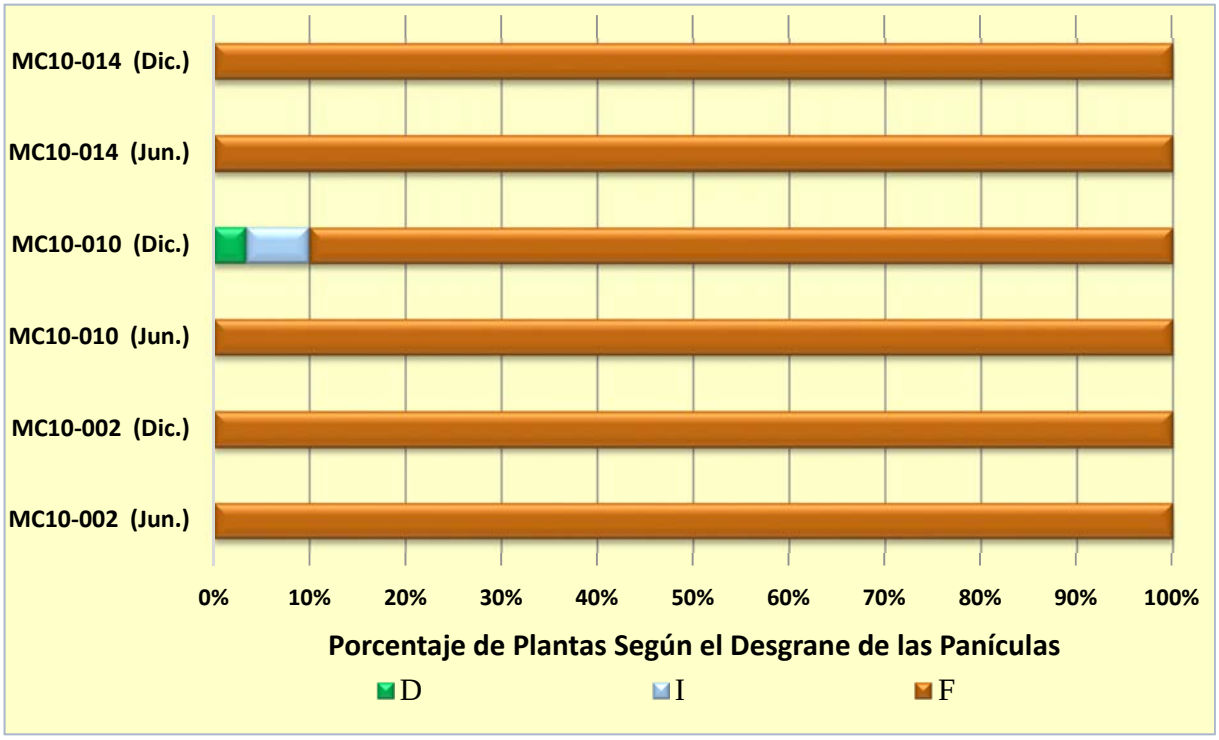
Anexo 6. Valores promedios de las variables meteorológicas durante el ciclo del cultivo, en la siembra realizada el 13 de diciembre de 2016.

Muestreos	Días Posteriores a la Siembra	Período Anterior al Muestreo	Promedios (Período Anterior)					
			Temp. Máx. (°C)	Temp. Med. (°C)	Temp. Mín. (°C)	Humedad Relativa Media (%)	Lluvia acumulada (mm)	Horas de Sol (h)
1	34	13/12/16 al 15/01/17	28,2	22,6	18,7	81,1	41,5	10,45
2	41	16 al 22/01/2017	28,1	21,5	16,5	77,3	0,0	10,53
3	48	23 al 30/01/2017	29,2	22,1	16,4	73,6	8,4	10,85
4	55	31/01 al 5/02/2017	24,9	20,8	17,8	84,3	18,4	11,07
5	62	6 al 12/02/2017	28,9	22,7	17,4	80,4	0,0	11,14
6	69	13 al 19/02/2017	28,5	21,9	17,5	79,0	0,0	11,22
7	76	20 al 26/02/2017	28,6	21,9	17,3	77,9	9,3	11,31
8	83	27/02 al 5/03/2017	29,7	24,1	20,2	81,6	24,2	11,40
9	90	6 al 12/03/2017	26,5	21,4	16,9	80,0	0,0	11,49
10	97	13 al 19/03/2017	26,7	21,3	17,2	75,7	6,2	11,75
11	100	20 al 22/03/2017	27,2	20,4	14,4	75,0	0,0	12,05
Acumulado	----	---	---	---	---	---	108,00	---

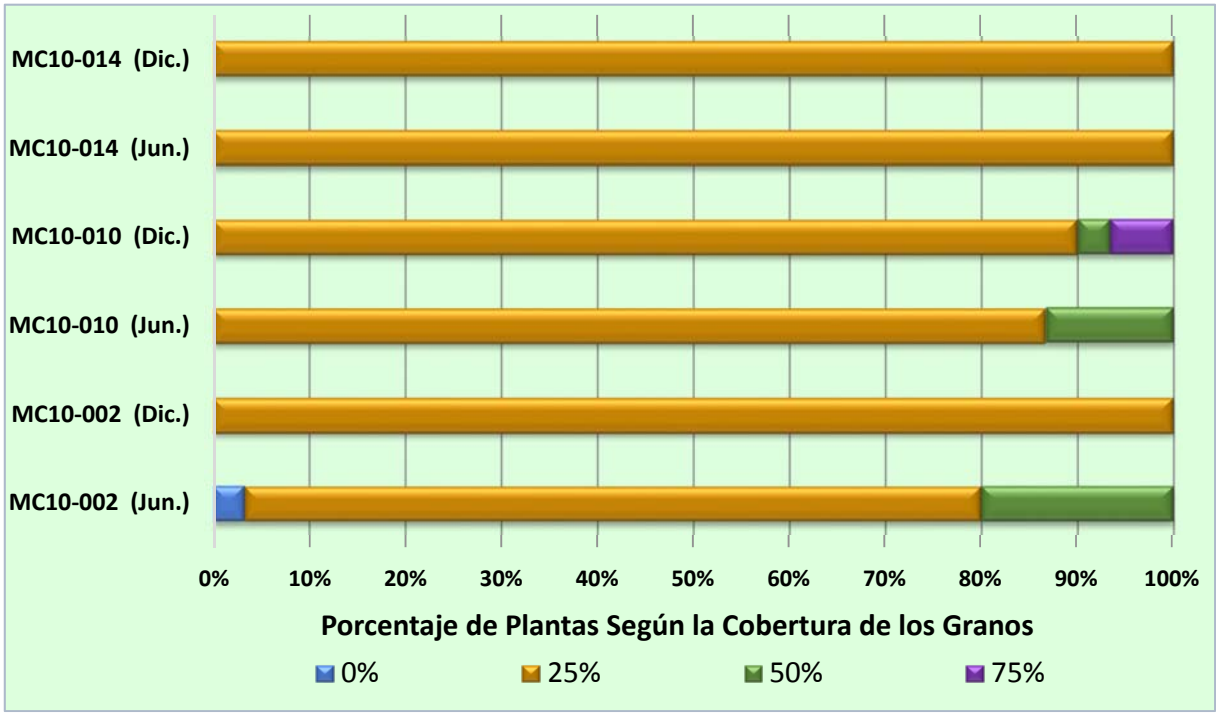
Anexo 7. Densidad predominante de las panículas de los tres cultivares, en las siembras de junio y diciembre.



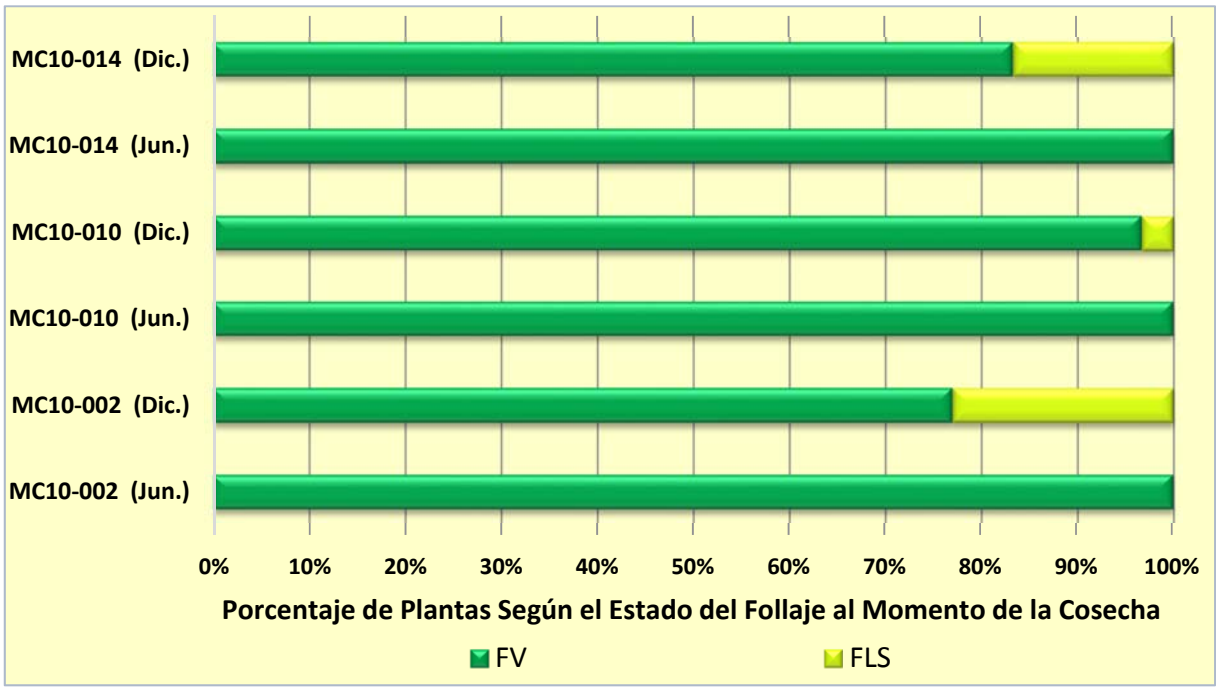
Anexo 8. Desgrane predominante de las panículas de los tres cultivares, en las siembras de junio y diciembre.



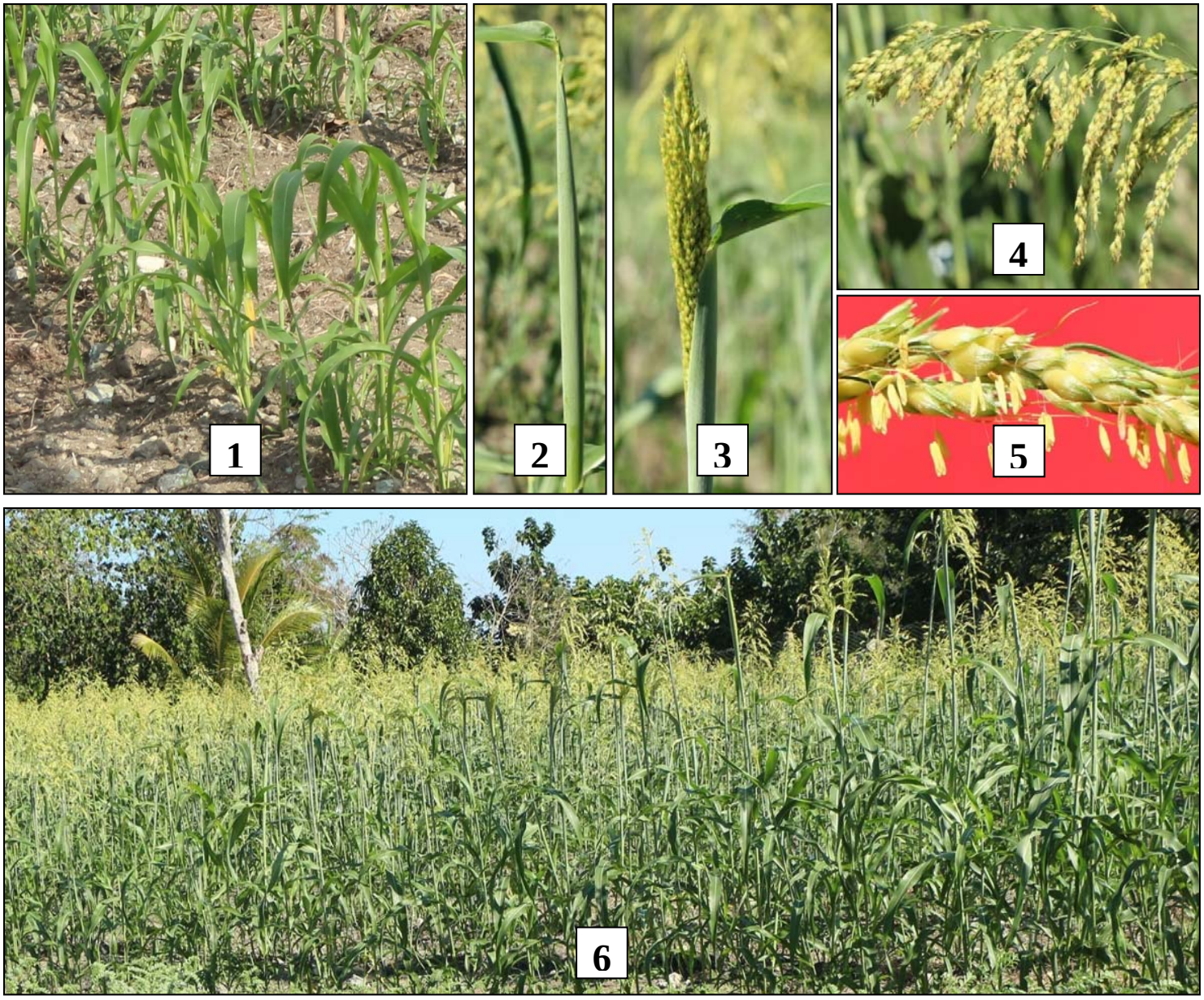
Anexo 9. Cobertura predominante de los granos por las glumas en los tres cultivares, en las siembras de junio y diciembre.

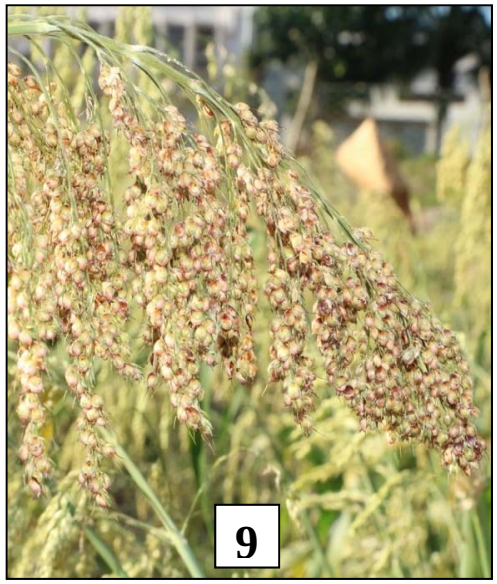


Anexo 10. Estado del follaje al momento de la cosecha en los tres cultivares, en las siembras de junio y diciembre.



Anexo 11. Galería de imágenes representativa de los principales estados fenológicos *(ver la leyenda)*.





NOTA: Las imágenes fueron tomadas en la plantación correspondiente a la siembra realizada el 13 diciembre de 2016.

Leyenda:

1- Crecimiento Vegetativo (CV).

2- Panícula Embuchada (PE).

3- Inicio de Apertura de las Panículas (IAP).

4- Panícula Abierta (PA).

5 y 6- Emisión de Polen (EP).

7- Grano Acuoso (GA).

8- Grano Pastoso (GP).

9- Madurez Fisiológica (MF).

10, 11 y 12- Madurez de Cosecha (MC).