

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Respuesta de la Calidad Física y Fisiológica de Semillas de Sorgo Producidas a
Través de la Aplicación de Colchicina

Por:

JUAN JESÚS VÁZQUEZ RICARDO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Respuesta de la Calidad Física y Fisiológica de Semillas de Sorgo Producidas a
Través de la Aplicación de Colchicina

Por:

JUAN JESÚS VÁZQUEZ RICARDO

TESIS

Presenta como requisito parcial para obtener el título de:

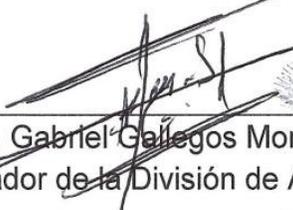
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría


M.P. María Alejandra Torres Tapia
Asesor Principal


Dr. Víctor Manuel Zamora Villa
Coasesor


M.C. Modesto Colín Rico
Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía
División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Mayo 2017

Contenido

| | |
|--|------|
| Índice de Cuadros | VI |
| Índice de Figuras | VII |
| Dedicatoria | X |
| Agradecimiento | XI |
| Resumen | XIII |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| Objetivo general | 3 |
| Objetivo específico | 3 |
| Hipótesis..... | 3 |
| REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| Origen..... | 4 |
| Importancia del cultivo..... | 5 |
| Mejoramiento genético del cultivo | 7 |
| Métodos de mejoramiento genético en el cultivo..... | 7 |
| Hibridación | 7 |
| Irradiación..... | 8 |
| Poliploidía..... | 8 |
| Ventajas de la duplicación cromosómica..... | 9 |
| Trabajos realizados con el uso de duplicación cromosómica..... | 9 |
| Calidad de la Semilla..... | 11 |
| Calidad Física..... | 11 |
| Rendimiento | 12 |
| Contenido de Humedad..... | 12 |
| Peso Volumétrico | 13 |
| Peso de Mil Semillas | 13 |
| Calidad Fisiológica | 14 |
| Conductividad Eléctrica | 14 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 16 |

| | |
|--|-----------|
| Ubicación del Experimento..... | 16 |
| Material genético | 16 |
| Tratamientos | 17 |
| Metodología..... | 18 |
| Etapa de aplicación de tratamientos | 18 |
| Etapa de siembra en el invernadero..... | 18 |
| Riegos | 18 |
| Fertilización | 19 |
| Aplicaciones agroquímicas..... | 19 |
| Etapa de cosecha y evaluación de semilla producida | 19 |
| Variables evaluadas | 20 |
| Peso de Semilla (Rendimiento) | 20 |
| Contenido de Humedad..... | 20 |
| Peso Volumétrico (PV) | 21 |
| Peso de Mil Semillas (PMS) | 22 |
| Conductividad Eléctrica (CE)..... | 22 |
| Capacidad de Germinación (CG) | 23 |
| Plántulas Normales (PN) | 23 |
| Plántulas Anormales (PA) | 23 |
| Semillas Sin Germinar (SSG)..... | 24 |
| Pruebas de Vigor..... | 24 |
| Longitud Media de Plúmula (LMP) | 24 |
| Longitud Media de Radícula (LMR) | 24 |
| Tasa de Crecimiento de Plántula (Peso Seco, PS) | 24 |
| Diseño Experimental | 24 |
| Análisis Estadístico | 25 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 27 |
| Calidad Física..... | 27 |
| Rendimiento | 27 |
| Peso Volumétrico (PV) | 30 |

| | |
|---|----|
| Contenido de Humedad..... | 32 |
| Peso de Mil Semillas (PMS) | 37 |
| Conductividad Eléctrica (CE)..... | 42 |
| Capacidad de Germinación | 47 |
| Comparación de Medias en Capacidad de Germinación | 48 |
| Interacciones de tratamientos en la Capacidad de Germinación | 51 |
| Calidad Fisiológica de Vigor | 56 |
| Longitud Media de Plúmula (LMP) | 56 |
| Longitud Media de Radícula (LMR) | 57 |
| Prueba de Comparación de Medias en Vigor a través de LMP y LMR..... | 58 |
| Interacciones del Vigor a través de LMP y LMR..... | 59 |
| Tasa de crecimiento de plántula (Peso Seco, PS) | 65 |
| Correlación de las variables evaluadas en el estudio..... | 71 |
| CONCLUSIONES | 72 |
| Recomendaciones..... | 73 |
| LITERATURA CITADA | 74 |

Índice de Cuadros

| | |
|--|----|
| Cuadro 3.1 Tratamientos aplicados a semilla de sorgo <i>Sorghum bicolor</i> L. Moench con colchicina..... | 17 |
| Cuadro 4.1 Cuadrados Medios y Comparación de Medias (DMS) en la Calidad Física del Contenido de Humedad de semilla de tres variedades de Sorgo producidas de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina. | 33 |
| Cuadro 4.2 Cuadrados Medios y Comparación de Medias (DMS) de la Calidad Física del Peso de Mil Semillas de tres variedades de Sorgo producidas de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina..... | 48 |
| Cuadro 4.3 Cuadrados Medios y Comparación de Medias (DMS) en Pruebas de Conductividad Eléctrica de semilla de tres variedades de Sorgo producidas de diferentes concentraciones y tiempo de exposición en colchicina..... | 43 |
| Cuadro 4.4 Cuadrados Medios de Capacidad de Germinación en semilla producida al aplicar diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina..... | 48 |
| Cuadro 4.5 Comparación de Medias (DMS) en Prueba Fisiológica Capacidad de Germinación..... | 49 |
| Cuadro 4.6 Cuadrados Medios y Comparación de Medias (DMS) en Pruebas Fisiológicas de Vigor (LMP Y LMR) de semillas de variedades de sorgo producidas bajo aplicaciones de colchicina en diferentes concentraciones y tiempos de exposición..... | 57 |
| Cuadro 4.7 Cuadrados Medios y Comparación de Medias (DMS) en Pruebas Fisiológicas de Tasa de Crecimiento de plántulas (Peso Seco) en semillas de sorgo producidas bajo aplicaciones de colchicina en diferentes concentraciones y tiempos de exposición..... | 66 |
| Cuadro 4.8 Coeficiente de Correlación entre las variables de estudio..... | 71 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 Crecimiento de la producción mundial de Sorgo en 21 años (FAOSTAT, 2015)..... | 6 |
| Figura 2.2 Crecimiento de la producción en México del cultivo del Sorgo en 21 años (FAOSTAT, 2015)..... | 6 |
| Figura 3.1 Vista aérea de la ubicación del invernadero número 3 y del laboratorio del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro..... | 16 |
| Figura 3.2 Determinador de Humedad BURROWS MODEL DMC 500..... | 21 |
| Figura 3.3 Determinador de Conductividad Eléctrica “ETTLER TOLEDO” | 22 |
| Figura 4.1 Rendimiento general de tres variedades de Sorgo de semilla generada de diferentes concentraciones en colchicina..... | 27 |
| Figura 4.2 Rendimiento general tres variedades de Sorgo de semilla generada de diferentes tiempos de exposición en colchicina..... | 28 |
| Figura 4.3 Rendimiento general de tres variedades de Sorgo de semilla generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina..... | 29 |
| Figura 4.4 Peso Volumétrico de tres variedades de Sorgo de semilla generada de diferentes concentraciones en colchicina..... | 30 |
| Figura 4.5 Peso Volumétrico de tres variedades de Sorgo de semilla generada de diferentes tiempos de exposición en colchicina..... | 31 |
| Figura 4.6 Peso Volumétrico de tres variedades de Sorgo de semilla generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina..... | 32 |
| Figura 4.7 Contenido de Humedad de tres variedades de Sorgo de semilla generada de diferentes concentraciones en colchicina..... | 35 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.8 Contenido de Humedad de tres variedades de Sorgo de semilla generadas de diferentes tiempos de exposición en colchicina..... | 35 |
| Figura 4.9 Contenido de Humedad de tres variedades de Sorgo de semilla generadas de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina..... | 37 |
| Figura 4.10 Peso de Mil Semillas de tres variedades de Sorgo de semillas generadas de diferentes concentraciones en colchicina..... | 39 |
| Figura 4.11 Peso de Mil Semillas de tres variedades de Sorgo de semilla generada de diferentes tiempos de exposición en colchicina..... | 40 |
| Figura 4.12 Peso de Mil Semillas de tres variedades de sorgo de semilla generada de diferentes concentraciones y tiempos de exposición de colchicina..... | 41 |
| Figura 4.13 Conductividad Eléctrica de tres variedades de Sorgo de semilla generada de diferentes concentraciones en colchicina..... | 44 |
| Figura 4.14 Conductividad Eléctrica de tres variedades de Sorgo de semilla generada de diferentes tiempos de exposición en colchicina..... | 44 |
| Figura 4.15 Conductividad Eléctrica de tres variedades de Sorgo de semilla generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina | 47 |
| Figura 4.16 Respuesta de la Capacidad de Germinación de tres variedades de Sorgo de semilla generada de la interacción de diferentes concentraciones en colchicina..... | 51 |
| Figura 4.17 Respuesta de la Capacidad de Germinación de la variedad Miel de semilla generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina..... | 53 |
| Figura 4.18 Respuesta de Capacidad de Germinación de la variedad Sudan de semilla generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina..... | 54 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.19 Respuesta de Capacidad de Germinación de la variedad Master de semilla generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina..... | 56 |
| Figura 4.20 Longitud Media de Plúmula y Radícula de semilla de tres variedades de Sorgo generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina..... | 60 |
| Figura 4.21 Longitud Media de Plúmula y Radícula de semilla de la variedad Miel generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina..... | 62 |
| Figura 4.22 Longitud Media de Plúmula y Radícula de semilla de la variedad Sudan generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina..... | 63 |
| Figura 4.23 Longitud Media de Plúmula y Radícula de semilla de la variedad Master generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina..... | 65 |
| Figura 4.24 Peso Seco de tres variedades de Sorgo generados de diferentes concentraciones en colchicina..... | 68 |
| Figura 4.25 Peso Seco de tres variedades de Sorgo generados de diferentes tiempos de exposición en colchicina..... | 69 |
| Figura 4.26 Peso Seco de tres variedades de Sorgo generados de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina..... | 69 |

Dedicatoria

A mi familia

A mí madre: Sra. Irene Ricardo Ramos, por haberme dado el mejor regalo del mundo que es la vida, por estar conmigo en los buenos y malos momentos de mi vida, por brindarme el apoyo incondicional, por confiar siempre en mí, por ese amor incomparable, gracias a tí soy el hombre que soy, con principios y valores. Por todo esto y muchas cosas más, gracias madre, ¡Te amo!.

A mí padre: Sr. Juan Vázquez Contreras, papá, mil gracias por ser mi mejor amigo, por el gran apoyo, trabajando de sol a sol los 366 días del año las 25 horas del día, siempre con la fiel convicción y amor de sacar a tu familia adelante, esa personalidad tan sencilla y apreciada por los que te rodean, no por nada todos te llaman Don Juan, por muchas razones más, gracias padre. ¡Te adoro!

A mis hermanos: Magdalena, Jonathan del Rosario, Isabel Guadalupe y Paola Vázquez Ricardo, por el gran amor que nos une, por todo el apoyo y cariño que siempre me han brindado, gracias por estar siempre a mi lado.

A mi sobrino Diego Ramírez Vázquez, sé que es un gran motivo para mantenernos unidos como hasta el día de hoy lo hemos hecho.

A mis abuelos Bardomiano Vázquez Romero, Josefina Contreras Benítez y J Guadalupe Ricardo
Por haberme permitido pasar grandes momentos en mi infancia a su lado

Tía Eva Vázquez, tío Chuy y Guadalupe Ricardo Ramos, conjuntamente, cuando algo me faltó y falta, nunca me quedaron mal, por el contrario, siempre me dieron su apoyo y cariño. Gracias por todo.

Gracias por ayudarme a salir adelante desde ese 28 de Diciembre del 2011.

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios padre por permitirme vivir y darme esa fortaleza y capacidad para poder llevar a cabo una meta más en mi vida, gracias por tantas bendiciones, sé que donde quiera que estuve, estoy u estaré, estarás conmigo.

A la M.P. María Alejandra Torres Tapia, por permitirme trabajar en este trabajo, por ser mi tutora, maestra y asesora, por sus consejos, regaños, por compartir conmigo su sabiduría, pero sobre todo, por esa paciencia y apoyo incondicional que me tuvo durante mi estancia en esta universidad. Dios quiera y sean más días que me tenga que aguantar

Martitha, por su amistad, por esos regaños, enseñanza y paciencia del día con día, por el tiempo que le dedicó a este trabajo. Por todo, gracias 😊

Dr. Victor Zamora Villa, por su valiosa participación, opinión y orientación para la presente investigación.

M.C. Modesto Colín Rico por su amistad y valiosa cooperación en la revisión y terminación de esta investigación.

A la UAAAN, mil gracias por haberme dado tantas facilidades, por la oportunidad de estudiar entre tus aulas, por darme las herramientas necesarias para poner en alto mi "Alma Terra Mater".

A Mi segunda familia:

Como olvidar a mi segunda familia, gracias por esos grandes momentos, gracias Paola Sosa (Bibi) siempre tuviste y tienes un consejo, por el tiempo que tienes para nosotros, gracias por todos esos ánimos. Oscar Alan Piña (Piña), el más serio, pero siempre el más responsable, siempre fuiste el más inteligente del grupo. José Luis Roque (Compadre) que le puedo decir, el más risueño, el alma del grupo, por tantos momentos 😊

De todos ustedes aprendí demasiado, espero sigamos frecuentándonos y seguir siendo una gran familia, gracias por esa amistad tan pura y sincera.

“Se puede tener una vida pudiente siendo sencillo, trabajar honradamente, no olvidar de donde venemos. Pero sobre todo a donde vamos”

(Aniceto Piña, 2015)

Para mi segunda familia, para ser exactos desde la Secundaria Técnica #38, posteriormente UDG, Caray como olvidar a mis amigos de mi infancia, Ignacio Reyes Bejarano (Nachito), Rodolfo Benítez (Rodo), Francisco Aguilar (Chivis) y Gerardo Reyes (Gerry), cada uno tiene una historia maravillosa de superación y fortaleza.

“Cada quien tiene su historia, cada quien sabe de la vida, todos tenemos una meta, no voltear pa atrás ni pa” agarrar aire, siempre pa” delante, con la fiel convicción que el de arriba sabe que todo se hará para bien”

Por último:

“Orgullosamente hecho en UDG y formado en la UAAAN”

(Solano ,2015)

Resumen

El sorgo es considerado uno de los principales cereales de la dieta humana, principalmente de las poblaciones que padecen mayor inseguridad alimentaria, además de padecer ciertas limitaciones para producción, por esto, es de vital importancia crear variedades con capacidades adaptativas a diferentes ambientes, que produzcan para satisfacer las necesidades humanas; a través del tiempo han avanzado las técnicas del mejoramiento genético con la finalidad de generar materiales vegetales con ciertas características físicas y fisiológicas distintas a su fisiología original, tomando muy en cuenta el aumento en los rendimientos con bajo costo de producción; sin embargo, puede ser demorado y costoso. Una alternativa que pueda permitir crear esta variabilidad en las especies vegetales, es la duplicación cromosómica, se considera rápida y menos costosa el realizarlo mediante la aplicación de colchicina, pero el éxito del resultado, dependerá de factores diversos como: tipo de especie vegetal, temperatura, concentración y tiempo de exposición a la colchicina. Por tal motivo, el presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, evaluando tres variedades de sorgo (Master, Miel y Sudan), aplicando a las semillas tres concentraciones de colchicina 0.1, 0.01 y 0.05%, en tres tiempos de exposición de 2, 4 y 6 horas, así como un Testigo absoluto; la semilla una vez tratada se sembró en invernadero, dando el manejo agronómico adecuado, cosechando la semilla a los 120 días después de la siembra, se llevó a un secado natural y posteriormente se evaluó su calidad física y fisiológica, mediante las variables de: Contenido de Humedad (CH), Peso de Mil Semillas (PMS), Conductividad Eléctrica (CE), Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA), Semillas Sin Germinar (SSG), Longitud Media de Plúmula (LMP), Longitud Media de Radícula (LMR) y Peso Seco (PS); a través del análisis de varianza en los resultados, se encontró diferencias altamente significativas en las diferentes fuentes de variación y luego se realizó una prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) en las diferentes interacciones entre variedades, concentraciones y tiempos de exposición, destacando un mejoramiento en la semilla producida de la variedad Sudan, en la calidad fisiológica en la prueba

de germinación y vigor en una concentración de 0.1% de colchicina, con 2 horas de exposición.

Palabras clave:

Colchicina, Calidad Física y Fisiológica de semilla, Sorgo.

INTRODUCCIÓN

El sorgo es uno de los alimentos básicos para gran parte de poblaciones en el mundo, en especial las regiones de más pobres y de mayor inseguridad alimentaria; su centro de origen y domesticación está en el continente Africano, es el quinto cereal de mayor importancia a nivel mundial después del Trigo, Arroz, Maíz y Avena (Pacheco, 1998).

Este cultivo se adapta bien a un entorno agroecológico cálido y seco, lugares que sufren frecuentes sequías y resulta difícil cultivar otros cereales. Los principales sitios de producción se encuentran en las regiones áridas y semiáridas hasta trópicos y sub trópicos (Pérez *et al.* 2010).

En México, es el segundo grano en importancia después del maíz por constituir el 50% de la materia prima en la formulación de alimentos balanceados destinados a la producción pecuaria, Los principales estados productores a nivel nacional son Tamaulipas, Guanajuato, Sinaloa y Michoacán (FIRA, 2015).

La SAGARPA (2015) menciona que su producción fue de dos millones de hectáreas cosechadas, con una producción de 8'394,057 de toneladas.

La superficie cosechada del cultivo presenta una regularidad de crecimiento de ciclo a ciclo, debido a la rotación de cultivos en los terrenos de producción, al alumbramiento de nuevos pozos acuíferos y al trabajo del Mejoramiento Genético; este último permite generar materiales genéticos con ciertas características físicas y fisiológicas en las especies de importancia económica y social por adaptarse a condiciones adversas distantes a su fisiología original, los principales beneficios

derivados son: el aumento en el rendimiento, una calidad organoléptica superior, así mismo, se deriva en una disminución de costos en el sistema (De León, 2015).

En el mejoramiento genético existen diferentes metodologías que colaboran en la generación de nuevos materiales de forma rápida, estas técnicas pueden desarrollar, transformar y generar nuevas plantas a través de la recombinación de genes o inducción de especies vegetales de origen haploide a individuos poliploides, entre otros.

Los organismos poliploides se pueden generar de manera natural o inducida (artificial), la diferencia es el tiempo, ya que la primera es resultado de la evolución de las especies y la segunda es a través de duplicación cromosómica *in vitro* creada por agentes mutagénicos.

La forma clásica de inducción de poliploidía en especies vegetales es a través de la exposición a colchicina, la cual ocasiona un cambio en la dotación de número de cromosomas con juegos completos e incompletos. El paso de la inducción (poliploidía) depende de un gran número de variables como: medios de producción, agentes mutagénicos, tipos de explantes, tiempos de exposición y concentraciones (Dhoogh *et al.* 2010).

Las características típicas en especies poliploides son: vigor reducido, tamaño de planta reducido o aumentado, inhibición de la germinación, presencia de lixiviados, aumento en el tamaño y densidad de estomas, disminución en la viabilidad de polen, presencia de retardo en la maduración, variación en el rendimiento de forraje, las cuales pueden ser para algunos cultivos benéficos y para otros perjudiciales.

En la actualidad, la información sobre el efecto de colchicina en semillas de sorgo es muy limitada, siendo necesario para la normalización de un protocolo o metodología para su aplicación en la inducción de poliploidía y proporcionar una

manera segura de trabajar en él; además de contar con poca información de literatura que describa los impactos del tratamiento con colchicina en sorgo y poder explorar las posibilidades de inducción a una poliploidía segura. Por tal motivo, en el presente trabajo se planteó el siguiente objetivo.

Objetivo general

- Obtener información sobre la respuesta de la calidad de semilla en tres variedades de sorgo comercial aplicando colchicina para propósitos de mejoramiento genético.

Objetivo específico

- Evaluar la respuesta de rendimiento, calidad física y fisiológica de semilla producida de tres variedades de sorgo comercial aplicando diferentes concentraciones y tiempos de exposición de colchicina bajo condiciones de invernadero.

Hipótesis

- Al menos una de las variedades de sorgo estudiadas al ser tratadas con diferentes concentraciones y tiempos en solución de colchicina mostrará diferencias en las respuestas de la calidad física y fisiológica de la semilla producida.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen

El trabajo conjunto de Botánicos, Fitomejoradores, Arqueólogos y Geógrafos ha permitido identificar el posible camino evolutivo del cultivo del sorgo, seguido de la domesticación y su posible dinámica espacial (ICRISAT, 2016).

Su origen se priva de evidencia histórica que puede determinar con mayor certeza su centro de origen, el registro más antiguo conocido que se tiene proviene de una excavación arqueológica en Nabta Playa cerca de la frontera entre Egipto y Sudán hace 8000 años A.C, a la postre su hipótesis enmarca que se extendió por toda África conformando una amplia gama de entornos en su camino evolutivo, desde las tierras altas de Etiopía hasta la región semiárida del Sahel (National Sorghum Producers, 2016).

La India se muestra en su camino evolutivo debido al hallazgo de esculturas en ruinas asirias hace más de 700 años A.C, asimismo se adjunta Etiopia como denominados centros de origen debido a que aproximadamente el 50% de accesiones mundiales de sorgo resguardadas en los bancos de germoplasma provienen de estas regiones (Infoagro, 1997).

Importancia del cultivo

El sorgo es el quinto cereal de importancia mundial, por el volumen de producción y superficie cultivada. Dado que el 90 por ciento de su producción, fundamentalmente se caracteriza por cultivarse en zonas de escasez de precipitación pluvial y sequía constantes, que a su vez son inadecuadas para la producción de otros cereales. Por esto, Hernández *et al.* (2011), lo consideran el mejor cereal en términos de resistencia a la sequía y resalta que estas podrían ser las "plantas del futuro" por su uso eficiente del agua, considerando que cada vez más la escasez de agua disponible para irrigación, mayor cantidad de bióxido de carbono y asimilación eficiente de nutrientes.

Barberis y Sánchez (2013); citados por Casuso *et al.* (2016), resaltan un considerable aumento en los últimos años debido a sus múltiples usos. Recalcan que dependiendo de su genética puede ser utilizado para consumo humano, alimentación animal, así mismo posee insumo para la producción de papel, adhesivos, refinamiento de minerales, producción de bioetanol, en la panificación y elaboración de embutidos entre otros usos industriales.

Su crecimiento se ve enmarcado en el periodo comprendido entre 1987 y 2006 donde promedió una producción mundial anual de 60.5 millones de toneladas, el 69% de esa producción se concentró en orden de importancia donde Estados Unidos se muestra a la cabeza, seguido de la India, Nigeria, México y China, México participó con el 9.12% de la producción mundial 5.52 millones de toneladas (Cadenas, 2015).

La FAOSTAT (2015), contrasta la aceptación mundial del cultivo dado en un aumento del 3 % en el periodo de 2006-2014 mismo que se observa en la Figura 2.1 donde la producción fue de 67.87 millones de toneladas; así mismo, en la Figura 2.2 Se observa la participación de México con 8.39 millones de toneladas.

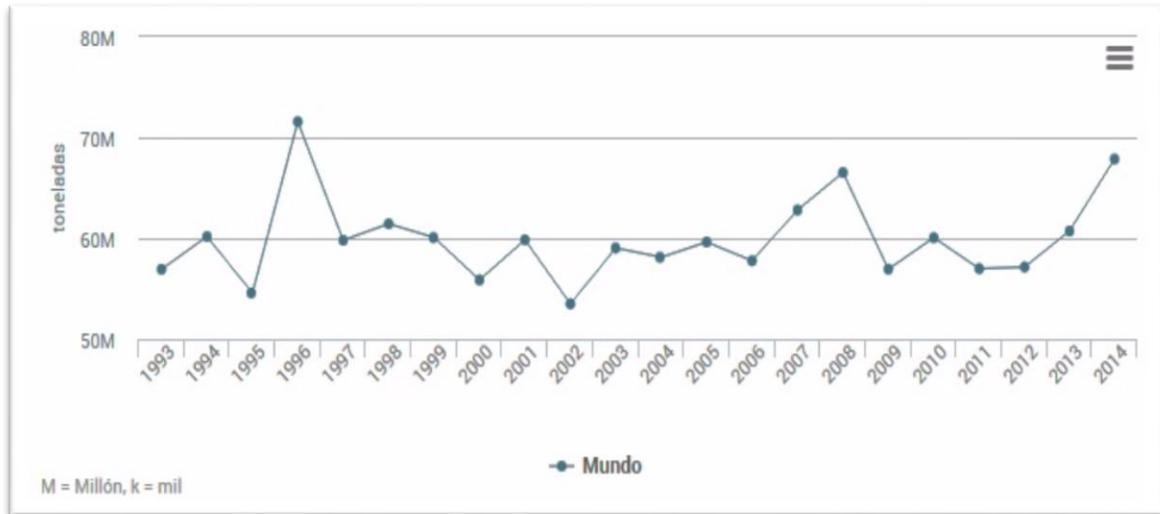


Figura 2.1 Crecimiento de la producción mundial de sorgo en 21 años (FAOSTAT, 2015)

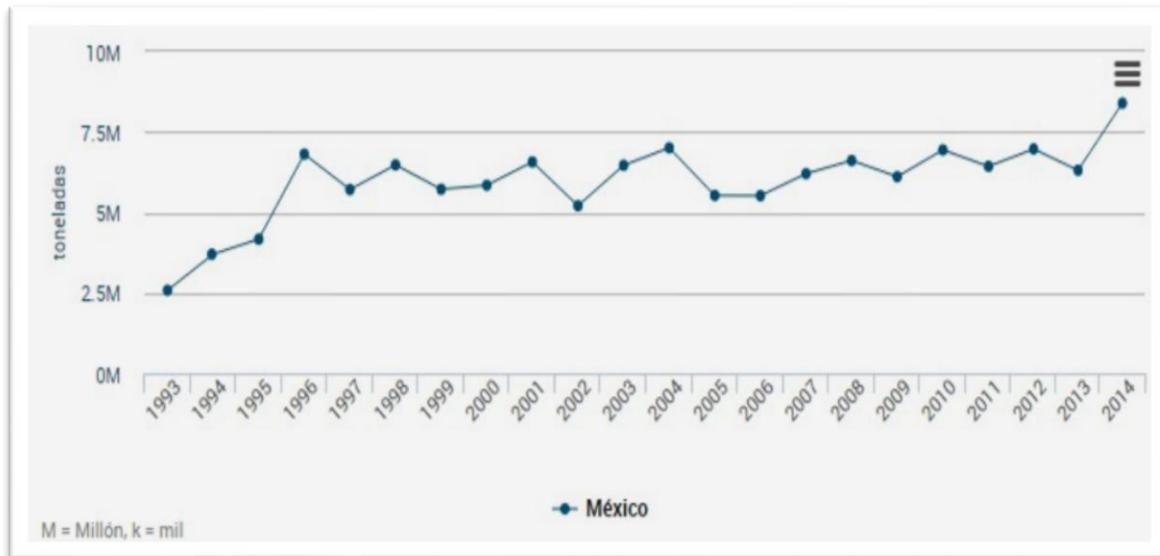


Figura 2.2 Crecimiento en la producción en México sobre el cultivo del sorgo en 21 años (FAOSTAT, 2015)

En México durante este mismo periodo el cultivo se destacó entre los 10 principales granos básicos de producción.

Se mantiene con un segundo y tercer lugar en superficie cosechada solo detrás del maíz y el frijol, a diferencia de estos cultivos su significancia está provista en su rentabilidad (Cadenas, 2015).

Mejoramiento genético del cultivo

El mejoramiento genético, en un sentido amplio, es reconocido como un arte y ciencia capaz de alterar o modificar la herencia de las plantas para la obtención de cultivares (variedades o híbridos) genéticamente mejorados, busca crear un patrimonio hereditario que esté de acuerdo con las condiciones, necesidades y recursos de los productores rurales, la industria y consumidores, a todos aquellos que producen, transforman y consumen productos vegetales, provean mayores rendimientos económicos y de mejor calidad.

El mejoramiento genético se fundamenta o refuerza en conjunto de disciplinas básicas tales como: genética, biología molecular, botánica, citología, biometría, fisiología, fitopatología, entomología, suelos, clima, nuevas biotecnologías y el conocimiento del medio socioeconómico.

Métodos de mejoramiento genético en el cultivo

Hibridación

El mejoramiento genético clásico del cultivo es a través de la hibridación para producir heterosis (cruza de dos líneas puras para obtener una descendencia superior al de sus progenies), este método se basa en la fusión de dos poblaciones distintas con un alto nivel de homocigosis, para lograr la heterosis se debe partir de líneas citoplasmáticas androestériles “A” y líneas isogénicas “B, donde ambas se hibridan para la multiplicación de semilla, posteriormente, se cosecha la línea “A” y a su vez es cruzada con líneas restauradoras de la fertilidad “R” para generar heterosis Cadena (2015).

Irradiación

Raramente el sorgo ha sido sometido al mejoramiento genético por irradiación. La reproducción por irradiación es esencialmente aprovechada solo cuando no se encuentran fuentes de variabilidad adicional en caracteres valiosos de plantas. Es por esto que la irradiación continúa siendo una herramienta valiosa que ayuda en la solución de las variedades con problemas citológicos y genéticos.

Poliploidía

Alcántar (2014), describe a la poliploidía como un estado biológico inducible caracterizado por la duplicación del número de genomas de un individuo, así mismo los trabajos realizados en el cultivo de sorgo han permitido lograr incrementar su variabilidad genética, el caso más conocido de poliploidía es *Sorghum bicolor*. Este tipo de mejoramiento puede ser aprovechado por los fitomejoradores debido al aumento del tamaño efectivo de la población, y facilita así el manejo de la selección artificial, además de que la redundancia genética le permite la divergencia adaptativa de genes duplicados. Existen dos formas de generar organismos poliploides, la primera, es de forma natural, este tipo de poliploidía ha permitido a la mayor cantidad de especies de la tierra adaptarse a ciertas condiciones, es tardada, pero es más efectiva. La otra es de forma artificial, *in vitro*, caracterizada por exponer a ciertos explantes de algún organismo en agentes mutagénicos, a diferencia de la natural, esta se caracteriza por ser más rápida.

Así mismo, el agente más comúnmente utilizado para generar poliploidía en especies vegetales es la colchicina, un alcaloide conocido por su función de inhibir la formación de fibras de huso y membranas celulares vegetales, evitando así la formación de células hijas tras la duplicación de cromosomas. La colchicina se ha utilizado con éxito en la inducción de plantas autotetraploides.

Es importante considerar que el factor más influyente del éxito en una duplicación cromosómica dependerá de las especies, explante, concentración de la solución duplicante, tiempo a exposición y temperatura del tratamiento Sun *et al.* 1994).

Ventajas de la duplicación cromosómica

Los genes duplicados pueden retener su función original o similar, lo cual se puede traducir en una diversificación de proteínas funcionales y regulatorias, algunas copias podrían ser silenciadas por agentes mutagénicos, estos cambios pueden contribuir a una variación de tipo morfológica y fisiológica que pueden conducir a un aislamiento reproductivo y la especiación (Kannan *et al.* 2013).

Alcántar (2014), menciona que algunas características generadas en plantas provenientes de una duplicación cromosómica son: mayor tamaño (vigor), resistencia a sequias, plagas. Así mismo, afirma que “constituye una fuerza evolutiva, que conjuntamente con la hibridación ha moldeado la aparición y distribución de cientos de especies vegetales”.

Trabajos realizados con el uso de duplicación cromosómica

Un estudio realizado por Kannan *et al.* (2013), en semillas de sorgo *Sorghum bicolor L.*, sometidas a imbibición en dos concentraciones de colchicina 0,1 y 0,2% a tiempos de exposición 16, 24, 48 y 72 horas, se evaluó la respuesta morfológica de la semilla producida, el estudio citogenético encontró plantas tetraploides, estas tenían características que las diferenciaban de las plantas testigo, se caracterizaron por un porcentaje de germinación reducido, plántulas con raíces alargadas y raíces secundarias, inflorescencias más pequeñas en longitud y reducida producción de semillas (rendimiento); cabe mencionar que no se tuvieron efectos significativos en los tratamientos de semilla a tiempo de 24 horas de exposición en concentraciones

de 0.1 y 0.2% de colchicina, sin embargo las concentraciones de 0.1 y 0.2% a 48 y 72 horas de exposición si presentaron un efecto de duplicación cromosómica. Concluyen que un aumento en la concentración y tiempo a exposición prolongado de colchicina aumentó la elongación de raíz debido a la influencia que tiene sobre el nivel de auxina endógena que potencia la formación de raíces.

También Sotoudeh *et al.* (2015), estudiaron *in vitro* brotes de *Sorghum bicolor* L, el efecto de diferentes concentraciones de colchicina a 0.25, 0.05, 0.1 y 0.2% con tiempos de exposición de 8, 24 y 48 horas; a través del recuento cromosómico demostraron que la concentración de colchicina 0.1% con 48 horas a exposición fue la que permitió obtener la cantidad máxima de plántulas tetraploides inducidas *in vitro*, las características fisiológicas y morfológicas por las que diferían a los testigos fueron: una disminución considerable en la supervivencia de explantes, estomas más grandes con menor densidad, contenido de clorofila mayor, niveles elevados de enzimas antioxidantes, proteína y carbohidratos solubles, demostrando que la cantidad mayor de colchicina y tiempo de exposición prolongado generarán una respuesta diferente en la especie.

En un experimento realizado por Sourour *et al.* (2014), en tres etapas diferentes de desarrollo en variedades de cebada, con dos concentraciones de colchicina 0.05 y 0.1%, con tres tiempos de exposición 2, 16 y 48 horas; la forma del tratamiento fue: en semilla (0.05% durante 48 horas), semillas pregerminadas (0.1% durante 2 horas) y estadio de tres hojas (0,1% durante 16 horas), solamente se obtuvieron niveles de poliploidía con 0.1% de colchicina durante 16 horas, las cuales presentaron características de reducción significativa en el porcentaje de germinación y viabilidad de plantas, provocó cambios morfológicos en disminución de altura.

Mena *et al.* (2007), sometieron en imbibición de colchicina a microestacas de *Glandularia spp*, a concentraciones de 0.01, 0.05 y 0.1% y tiempos de exposición 24, 72 y 120 horas. Lo más destacado del estudio fue que la sobrevivencia de los explantes disminuyó a niveles muy bajos o nulos cuando fue expuesta en altas concentraciones y tiempos de exposición prolongados.

Calidad de la Semilla

Andrew (1985), citado por Terán (2015), define la calidad en semilla como un término semejante a un grado de excelencia, que solamente puede ser asumido si se tiene estándares comparativos, estos parámetros se clasifican en términos: buena, mediana y pobre, dependiendo del criterio individual y estándares establecidos. Los factores genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios son atributos que conforman la calidad de la semilla (Raya *et al.* 2012).

Calidad Física

Por calidad física, el SNICS (2016) la define como un grado de pureza que existe en un lote de semillas, donde pueden estar presentes o ausentes especies de malezas, variedades y materia inerte, la calidad física involucra parámetros de: semilla quebrada, tamaño, rendimiento, peso volumétrico y peso de semillas. La medida de la pureza mide el porcentaje del peso que corresponde a la especie, con respecto al peso total de un lote en específico.

Esta información en un lote de semillas nos indica la proporción de cada componente a fin de poder estimar la cantidad de semilla que se debe adquirir para una siembra según el porcentaje de semilla pura.

Rendimiento

El rendimiento del sorgo es una variable que depende de diversos factores bióticos y abióticos, así pues, dependerá del control de ambos para reflejar una expresión cualitativa y cuantitativa aceptable del genotipo (Vázquez, 2017).

La SAGARPA en el 2008 reportó un promedio a nivel nacional del cultivo de 3.36 toneladas por hectárea, lo cual corresponde a 0.336 kg/m².

Milan (2008), citado por Kannan (2013), describe que una de las ventajas de la inducción a poliploidia en plantas, es que los cultivos pueden aumentar significativamente su tamaño y rendimiento de grano.

En contraparte Ramírez *et al.* (2013), encontraron que tomates de cascara poliploides fueron afectados en su viabilidad de polen, ocasionando pérdida de fertilidad y por consecuencia del rendimiento.

Contenido de Humedad

El contenido de humedad de las semillas es una de las características más importantes en la producción de semillas debido a la alta correlación que tiene con la madurez fisiológica, época de cosecha; longevidad, almacenamiento, gastos de secado, daños derivados del calor, heladas, fumigación, insectos, patógenos; daños mecánicos y peso de semilla, su entendimiento y monitoreo es importante en todos los procesos de producción de semilla (Pichardo *et al.* 2010).

Mancera *et al.* (2007), encontraron que el contenido de humedad en las semillas tiene una alta influencia sobre la capacidad de germinación, esta se deriva de un estudio de semillas de maíz en contenidos de humedad de 23 y 10%, donde detectó porcentajes de germinación del 80.3% derivados del 23% de humedad en semillas, el otro resultado de 69.4% de germinación se generaron de semillas con

10% de humedad. Por último sugiere que la cosecha de semilla sea en contenido de humedad mayor para mantener una calidad física y fisiológica.

Peso Volumétrico

Ospina (2002), citado por Bustamante (2010), expresa al peso volumétrico como la relación que existe entre el peso total del volumen de masa, así mismo integra el factor de los espacios existentes entre sí, el peso reflejado se expresa en kg hL^{-1} .

Bacarillo (2008), menciona que semillas de mayor tamaño del cultivo, mejoran la germinación, producen raíces y plantas más grandes y vigorosas que semillas pequeñas.

El peso volumétrico reportado para el cultivo de sorgo fue de 82 kg hL^{-1} . (Moreno, 1997).

Peso de Mil Semillas

ISTA (2005), describe como objetivo único de esta prueba; determinar el peso de 1000 semillas de una muestra presente, de tal semilla se toman ocho repeticiones de 100 semillas cada una sobre la muestra presentada, se obtiene el peso de cada muestra y se suman los ocho valores, dividiéndolos entre el mismo número, se obtiene una media representativa. El peso de esta variable está altamente influenciado de factores como: tamaño, contenido de humedad y cantidad de semilla.

Cisneros *et al.* (2007), estudiaron el efecto de la calidad física del peso de mil semillas sobre el efecto de calidad fisiológica de germinación en híbridos de sorgo, así mismo encontró que el peso mayor de 1000 semillas, no mostraron relación directa con mejores atributos de germinación de semillas.

Calidad Fisiológica

Gómez *et al.* (2015), consideran la calidad fisiológica en semilla, como la integridad de sus estructuras y procesos fisiológicos tales como germinación y vigor, siendo estos últimos los indicadores principales de calidad fisiológica óptima, además reivindica que el desarrollo de cada genotipo en ambientes desfavorables y su óptimo desarrollo dependerá de los cuidados esenciales que este tenga.

El SNICS expone que una buena calidad fisiológica de germinación es aquella que genera arriba del 85% de germinación, así mismo esta es apta para siembra y será seguida de una calidad de vigor óptimo.

Torres (2004), menciona que la calidad fisiológica de germinación y vigor son útiles para la óptima reproducción de plántulas, así como hacer predicciones del comportamiento en condiciones desfavorables, obtención de rendimiento en forraje y grano

En un estudio realizado por García (2015), en materiales poliploides encontró que materiales de origen poliploide generaron una calidad superior de germinación y vigor en comparación con especies de segregación simple

Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica es conocida como una de las mejores pruebas para determinar la integridad de la membrana celular mediante la concentración de electrolitos liberados por las semillas durante la imbibición.

Por lo tanto, Pontevedra (2012), menciona que la integridad de la membrana celular se considera uno de los primeros eventos fisiológicos del proceso de deterioro de las semillas; consecuentemente, lotes de semillas con un menor vigor exhiben una mayor intensidad de constituyentes celulares (iones inorgánicos).

Rita *et al.* (2001), considera la conductividad eléctrica como una buena prueba de vigor, para detectar alteraciones producidas en las membranas citoplasmáticas en un estadio temprano del deterioro de las semillas.

Respectivamente Vitoria y Méndez (2013), En cultivares de maíz concluyeron que altos porcentajes de germinación, tenderán a presentar bajos valores de conductividad eléctrica.

Mancera *et al.* (2007), realizaron un estudio de conductividad eléctrica en semillas de maíz, estas presentaron valores de CE de 54, 25 y 23 μcm^{-1} , mismas que generaron porcentajes de germinación de 30, 74 y 80%.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Experimento

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Producción de Semillas, perteneciente al Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas y en el invernadero No. 3 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ambos visualizados en la figura 3.1, ubicada en el municipio de Saltillo Coahuila a una altitud de 1,742 msnm cuyas coordenadas geográficas son 25° 22` latitud norte y 101° 1` longitud oeste (Figura 3.1).



Figura 3.1 Vista aérea de la ubicación del invernadero número 3 y del laboratorio del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Material genético

Se estudiaron tres variedades de sorgo de reciente producción:

Variedad Master: caracterizado y usado para ensilaje ya que tiene una alta concentración de azúcares tanto en forraje como grano, tiene un tallo vigoroso y gran cantidad de hojas.

Variedad Sudan: Un material de hojas muy finas y dulces, destacándose por su sanidad y alto potencial de rendimiento en forraje, digestibilidad y calidad. Su uso es de pastoreo directo.

Variedad Miel: excelente alimento para ganado, tallos jugosos y dulces que producen forraje de gran palatabilidad por su alto contenido de proteínas y azúcar.

Tratamientos

Para llevar a cabo el estudio, se utilizó como base para los tratamientos colchicina en concentraciones de 0.1, 0.01 y 0.05% y tiempos de exposición a las diferentes concentraciones de 2, 4 y 6 horas de imbibición de la semilla, así como un Testigo con agua o absoluto, identificados los tratamientos como se muestra en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1 Tratamientos aplicados a semilla de sorgo *Sorghum bicolor* L. Moench con colchicina

| Variedad | Concentración (%) | Tiempo (Hr) |
|----------|-------------------|-------------|
| Master | Testigo | 2 |
| Sudan | Testigo | 4 |
| Miel | Testigo | 6 |
| Master | 0.1 % | 2 |
| Sudan | 0.1% | 4 |
| Miel | 0.1% | 6 |
| Master | 0.01% | 2 |
| Sudan | 0.01% | 4 |
| Miel | 0.01% | 6 |
| Master | 0.05% | 2 |
| Sudan | 0.05% | 4 |
| Miel | 0.05% | 6 |

Metodología

El estudio se realizó en tres etapas, la aplicación de los tratamientos, la siembra de semillas en invernadero y la última etapa, cosecha y evaluación de semilla producida.

Etapas de aplicación de tratamientos

En el laboratorio, se colocaron 10 semillas por cada variedad y tratamiento en tubos Eppendorf ensayo de 1 ml, agregando 30 microlitros de colchicina, dejando cada tubo a tiempo de exposición de 2, 4 y 6 horas respectivamente.

Etapas de siembra en el invernadero

Una vez pasado el tiempo de exposición, se sembró la semilla de cada tratamiento en el invernadero No. 3, colocando las 10 semillas distanciadas entre ellas cada 8 cm en un surco.

Así mismo se llevaron a cabo labores culturales para una óptima reproducción de los materiales vegetales.

Riegos

Los riegos se hicieron en base a las condiciones del suelo, en ocasiones hasta de dos a tres veces por semana, dependiendo del factor ambiental. Siempre cuidando la humedad del suelo.

Fertilización

La demanda de nutrientes del cultivo partir de los días 20 y 30 posteriores a la emergencia, sus necesidades de fertilización son (100-60-0) nitrógeno, fósforo y potasio en orden de importancia, para satisfacer estas necesidades se aplicó fosfato monoamónico (11-52-00) y sulfato de amonio (21-0-0-24s) en dos aplicaciones, la primera en etapa vegetativa y la segunda en etapa de floración.

Aplicaciones agroquímicas

Se realizaron cuidados para la plaga de araña roja *Tetranychus urticae*, que empezaba a generar madurez en hojas, los síntomas no se agravaron y con dos aplicaciones de Dimetoato con nombre comercial de Danapyr 40 C.E en dosis recomendada de 0.75 L por hectárea se logró controlar. Además, se llevaron a cabo tutores para las plantas, debido que algunos tratamientos presentaron tallos débiles, que a su vez ocasionaban acame.

Etapa de cosecha y evaluación de semilla producida

La cosecha de la semilla se presentó a los 120 días después de la siembra, en ésta se tomaron datos del número de panículas y plantas, se procedió a secar las panículas en el asoleadero del Programa de Cereales de la Universidad a una temperatura promedio 28°C y HR de 15%, trascurrido el tiempo de 15 días se evaluó las variables de rendimiento y se procedió a desgranar para su posterior evaluación de la semilla producida.

Para la evaluación de la calidad de la semilla se realizaron pruebas físicas y fisiológicas, de cada variedad y tratamiento determinando en las primeras, el Contenido de Humedad (CH), Peso Volumétrico (PV) y Peso de Mil Semillas (PMS); y en las fisiológicas, Conductividad Eléctrica (CE), Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA), Semillas sin Germinar (SSG), Longitud Media de Plúmula

(LMP), Longitud Media de Radícula (LMR) y tasa de crecimiento de plántula (Peso Seco, PS).

Variables evaluadas

Peso de Semilla (Rendimiento)

Es el peso de grano o semilla en la panoja de cada tratamiento, este se estimó multiplicando por tres el peso de la semilla producida por las 10 plantas por surco en un metro lineal, registrando el dato en Kg/m².

Contenido de Humedad

El contenido de humedad se llevó a cabo de dos formas distintas (método directo e indirecto) debido a la falta de semilla de algunos tratamientos para la evaluación.

Método directo

El contenido de humedad se determinó en porcentaje mediante la prueba de destrucción llevada a cabo en la estufa a una temperatura alta constante donde se pesó la semilla conjuntamente con una caja y se llevó a la estufa por tres horas a 130°C, al paso del tiempo se retiró de la estufa y pasó en un desecador por 15 minutos, después se tomó el peso final, calculando el porcentaje mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ Contenido de Humedad} = \frac{P2 - P3}{P2 - P1} \times 100$$

Donde:

P1= Es el peso en gramos del recipiente y su tapa

P2= Es el peso en gramos del recipiente, su tapa y la muestra de semillas antes del secado.

P3= Es el peso en gramos del recipiente, su tapa y la muestra de semillas después del secado.

Método Indirecto

Se determinó el contenido de humedad de semilla mediante determinador electrónico BURROWS model DMC 500 (Figura 3.2).



Figura 3.2 Determinador de Humedad BURROWS MODEL DMC 500.

Peso Volumétrico (PV)

Se tomó un recipiente de volumen conocido (para determinar el volumen, se utilizó una probeta graduada y se calculó la cantidad de agua contenida en el recipiente), posteriormente se vació la semilla de cada tratamiento en el recipiente hasta sobrepasar el borde del mismo, se pesó la cantidad de semilla contenida en el recipiente, registrando el resultado en gramos. Se tomaron 4 repeticiones de cada variedad por tratamiento, se calculó el peso volumétrico en Kilogramos por hectolitro.

Peso de Mil Semillas (PMS)

La prueba consistió en determinar el peso de 1000 semillas, la muestra fue tomada de la semilla pura (una vez limpia la semilla después de su cosecha) conforme a las reglas de la ISTA (2004), contando al azar ocho repeticiones de 100 semillas cada una, el conteo se hizo manual y cada repetición se pesó en una balanza analítica de 0.001 gramos de precisión, registrando los resultados en gramos.

Conductividad Eléctrica (CE)

Esta evaluación cuantificó la cantidad de solutos lixiviados semillas obtenidas después de aplicar los tratamientos con colchicina para su lectura se efectuaron cuatro repeticiones de 100 semillas de cada variedad por tratamiento, las repeticiones se sumergieron en vasos de precipitado con un medio acuoso de agua desionizada por 12 horas y con temperatura de 20°C, la conductividad eléctrica fue tomada en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ mediante el METTLER TOLEDO (Figura 3.3).



Figura 3.3 Determinador de Conductividad Eléctrica “METTLER TOLEDO”.

Capacidad de Germinación (CG)

La prueba de germinación se llevó a cabo mediante las reglas internacionales de la ISTA (2004), a través del método entre papel con una variación en el número de semillas. Consistió en trazar una línea horizontal en una hoja de papel Anchor de 38 x 25 cm y sobre ella se pegó una cinta adhesiva de doble pegamento en la cual se sembraron 25 semillas de cuatro repeticiones por variedad por tratamiento, orientada la semilla con el embrión hacia abajo, se humedeció con agua destilada y se cubrió con una segunda hoja de papel, se envolvieron a formar un “taco” y se marcaron para ser colocados en bolsas de polietileno que fueron puestas en un bote de plástico para posteriormente ser llevados al interior de una cámara de germinación “Biotronett Mark” Modelo Lab-Linea una temperatura de $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$, con 8 horas luz y 16 horas oscuridad. Se aplicaron dos aspersiones de agua destilada durante la prueba para mantener la humedad de los tacos, la primera fue al tercer día y la posterior ocurrió en el sexto. Al noveno día se retiraron de la cámara de germinación y se evaluaron conforme al manual de evaluación de la AOSA (1992), donde se determinaron el número de Plántulas Normales (PN), Plántulas Anormales (PA) y Semillas sin Germinar (SSG).

Plántulas Normales (PN)

Se consideraron aquellas que tenían totalmente desarrollado la plúmula y radícula con un tamaño promedio de tres a cuatro veces el tamaño de la semilla y registrando el valor en porcentaje.

Plántulas Anormales (PA)

Fueron aquellas que no cumplían con los requisitos para ser una plántula normal, que tuviera poco desarrollado o una mala formación en la radícula o plúmula, registrándose su valor en porcentaje.

Semillas Sin Germinar (SSG)

Se consideraron a las semillas que no germinaron o presentaron indicio de dormancia, registrando el valor en porcentaje.

Pruebas de Vigor

Longitud Media de Plúmula (LMP)

Los datos de esta variable se tomaron al día nueve después de la siembra, consistió en medir la longitud de la plúmula de 10 plántulas normales por tratamiento

Longitud Media de Radícula (LMR)

Para esta variable se utilizaron 10 plántulas normales, los datos se tomaron al día nueve después de la siembra midiendo la longitud de la radícula.

Tasa de Crecimiento de Plántula (Peso Seco, PS)

Una vez que se tomaron todos los datos anteriores, se tomaron las plántulas normales de cada una de las variedades y tratamiento, donde se desprendió la plúmula y radícula del endospermo, estas se metieron en una bolsa de papel, se colocaron dentro de la estufa por 24 horas a 65°C, posteriormente fueron retiradas y pesadas en una balanza analítica registrando su peso en gramos.

Diseño Experimental

Este trabajo fue establecido de acuerdo a un diseño completamente al azar con tres variedades y cuatro tratamientos, Así mismo cada tratamiento tenía cuatro repeticiones. Se realizó el análisis estadístico con el paquete SAS (Statistical Analysis System).

Siendo el siguiente modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$i = 1, \dots, t$;

t = número de tratamientos

$j = 1, \dots, n$;

n = número de repeticiones por tratamiento.

μ = es el efecto medio.

τ_i = es el efecto de i -ésimo tratamiento.

ε_{ij} = error experimental.

Análisis Estadístico

Los datos de calidad física y fisiológica se analizaron como un diseño trifactorial con arreglo completamente al azar

El modelo de diseño de experimentos completo con tres factores (T_a , T_b y T_g), interacción y replicación (K réplicas) tiene el siguiente modelo matemático:

$$y_{ijk} = \mu + a_i + b_j + g_r + (ab)_{ij} + (ag)_{ir} + (bg)_{jr} + (abg)_{ijr} + e_{ijk}$$

En este modelo se tienen tres factores-tratamiento: el factor T_a (efecto a) con niveles $i = 1, \dots, I$, el factor T_b (efecto b) con niveles $j = 1, \dots, J$, y el factor T_g (efecto g) con niveles $r = 1, \dots, R$. Cada tratamiento se ha replicado K veces.

Por tanto, se tienen $n = IJRK$ observaciones. El término $(abg)_{ijk}$ es la interacción de tercer orden que, en la mayoría de las situaciones, se suponen nulas.

La comparación de medias se realizó mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de significancia de $P \leq 0.05\%$. Calculándose mediante la fórmula según Steel y Torrie (1980).

$$DMS = t_a (\sqrt{2CMEE / r})$$

Dónde:

CMEE: Cuadrado medio del error.

r: número de observaciones usadas para calcular un valor medio.

a: nivel de significancia.

t = valor tabular que se usa en la prueba, con los grados de libertad del error y el nivel de significancia apropiada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad Física

Rendimiento

Los resultados del Análisis de Varianza de la variable rendimiento en interacción de variedades por concentración de colchicina, se logró observar una influencia negativa en las variedades estudiadas en las concentraciones de 0.1 y 0.05%, generando valores bajos de 0.05 a 0.2 kg/m² como se muestra en la Figura 4.1. Así mismo, el mayor y mejor rendimiento en todas las variedades fue a una concentración de 0.01% en comparación con el testigo, sobresaliendo la variedad Miel con el mayor rendimiento de 0.7 Kg/m²; Master con 0.6 Kg/m² y por último Sudan con 0.17 kg/m², quien a pesar de obtener los valores más bajos logró tener un incremento a esta concentración.

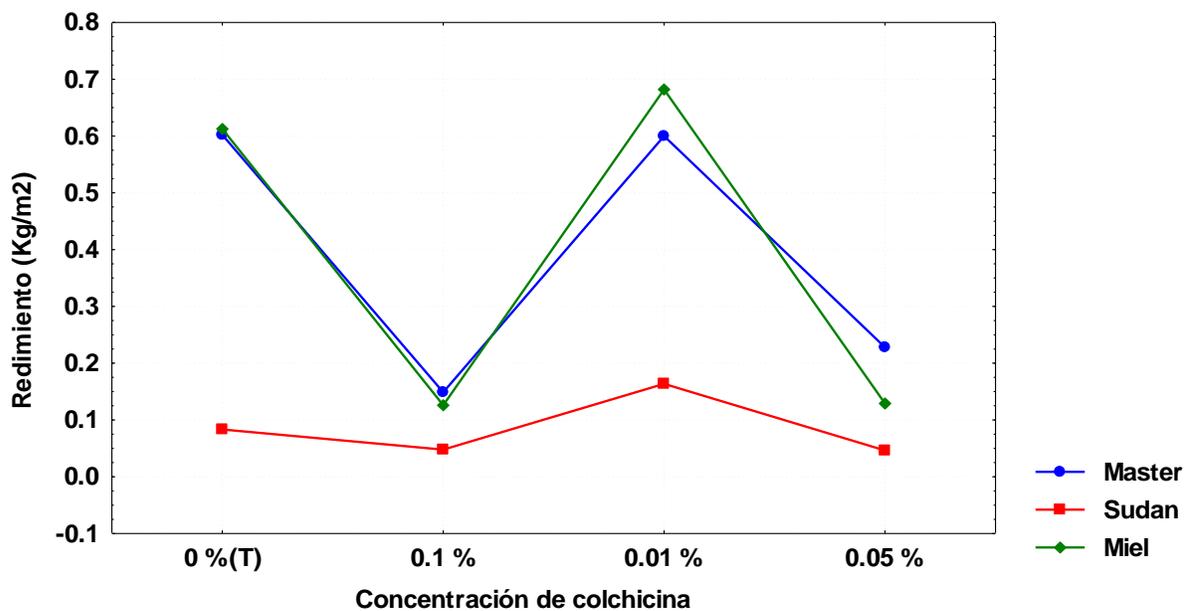


Figura 4.1 Rendimiento general de tres variedades de Sorgo de semilla generada de diferentes concentraciones en colchicina

Con respecto a la interacción de variedad por tiempo de exposición en colchicina, como se muestra en la Figura 4.2 de manera general, el rendimiento se vio afectado por el tiempo de exposición en las tres variedades, siendo la más afectada Sudan con 0.2 kg/m^2 a las 2 horas de exposición, y la tendencia fue de disminuir hasta 0.03 kg/m^2 a las 6 horas de exposición. En cambio, las variedades Master y Miel presentaron los mayores rendimientos a las 2 horas con 0.6 Kg/m^2 ; sin embargo, al proceder a exponerlas a los siguientes tiempos se reflejó una declinación en el rendimiento siendo afectadas severamente llegando hasta 0.28 Kg/m^2 .

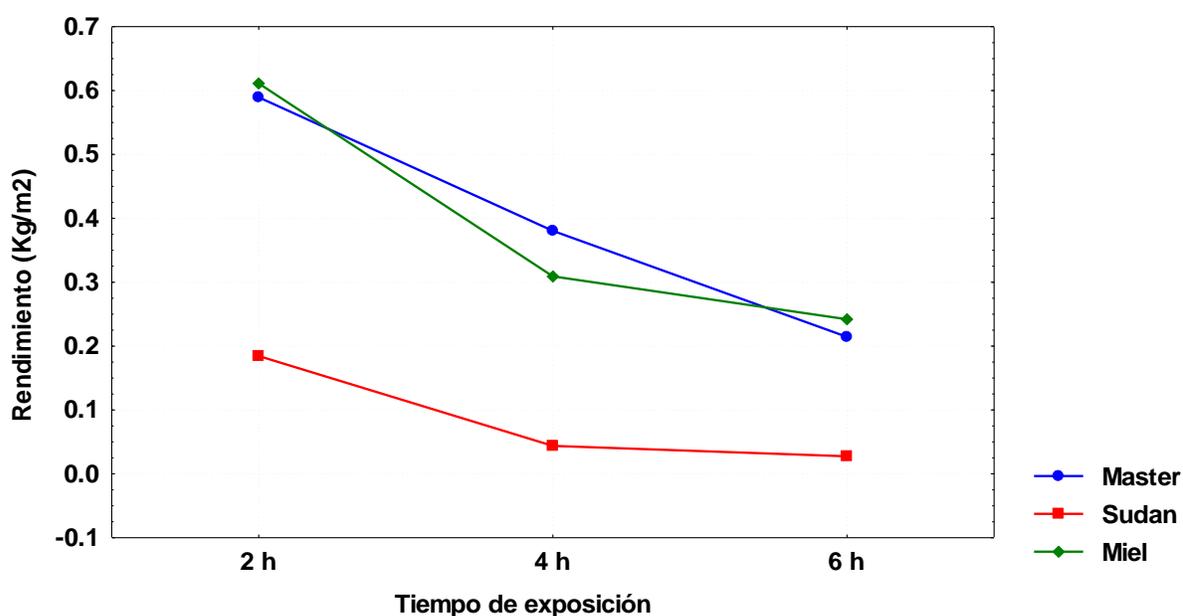


Figura 4.2 Rendimiento general de tres variedades de Sorgo de semilla generada de diferentes tiempos de exposición en colchicina

La respuesta en la interacción entre las fuentes de variación, variedades, concentración y tiempos, se muestran en la Figura 4.3, donde nuevamente Master y Miel tuvieron respuestas similares al Testigo a una concentración de 0.01% de colchicina en todos los tiempos de exposición, destacando Miel a las 2 horas de exposición con el mayor rendimiento (1.2 Kg/m^2). Los resultados en el estudio no mostraron niveles superiores a los reportados por SAGARPA (2008), donde el promedio de rendimiento a nivel nacional fue de 3.36 kg/m^2 en el 2008.

Estos resultados señalan que el efecto de la aplicación de colchicina puede dar lugar a un trastorno celular, como mencionan Kannan *et al.* (2013) que algunos materiales al ser inducidos a poliploidia pueden aumentar significativamente su rendimiento; sin embargo, esto no se presentó en la variedad Sudan, que mostró una baja respuesta en los tratamientos; otra explicación de ello, como lo describen Ramírez *et al.* (2013), al generar poliploidía puede darse una respuesta negativa, como lo fue en el tomate de cáscara, que originó polen de baja viabilidad y por ende un bajo rendimiento, así mismo, García (2015) quien encontró el mejor rendimiento de semillas de tomate de cascara en materiales de origen diploide en comparación a poliploides, pero resalta que estos últimos presentaron mejor calidad fisiológica.

Cabe mencionar que las variedades a las concentraciones de 0.1% a 2 y 6 horas (Master y Sudan), a 0.01% a 4 y 6 horas (Sudan), a 0.05% a 2 horas (Miel), a 4 horas (Master y Sudan), así como a 6 horas (las tres variedades), se tuvieron valores de 0 Kg/m² de rendimiento debido principalmente a la pérdida de plantas en la cosecha por falta de tolerancia en los tratamientos.

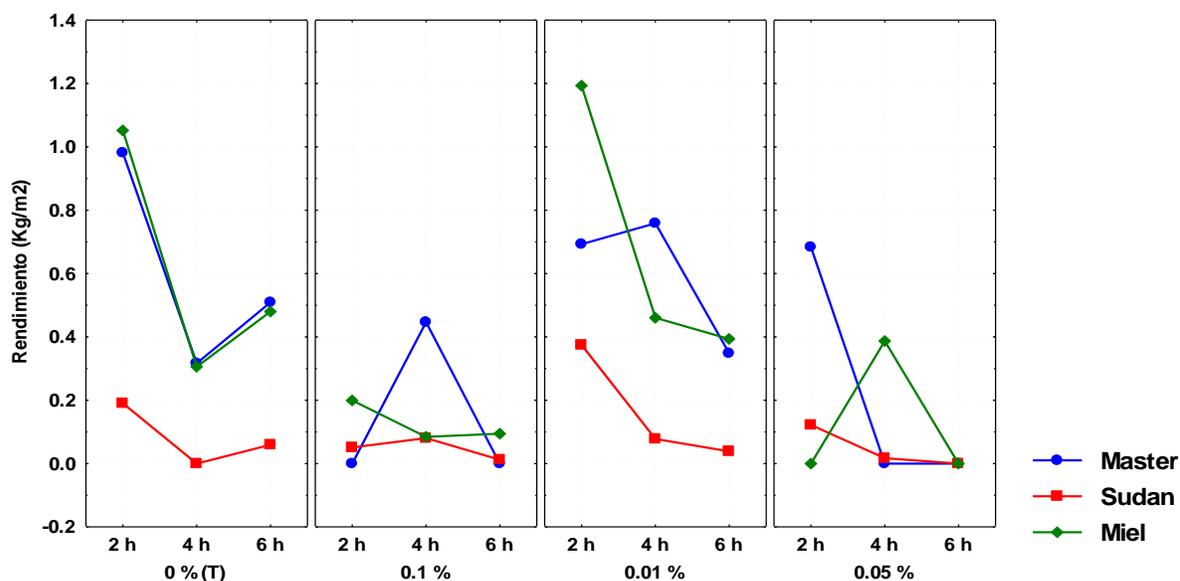


Figura 4.3 Rendimiento general de tres variedades de Sorgo de semilla generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

Peso Volumétrico (PV)

Con respecto a la variable de peso volumétrico, se encontró una influencia por la interacción de variedad por concentración; donde las tres variedades a una concentración 0.01%, encontraron los valores más altos de calidad de PV, destacando Miel y Master ambas con 78 Kg/HL, este efecto de concentración (0,01%) coincide con un estudio realizado por Sun *et al.*(1994) en materiales de sorgo que fueron expuestos a concentraciones y tiempos de exposición a colchicina, del cual encontró en materiales tetraploides un PV superior al compararlo con el de origen diploide, mientras que todas variedades estudiadas a 0.05%, marcaron un decline negativo como lo muestra la Figura 4.4, nuevamente sobresalieron Miel y Master con un peso de 25 Kg/HL; así mismo, esta última variedad también reporto el más bajo valor a la concentración 0.1% con tan solo 24 Kg/HL.

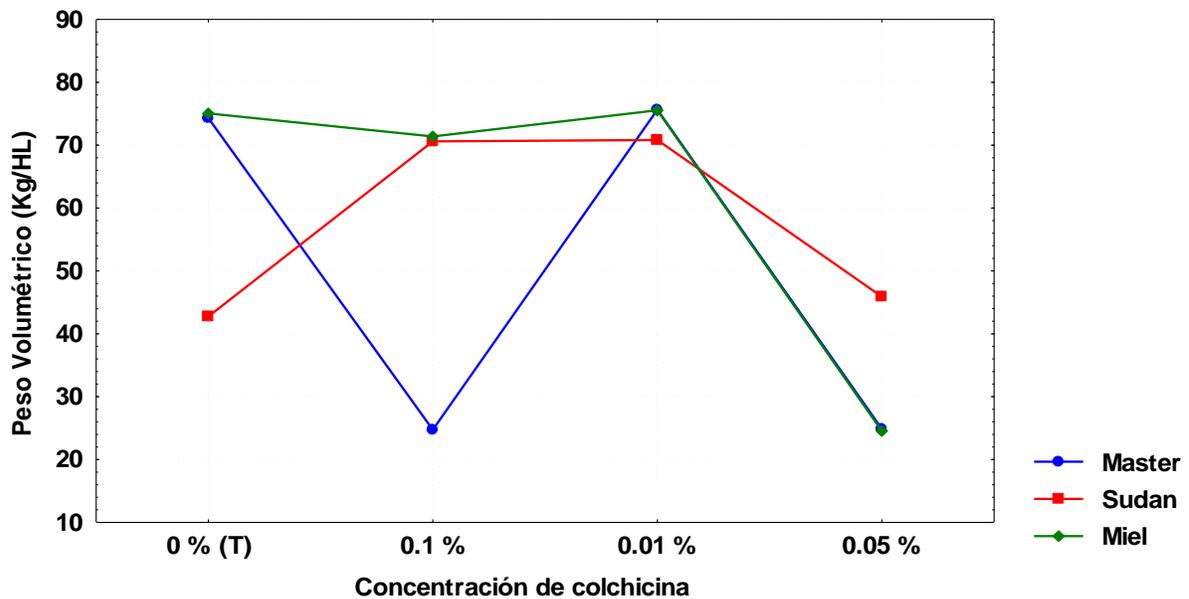


Figura 4.4 Peso Volumétrico de tres variedades de Sorgo de semilla generada de diferentes concentraciones en colchicina

En la interacción de variedades por tiempo de exposición en colchicina, se encontró de manera general una tendencia de decline en Master y Sudan, partiendo de valores mayores a menores, marcando que los tiempos de exposición tienen un efecto negativo en Master a 6 horas donde se obtuvo el menor peso con 36 Kg/HL,

seguido de Sudan con 52 Kg/HL; sin embargo, la variedad Miel sobresalió con el mayor peso 71 Kg/HL a un tiempo de 4 horas; mientras que Master mantuvo un peso similar a 2 y 4 horas con 56 y 57 Kg/HL respectivamente (Figura 4.5).

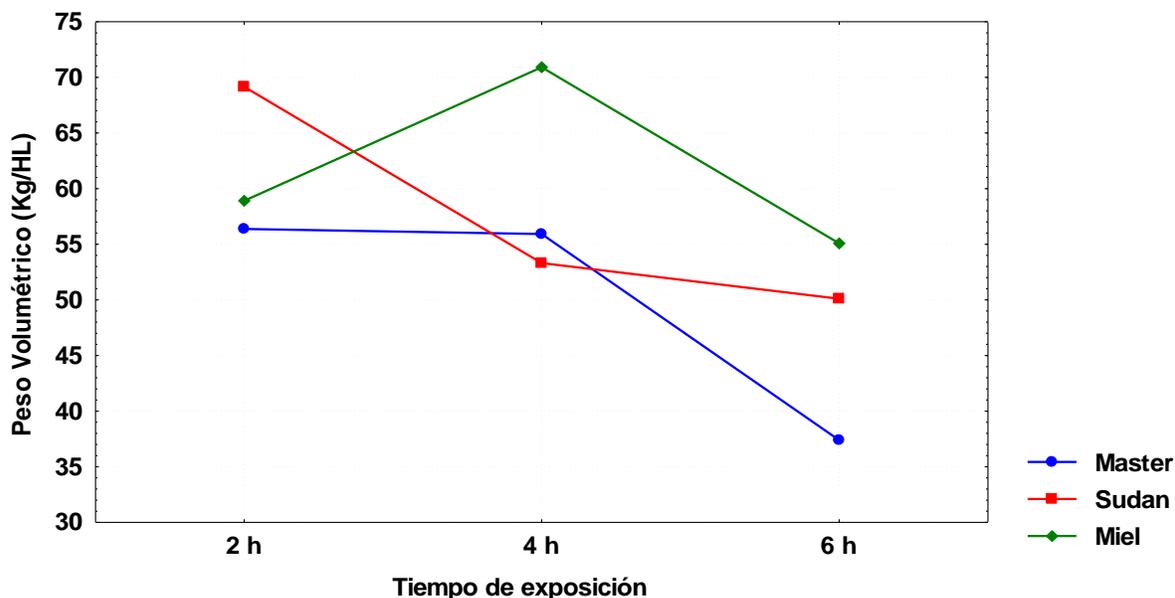


Figura 4.5 Peso Volumétrico de tres variedades de Sorgo de semilla generada de diferentes tiempos de exposición en colchicina

En cuanto la respuesta del PV en la interacción de las fuentes de variación, se observó que la aplicación de colchicina y el tiempo de exposición tienen un efecto diferente en cada una de las variedades; en las tres concentraciones, por ejemplo, se mostró el promedio más bajo de peso, siempre en el mayor tiempo de exposición a colchicina. Por otra parte a la concentración de 0.01%, en los diferentes tiempos no fueron afectados los pesos (Figura 4.6); la variedad Miel a 0.1% a 2 horas de exposición sobresalió con 85 Kg/HL, este tratamiento superó el PV de 82 Kg/HL reportado como media nacional por Moreno (1997); la diferencia de este peso al resto de las interacciones pudiera deberse al contenido de humedad en las semillas la ISTA (2005) menciona que los principales factores en las diferencias del PV son: el tamaño de la semilla, cantidad y su contenido de humedad. Cabe señalar que los valores de cero marcados en la Figura 4.6, se debieron a los tratamientos que no produjeron semilla para ser evaluada en las pruebas físicas correspondientes por causas de invasión biológica al momento del desarrollo de los materiales.

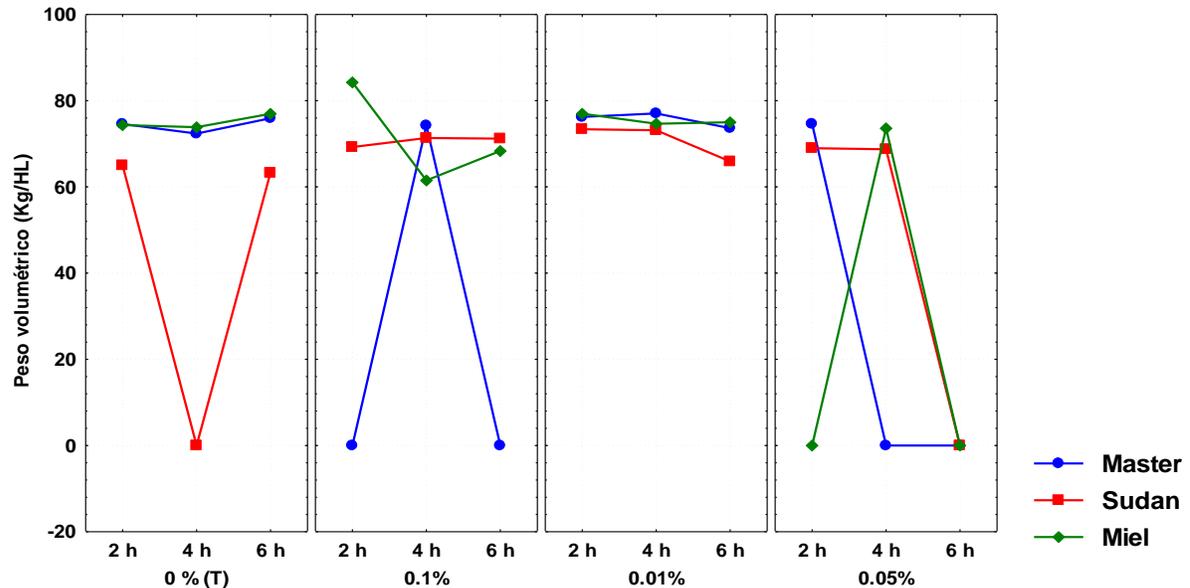


Figura 4.6 Peso Volumétrico de tres variedades de Sorgo de semilla generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

Contenido de Humedad

Para el análisis de varianza correspondiente al contenido de humedad, se encontraron diferencias altamente significativas entre variedades, concentraciones tiempo de exposición, así mismo en sus interacciones como se muestra en el Cuadro 4.1, lo que indica que al menos una variedad, una concentración y un tiempo generaron un porcentaje de humedad diferente en la semilla. Este análisis resultó con un coeficiente de variación de 3.81%, reflejando que la variable presentó una homogeneidad en sus valores.

Una vez dado el análisis de varianza, se realizó una prueba de comparación de medias entre variedades a través de diferencias mínimas significativas (DMS) como se muestra en el Cuadro 4.1; resultando tres grupos estadísticos, primero la variedad Miel con 7.44% obteniendo el mayor valor de humedad, seguido de Master con 7.23% y en el último grupo Sudan con el menor valor de 6.09%. Estos resultados pueden ser óptimos para el almacenamiento prolongado de granos, Domingo (1986); citado por el INTA (2013) especifica que niveles de humedad menores del 12% permite la vida prolongada en almacén de granos y semillas.

Cuadro 4.1 Cuadrados Medios y Comparación de Medias (DMS) en la Calidad Física del Contenido de Humedad de tres variedades de Sorgo producidas en diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

| Fuentes de Variación | Grados de Libertad | Contenido de Humedad |
|--|--------------------|----------------------|
| Variedad | 2 | 25.11** |
| Concentración | 3 | 365.48** |
| Tiempo | 2 | 18.90** |
| Variedad x Concentración | 6 | 37.15** |
| Variedad x Tiempo | 4 | 68.55** |
| Concentración x Tiempo | 6 | 134.37** |
| Var x Concen x Tiemp | 14 | 59.89** |
| Error Experimental | 108 | 0.069 |
| % CV | | 3.81 |
| Comparación de Medias entre Variedades | | |
| Master | | 7.23 B |
| Sudan | | 6.09 C |
| Miel | | 7.44 A |
| Comparación de Medias entre Concentraciones | | |
| 0 % (Testigo) | | 9.10 B |
| 0.1% | | 10.20 A |
| 0.01% | | 4.11 D |
| 0.05% | | 4.26 C |
| Comparación de Medias entre Tiempos | | |
| 2 Horas | | 7.08 B |
| 4 Horas | | 7.45 A |
| 6 Horas | | 6.22 C |

C.V. (%) = Porcentaje de Coeficiente de Variación; ** = Altamente significativo, Prueba de diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$ %, Medias con diferente letra son grupos estadísticos diferentes.

La prueba de comparación entre las concentraciones (Cuadro 4.1), dieron cuatro grupos estadísticos, sobresaliendo la concentración de 0.1% que en promedio obtuvo el mayor valor de humedad con 10.20%, seguido del Testigo con 9.10%, así mismo, estos valores son óptimos para una conservación de semillas como lo menciona Food & Agriculture Org (1985), que el contenido de humedad en las semillas no debe exceder del 12% en los cereales y leguminosas, para asegurar una larga vida, en los dos últimos grupos 0.01 y 0.05% con valores por debajo de 4.26%, que según De Paula (1994) el tener valores de humedad bajos del 4 y 5%, pueden tener un efecto en los procesos de peroxidación lipídica de semillas reflejados en una baja viabilidad.

En la comparación de medias entre los tiempos de exposición, se obtuvieron tres grupos estadísticos, donde el tiempo de 4 horas, promedió el mayor valor de humedad con 7.45%, seguido de 2 y 6 horas con los valores de 7.08% y 6.22%. En los resultados ningún grupo estadístico superó a la humedad óptima de la semilla para una respuesta positiva en la calidad fisiología de germinación, Montoya (2009) encontró en semillas de *Cratylia*, que un contenido de humedad de 6% disminuyó la germinación significativamente al compararlo con humedad del 10%.

En la Figura 4.7 se muestra la interacción entre variedades por concentración de colchicina, presentando los mayores valores Master y Miel en una concentración Testigo (0.0%); a la siguiente concentración (0.1%) se logra observar que estas variedades llegan a obtener 10% (Master) y 10.4% (Miel), siendo los mejores y mayores valores. Con respecto a la variedad Sudan presentó un aumento comparado con el Testigo, de 6% a 10%; mientras que en las concentraciones de 0.01 y 0.05%, disminuyó la humedad llegando a 2.5%.

Así mismo, las variedades Master y Miel en las concentraciones 0.01 y 0.05%, los contenidos de humedad resultaron muy bajos debido a que no produjeron semilla para la evaluación o por que los valores fueron menores al 6%, como se muestra en la Figura 4.7; marcando que la variedad Miel a 0.01% obtuvo el valor de humedad más bajo con 2.9%.

De la interacción en las variedades por tiempos de exposición en colchicina mostrada en la Figura 4.8, sobresalió la variedad Master al tiempo de exposición de 2 horas con 8.7%, seguido de Sudan y Miel con valores de 7 y 5.9% respectivamente; esta última variedad a las 4 horas logro tener un mayor porcentaje con 9.7%; mientras que Sudan en el mismo tiempo (4 horas), tuvo una decaída en su porcentaje hasta 4.8%; en el caso de Master, logro mantener el porcentaje con 8.4%; sin embargo, al tiempo de exposición de 6 horas presentó una disminución con 4.9% en el CH, presentando la misma tendencia Miel con 6.8%; mientras que Sudan reportó un aumento en el porcentaje con 6.8%.

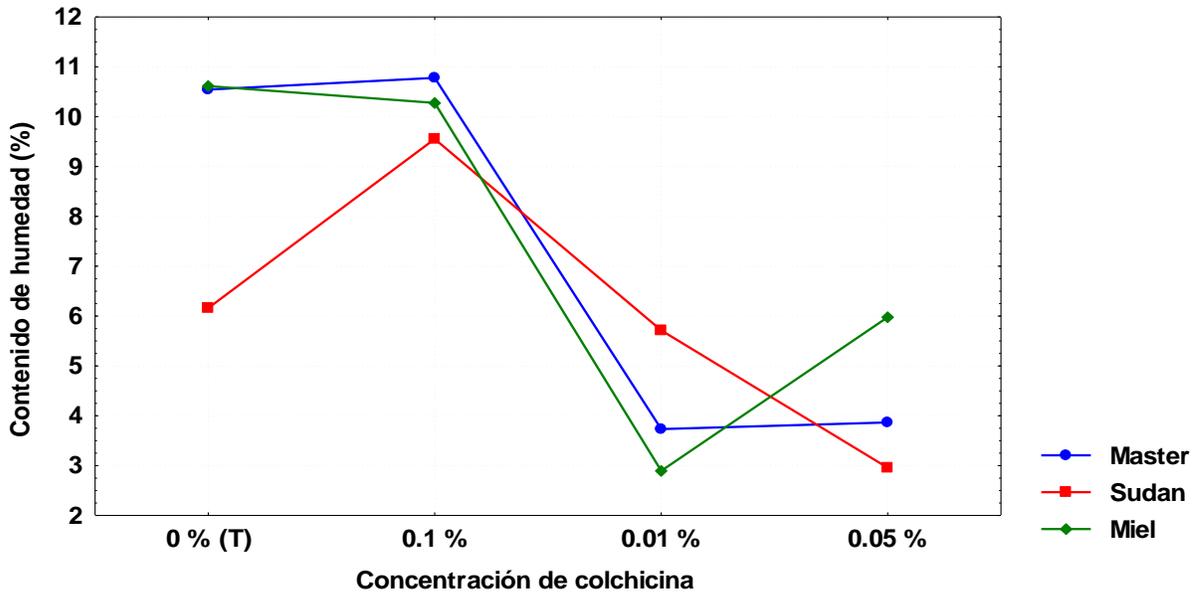


Figura 4.7 Contenido de Humedad de tres variedades Sorgo de semilla generada de diferentes concentraciones en colchicina

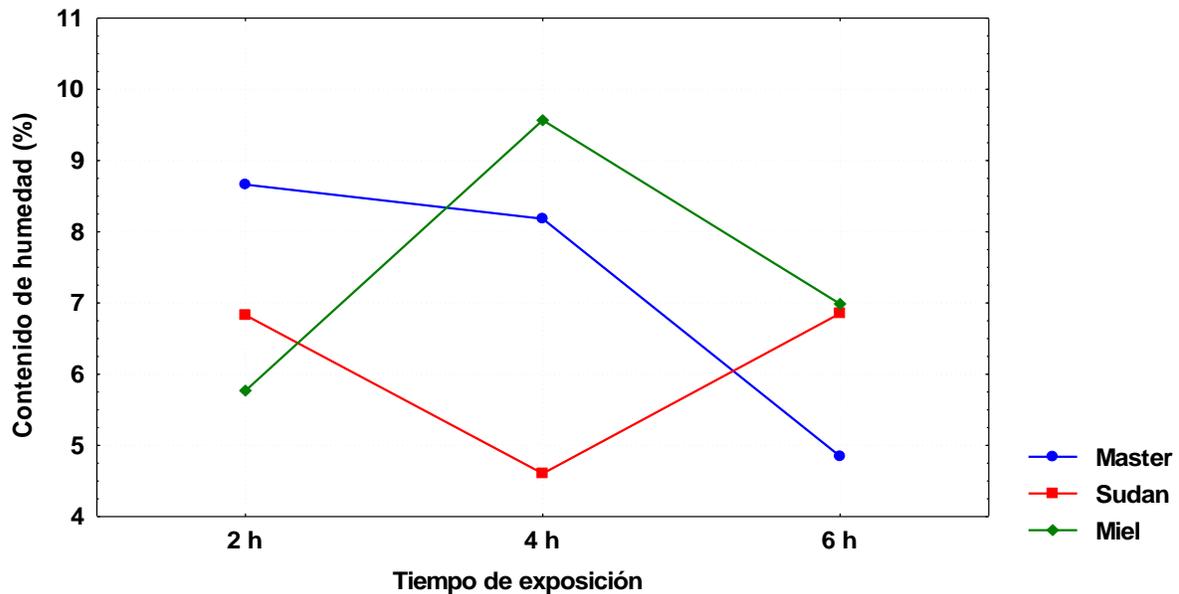


Figura 4.8 Contenido de Humedad de tres variedades de Sorgo de semilla generada de diferentes tiempos de exposición en colchicina

Para interacciones de las variedades por tratamientos (concentraciones y tiempos), todas las variedades en el Testigo, mostraron valores de humedad altos a 2 horas, bajos a 4 horas y se generó un aumento en la humedad a 6 horas como se muestra en la Figura 4.9; destacando las variedades Master y Miel con los mayores

valores de humedad a las 2 y 6 horas, siendo Sudan la que presentó la menor humedad en todos los tiempos.

Las variedades Master y Miel presentaron en la concentración a 0.1%, los mayores valores de humedad con 12 y 11.8% respectivamente, seguido de una disminución de humedad al transcurrir los tiempos de exposición, por lo contrario, la variedad Sudan aumenta el CH a los tiempos posteriores de exposición como lo indica la misma Figura 4.9.

La respuesta del contenido de humedad en las variedades Sudan y Miel a 2 y 4 horas de exposición a la concentración 0.01%, se mantuvieron con valores similares a 8.4% (Figura 4.9), sobresaliendo Master que obtuvo una humedad superior a 2 horas con 11.4% en esta concentración y a la de 0.05% a 4 horas de exposición con 11.8% de humedad. En cambio, Miel aumentó el CH a la concentración de 0.05% a 4 horas y disminuyó a las 6 horas; sin embargo, los valores de 0 % de humedad indicados en la Figura 4.9, se debieron a la pérdida de semilla, ya que fueron afectadas las plantas por factores biológicos.

Las diferencias de resultados sobre la humedad en semillas pudieran generar alguna respuesta significativa sobre las variables de peso de mil semillas, peso volumétrico y rendimiento debido a su alta correlación, ISTA (2005).

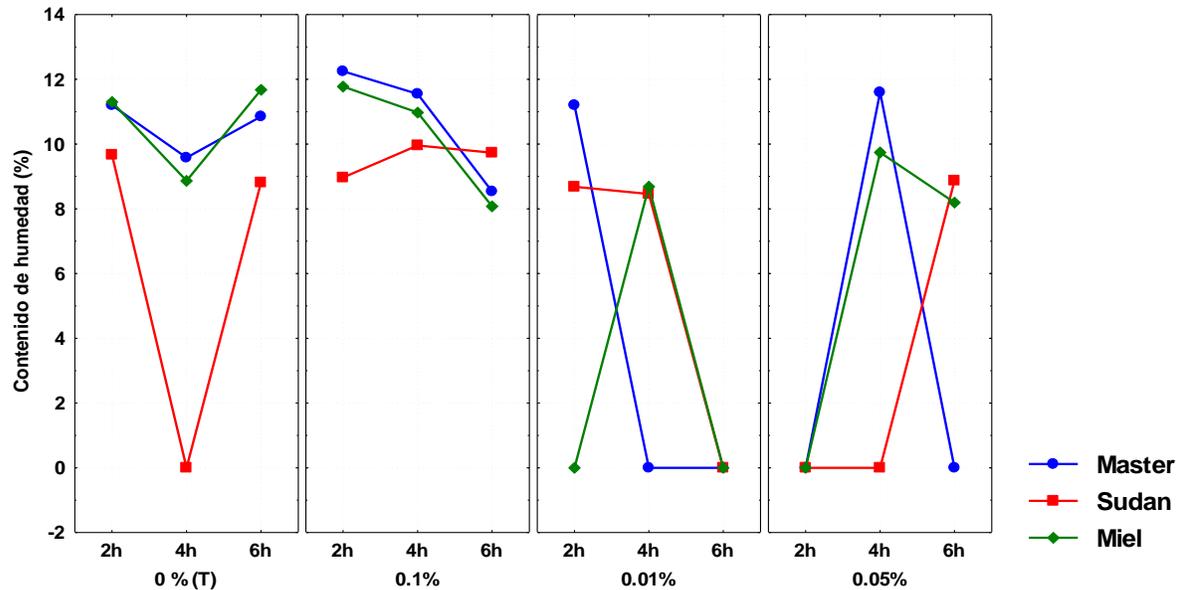


Figura 4.9 Contenido de Humedad de semillas de tres variedades de Sorgo generados de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

Peso de Mil Semillas (PMS)

El análisis de varianza de la variable de peso de mil semillas que concentra el Cuadro 4.2, muestra que existen diferencias altamente significativas en la evaluación individual de las fuentes de variación, variedades, concentraciones y tiempos de exposición; así mismo, las diferencias altamente significativas en las interacciones, reflejando que al menos una variedad, una concentración y un tiempo de exposición generaron diferente respuesta en el peso de mil semillas, con un CV de 3.24%, este valor describe que la dispersión de los datos referente a su media no fueron muy significativos.

Una vez encontradas las diferencias en el análisis de varianza, se realizó una prueba de comparación de medias (DMS) con nivel de significancia de $P \leq 0.05\%$; en la cual, las variedades resultaron en tres grupos estadísticos, donde la variedad Miel obtuvo el mayor peso con 22.27 g, Master con el segundo mejor peso con 21.90 g, por último, la variedad Sudan quien presentó el menor peso con tan solo 13.05 g (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2 Cuadrados Medios y Comparación de Medias (DMS) de la Calidad Física del Peso de Mil Semillas de tres variedades de Sorgo producidas en diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

| Fuentes de Variación | Grados de Libertad | Peso de Mil Semillas |
|--|--------------------|----------------------|
| Variedad | 2 | 1309.83** |
| Concentración | 3 | 2566.12** |
| Tiempo | 2 | 283.04** |
| Variedad x Concentración | 6 | 523.62** |
| Variedad x Tiempo | 4 | 534.56** |
| Concentración x Tiempo | 6 | 1120.08** |
| Var x Concen x Tiemp | 14 | 561.15** |
| Error Experimental | 108 | 0.383 |
| % CV | | 3.24 |
| Comparación de Medias entre Variedades | | |
| Master | | 21.90 B |
| Sudan | | 13.05 C |
| Miel | | 22.27 A |
| Comparación de Medias entre Concentraciones | | |
| 0 % (Testigo) | | 24.99 B |
| 0.1% | | 27.61 A |
| 0.01% | | 12.73 C |
| 0.05% | | 10.96 D |
| Comparación de Medias entre Tiempos | | |
| 2 Horas | | 21.71 A |
| 4 Horas | | 18.57 B |
| 6 Horas | | 16.94 C |

C.V. (%) = Porcentaje de Coeficiente de Variación; ** = Altamente significativo, Prueba de diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$ %. Medias con diferente letra son grupos estadísticos diferentes.

La prueba de comparación de medias entre concentraciones, generó cuatro grupos estadísticos (Cuadro 4.2), sobresaliendo la concentración de 0.1% que obtuvo el mayor promedio con 27.61 g, seguido del Testigo con 24.99 g, mientras que las concentraciones de 0.01 y 0.05% resultaron con valores por debajo de 12.73 g.

Sobre la comparación de medias de los tiempos de exposición, se generaron tres grupos estadísticos, como se observa en el mismo Cuadro 4.2, a 2 horas de exposición se reportó el mayor peso de semillas con 21.71 g, seguidos a 4 y 6 horas con los menores pesos (18.57 y 16.94 g respectivamente).

En la interacción de las variedades por concentración de colchicina (Figura 4.10), Master y Miel en el tratamiento Testigo presentaron altos valores de humedad, ambas con 31 g, mientras que Sudan obtuvo 14 g. Así mismo, las variedades en la siguiente concentración (0.1%), mostraron un aumento en el peso, destacando Miel y Master con 34 y 32 g siendo los mayores valores, pero en las concentraciones 0.01 y 0.05% disminuyeron su peso considerablemente en un rango de 9 y 17 g. En cambio, Sudan en las concentraciones 0.1 y 0.01% solo promedió 18 g en cada una y a 0.05% de colchicina se generó el menor peso con 5 g.

La interacción de variedades por tiempos de exposición se muestra en la Figura 4.11, donde la variedad Master a 2 horas de exposición obtuvo el mayor peso de mil semillas con 29 g, al transcurso del tiempo declinó hasta 14 g; teniendo una respuesta inversa en la variedad Miel, donde a las 2 horas de exposición presentó un peso de 19 g, teniendo un aumento a 23 g (4 horas) y a las 6 horas generó el mejor valor con 26 g. En cuanto, Sudan a las 2 horas de exposición obtuvo el peso más bajo (17 g) en comparación de las variedades, así mismo, a los tiempos de exposición a 4 y 6 horas presentó los valores más bajos de peso de mil semillas con 10 y 11 g respectivamente.

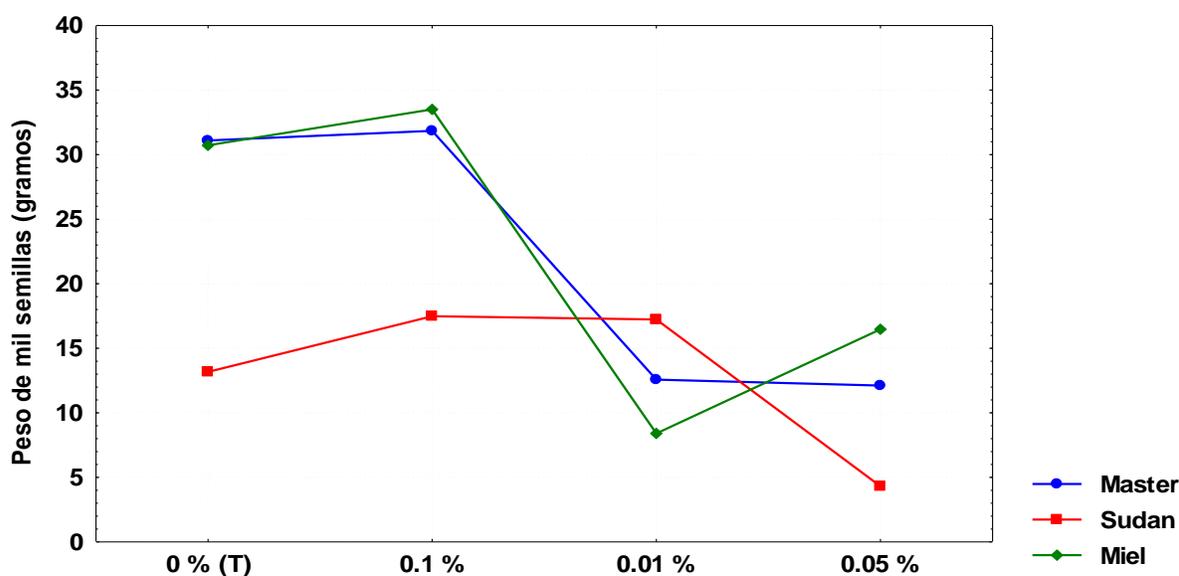


Figura 4.10 Peso de Mil Semillas de tres variedades de Sorgo generado de diferentes concentraciones en colchicina

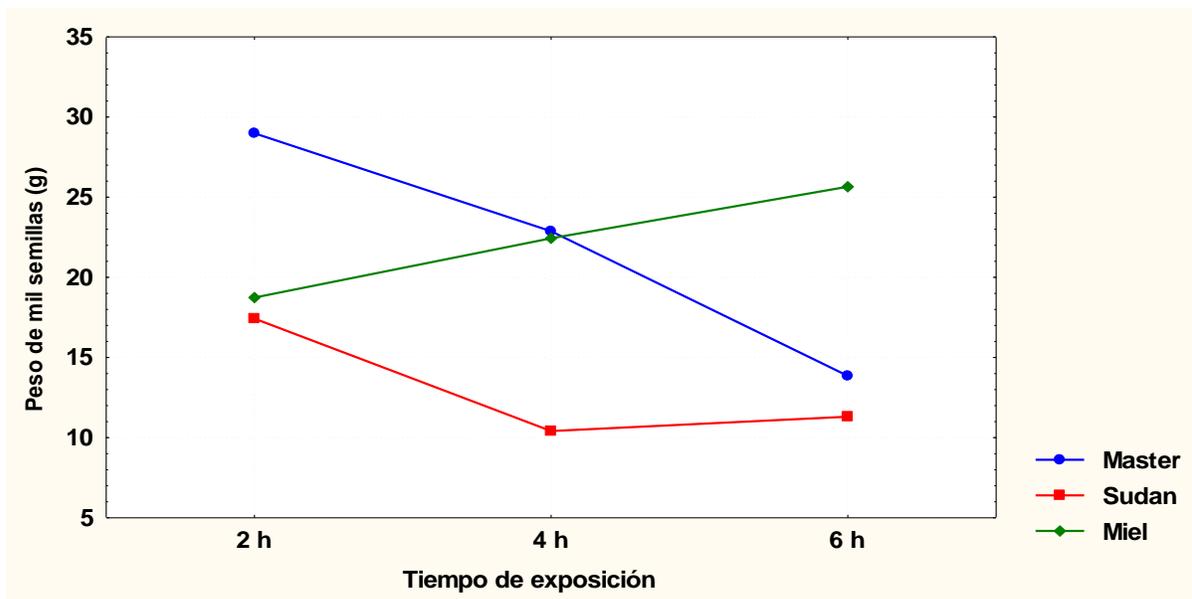


Figura 4.11 Peso de Mil Semillas de tres variedades de Sorgo generado de diferentes tiempos de exposición en colchicina

Para las interacciones de variedades por tratamientos (concentraciones y tiempos de exposición), Master y Miel en Testigo a 2 horas de exposición obtuvieron los mejores pesos (40 y 39 g respectivamente) como se muestra en la Figura 4.12, posteriormente generaron una disminución de su peso en las siguientes horas de exposición; así mismo, la variedad Sudan a 2 horas solo obtuvo 24 g y tuvo un descenso a las 6 horas, cabe mencionar que a las 4 horas, no se contaba con semilla de esta variedad, por lo tanto no se tuvo medición.

Con respecto a la concentración 0.1%, las variedades Master y Miel presentaron similares respuestas en el PMS como el tratamiento Testigo (Figura 4.12); mientras que Sudan en esta concentración disminuyó un poco el peso, manteniendo un rango de 16 y 18 g en las siguientes horas. En la concentración de 0.01%, Sudan a los tiempos de exposición 2 y 4 horas, obtuvo pesos de 28 y 25 g respectivamente; en cambio, la respuesta de peso en Master a 2 horas de exposición siguió manteniendo un promedio de 38 g; a diferencia de Miel, que solo reportó un peso de 25 g a un tiempo de exposición de 4 horas, debido a que no se obtuvo semilla para su evaluación de esta variable.

Así mismo, todas las variedades a la concentración 0.05% a dos horas de exposición (misma Figura 4.12), hubo pérdida de planta y por ende no hubo producción de semilla; a las 4 horas de imbibición en colchicina, la variedad Master obtuvo el mayor valor con 37 g y a las 6 horas nuevamente no se reportó evaluación por falta de semilla. En el caso de Miel, presentó un valor de 16 g a las 4 horas y tuvo un incremento a las 6 horas de exposición con 34 g; por último, la variedad Sudan no presentó semilla a las 4 horas y a las 6 horas de exposición resultó con un peso de mil semillas de 14 g.

Los resultados obtenidos en este estudio con respecto al peso de mil semillas coinciden con los resultados dados en la variable contenido de humedad, teniendo una correlación directa entre ambas variables como lo menciona la ISTA (2005), que existe una correlación entre el peso de mil semillas con su tamaño y contenido de humedad.

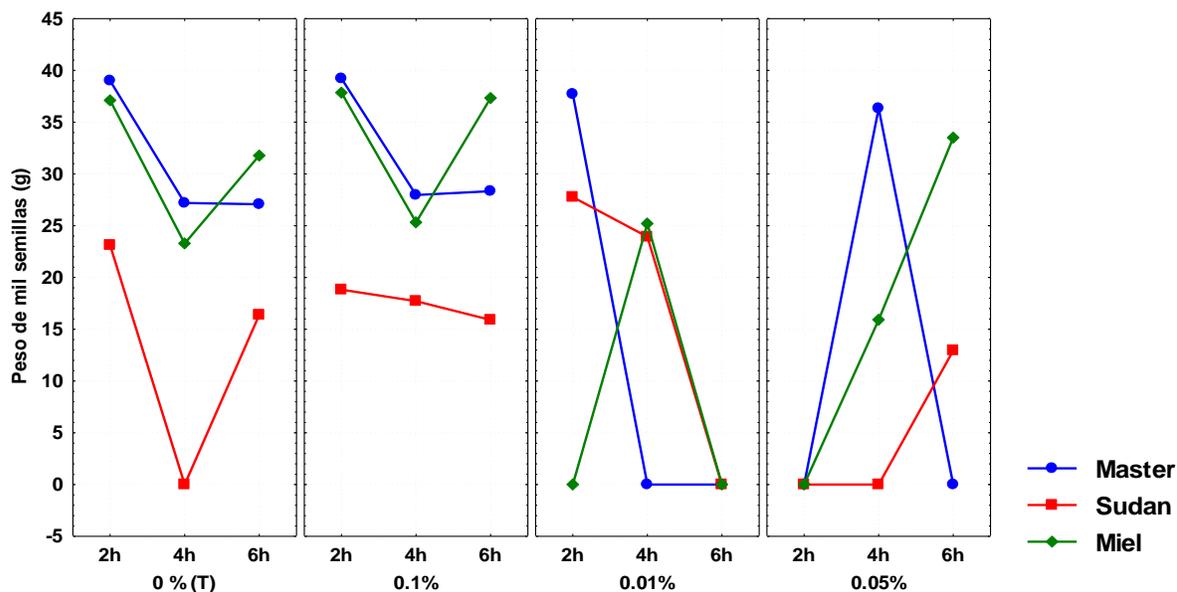


Figura 4.12 Peso de Mil Semillas de tres variedades de Sorgo generadas de la interacción diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

Conductividad Eléctrica (CE)

El análisis de varianza realizado para la variable de CE en las semillas producidas en los diferentes tratamientos (variedades, concentraciones y tiempos), se muestra el Cuadro 4.3, encontrando diferencias altamente significativas entre la evaluación individual de cada fuente de variación, así como de sus interacciones; este análisis afirma que al menos una variedad, a concentración, un tiempo de exposición, generaron diferente valor de conductividad eléctrica en la semilla, además de reflejar un efecto cuando se da la interacción entre las fuentes con un Coeficiente de Variación de 8.23%, lo que indica que la dispersión de los datos no fueron tan variables en relación a su media y se llevó con buen manejo el experimento.

Generadas las diferencias altamente significativas en el análisis de varianza, se realizó una prueba de comparación entre las medias de variedades a través de Diferencias Mínimas Significativas (DMS) con nivel de significancia de $P \leq 0.05\%$, donde se generaron tres grupos estadísticos (Cuadro 4.3), la variedad Miel obtuvo la mayor lectura con $26.06 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ seguida de Sudan y Master con 25.08 y $22.05 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$.

En la prueba de comparación de medias entre concentraciones, la mayor concentración fue al 0.1% , dando $34.38 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$; seguido del Testigo (0%) con la segunda mayor lectura con $29.75 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$. Así mismo, las concentraciones 0.01 y 0.05% no mostraron diferencias y se clasificaron en el último grupo estadístico con 16.30 y $17.14 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ respectivamente.

La comparación de medias para tiempos generó a 4 horas de exposición de colchicina la mayor cantidad de lixiviados con $26.58 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$. En un segundo grupo se encontró a 6 horas con $23.76 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ y 2 horas en el último con $22.84 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$

Cuadro 4.3 Cuadrados Medios y Comparación de Medias (DMS) en Pruebas de Conductividad Eléctrica de semilla de tres variedades de Sorgo producidas en diferentes concentraciones y tiempo de exposición en colchicina

| Fuentes de Variación | Grados de Libertad | Conductividad Eléctrica |
|--|--------------------|-------------------------|
| Variedad | 2 | 210.04** |
| Concentración | 3 | 2960.03** |
| Tiempo | 2 | 182.12** |
| Variedad x Concentración | 6 | 459.54** |
| Variedad x Tiempo | 4 | 1308.71** |
| Concentración x Tiempo | 6 | 1782.50** |
| Var x Concen x Tiemp | 14 | 926.14** |
| Error | 108 | 4.04 |
| % CV | | 8.23 |
| Comparación de Medias entre Variedades | | |
| Master | | 22.05 C |
| Sudan | | 25.08 B |
| Miel | | 26.06 A |
| Comparación de Medias entre Concentraciones | | |
| Testigo | | 29.75 B |
| 0.1% | | 34.38 A |
| 0.01% | | 16.30 C |
| 0.05% | | 17.14 C |
| Comparación de Medias entre Tiempos | | |
| 2 Horas | | 22.84 C |
| 4 Horas | | 26.58 A |
| 6 Horas | | 23.76 B |

C.V. (%) = Porcentaje de Coeficiente de Variación; ** = Altamente Significativo, Prueba de diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$ %. Medias con diferente letra son grupos estadísticos diferentes.

De la interacción de variedades por concentraciones de la variable CE, las variedades Master y Miel en el tratamiento Testigo, obteniendo las mayores lecturas de $33 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ en ambas, en la siguiente concentración de 0.1% mantuvieron sus valores, pero a 0.01% redujeron su conductividad hasta $11 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$; ya en la siguiente en concentración de 0.05%, la variedad Master mantuvo su valor mínimo, mientras que Miel aumentó a $25 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ (Figura 4.13). Por su parte la variedad Sudan obtuvo la menor cantidad de lixiviados con $24 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$., En la siguiente concentración (0.1%) obtuvo un ascenso en la conductividad de $38 \mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ y para las concentraciones 0.01 y 0.05%, disminuyó hasta 25 y 15 $\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$ respectivamente como se muestra en la Figura 4.13.

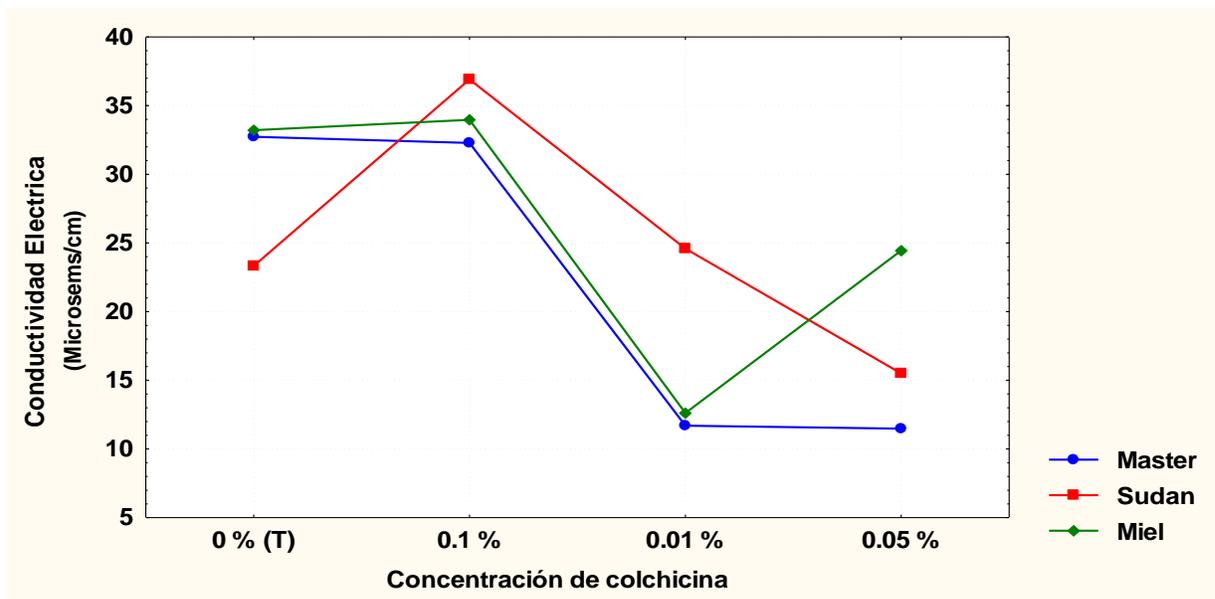


Figura 4.13 Conductividad Eléctrica de tres variedades de Sorgo generada de diferentes concentraciones en colchicina

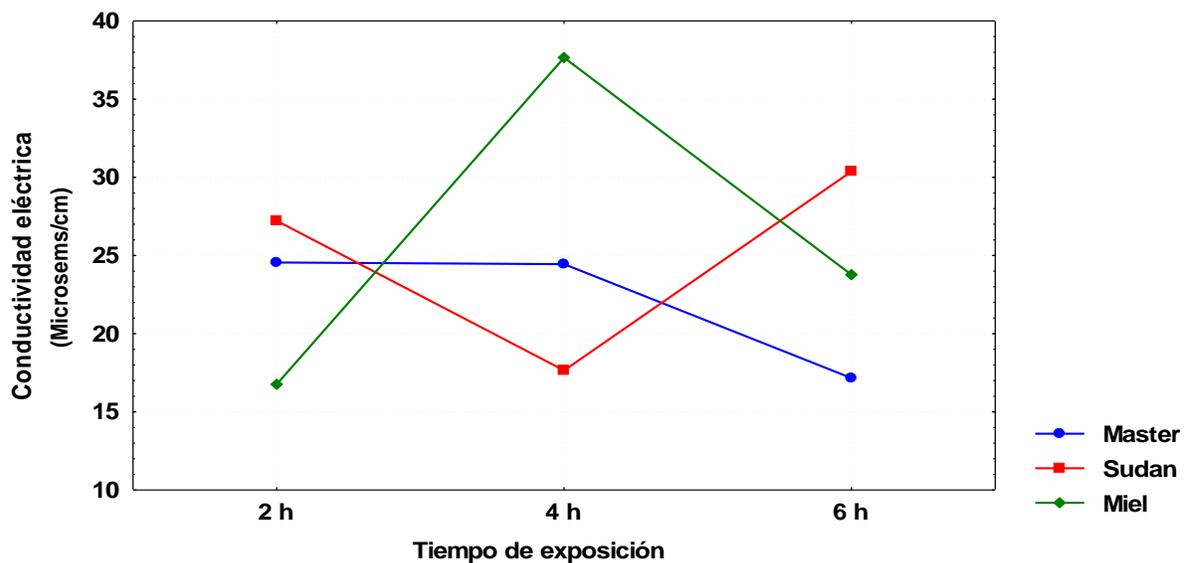


Figura 4.14 Conductividad Eléctrica de tres variedades de Sorgo generada de diferentes tiempos de exposición en colchicina

En Figura 4.14, se muestra la interacción de variedades por tiempos de exposición, donde la variedad Sudan a 2 horas de exposición obtuvo la mayor lectura de lixiviados con $27 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$; seguida de Master y Miel con 25 y $17 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$; esta última variedad a 4 horas de exposición obtuvo el mayor valor de conductividad

(38 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$) y a las 6 horas disminuyó su lectura hasta 24 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$. Con respecto a la variedad Master, a las 2 y 4 horas de exposición, mantuvo un valor similar 25 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$, mientras que a 6 horas generó el menor valor de CE con 16 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$.

La interacción de variedades con tratamientos (concentraciones y tiempos de exposición) se muestran en la Figura 4.15, donde en el Testigo (0%) describe a las variedades Master y Sudan con una tendencia de menor a mayor conductividad en los tiempos de exposición, encontrando a Master de 31 a 34 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$ y Sudan de 34 a 36 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$; en cambio la variedad Miel solo consigue esta tendencia a 2 y 4 horas en un rango de 30 a 33 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$ y a las 6 horas obtuvo la menor conductividad eléctrica con 30 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$.

La variedad Sudan en la concentración 0.1%, siguió la misma tendencia que el tratamiento Testigo, a las siguientes horas de exposición aumentó su conductividad de 34, 38 y 39 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$ respectivamente (Figura 4.15). En las variedades Miel y Master a las 2 horas de exposición obtuvieron valores de 33 y 32 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$, y a las 4 horas disminuyeron un poco (32 y 30 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$), pero a las 6 horas de exposición, nuevamente aumentaron su lectura a 36 y 34 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$.

Con respecto a la concentración de 0.01%, la variedad Master a las 2 horas de exposición obtuvo un valor de 33 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$ y Sudan con 41 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$. Mientras que a las 4 horas, Miel obtuvo una conductividad de 37 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$ y Sudan bajó su valor con 33 $\mu\text{S.cm}^{-1}\text{.g}^{-1}$. Cabe mencionar que las variedades en algunos tiempos de exposición no presentaron semilla para evaluación, Master a 4 y 6 horas, Miel a las 2 y 6 horas y Sudan a las 6 horas, pudiera ser que no solo se debiera al ataque de las plagas sino también a un efecto propio de la colchicina como menciona Sourour *et al.* (2014), quienes al aplicar diferentes tratamientos (concentraciones y tiempos de exposición a colchicina) en tres variedades de cebada (Rihane, Manel y Martin), encontraron una disminución de germinación en las variedades Rihane y Manel, mientras que en la variedad Martin se inhibió completamente su germinación.

Así mismo, en la concentración de 0.05% a las 2 horas de exposición, se presentó el mismo problema de producción en las variedades estudiadas, así como la variedad Sudan a las 4 horas de exposición, por lo que no se pudo evaluar el efecto de los tratamientos. Sin embargo, la variedad Sudan a las 6 horas sobresalió con el mayor valor de conductividad eléctrica con $47 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$; el segundo mayor valor de CE, se presentó en las variedades Miel y Master a las 4 horas de exposición con 45 y $33 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ respectivamente, estos valores, se debieron a que la semilla producida pudo haber tenido alteraciones en las membranas citoplasmáticas y en consecuencia un daño, generando una lectura mayor en la CE, como lo menciona Rita *et al.* (2001). Mientras que la variedad Miel a las 6 horas de exposición generó el menor valor con $28 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$.

Las diferencias en los resultados de conductividad eléctrica encontrados, pueden tener efectos positivos o negativos en la calidad fisiológica de la semilla producida, como menciona Mancera *et al.* (2007), quienes encontraron valores de CE de 54, 25 y $23 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ en semillas de maíz, generaron porcentajes de germinación de 30, 74 y 80%, concluyendo que una mayor lectura de conductividad reducirá la germinación. Coincidiendo con Pontevedra (2012), quien considera que la integridad de la membrana celular es el primer evento fisiológico del proceso de deterioro de las semillas; dando lugar a que lotes de semillas con un menor vigor exhiben una mayor pérdida de los constituyentes celulares, por ende iones inorgánicos y mayor valor de CE.

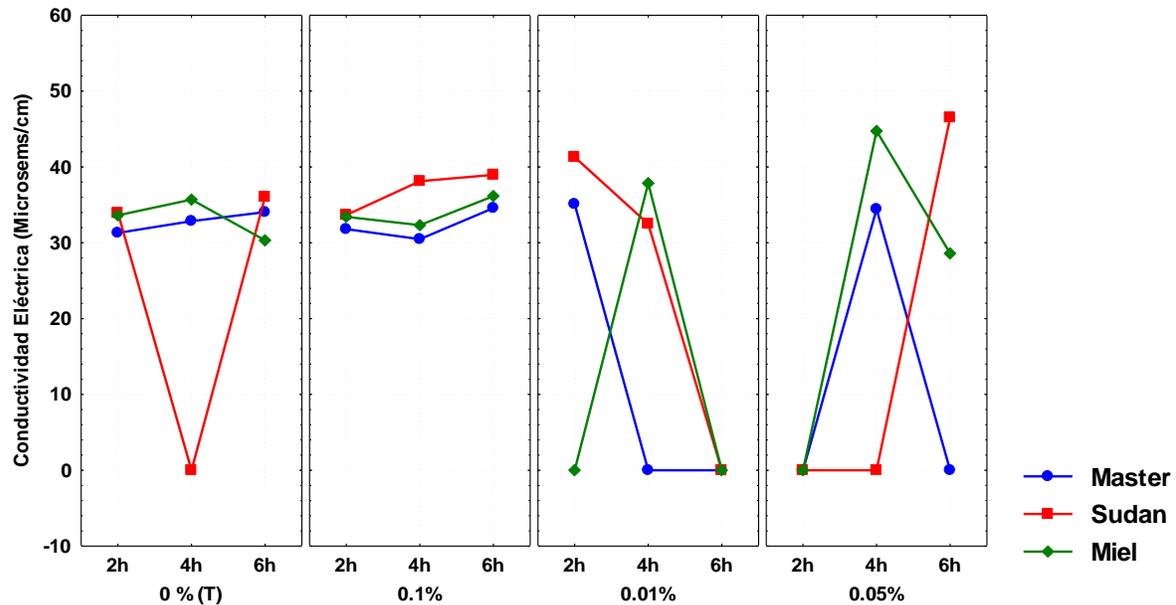


Figura 4.15 Conductividad Eléctrica de semilla de tres variedades de Sorgo generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

Capacidad de Germinación

En el resultado del análisis de varianza de la variable PN, se encontraron diferencias altamente significativas en las fuentes de variación, variedades, concentraciones y tiempos de exposición a colchicina; así mismo en la interacción de las fuentes de variación, lo cual indica que al menos una variedad, una concentración y algún tiempo de exposición generó un porcentaje PN diferente, dando lugar a que en las interacciones, existiera también un efecto en la germinación, presentando un CV de 6.45% como se muestra en el Cuadro 4.4, indicando que no se tienen valores tan distantes de la media general y tenemos una alta confiabilidad de los datos.

Referente al análisis de varianza realizado en la variable PA, existieron diferencias altamente significativas en las fuentes de variación como se observa en el Cuadro 4.4; presentando también diferencias en la interacción entre las variables, marcando que al menos una variedad tuvo una respuesta diferente a las demás, que una de las concentraciones presento porcentajes de plántulas anormales diferente, así como en uno de los tiempos de exposición; dando un CV de 72.37%

El Cuadro 4.4 muestra que el análisis de varianza en la variable SSG, obtuvo diferencias altamente significativas en la fuente de variación variedades y en la interacción variedades por tiempos de exposición, por consecuencia alguna variedad tuvo una respuesta diferente al resto y alguna de las interacciones generó un valor diferente en SSG, dando un CV de 168.32%, que como se mencionó anteriormente, valores distantes a la media provenientes de las variedades y la interacción produce valores altos en el CV.

Cuadro 4.4 Cuadrados Medios de Capacidad de Germinación en semilla producida al aplicar diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

| Fuentes de Variación | Grados de Libertad | Plántulas Normales | Plántulas Anormales | Semilla Sin Germinar |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Variedad | 2 | 2734.33** | 817.00** | 84.00** |
| Concentración | 3 | 24871.40** | 334.03** | 31.11 NS |
| Tiempo | 2 | 2056.33** | 343.00** | 22.33 NS |
| Variedad x Concentración | 6 | 4336.40** | 177.59** | 10.66 NS |
| Variedad x Tiempo | 4 | 4843.66** | 417.00** | 32.83** |
| Concentración x Tiempo | 6 | 10419.74** | 191.59** | 11.22 NS |
| Var x Concen x Tiemp | 14 | 5555.74** | 83.81** | 8.61 NS |
| Error | 108 | 16.37 | 15.37 | 5.03 |
| % CV | | 6.45 | 72.37 | 168.32 |

C.V. (%) = Porcentaje de Coeficiente de Variación; ** = Altamente Significativo; NS= No significativo.

Comparación de Medias en Capacidad de Germinación

Dadas las diferencias altamente significativas en el análisis de varianza de PN, se realizó una prueba de Diferencias Mínimas Significativas (DMS), con significancia del $P \leq 0.05\%$ como se muestra en el Cuadro 4.5; donde se obtuvieron tres grupos estadísticos, teniendo en el primer grupo a la variedad Miel con 68.83%, seguido de Master 64.91%, y por último Sudan con el menor porcentaje de plántulas normales 54.25%.

Cuadro 4.5 Comparación de Medias (DMS) en Prueba Fisiológica Capacidad de Germinación

| | Plántulas Normales | Plántulas Anormales | Semillas Sin Germinar |
|--|---------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Comparación de Medias entre Variedades | | | |
| Master | 64.91 B | 1.33 C | 0.33 B |
| Sudan | 54.25 C | 9.58 A | 2.83 A |
| Miel | 68.83 A | 5.33 B | 0.83 B |
| Comparación de Medias entre Concentraciones | | | |
| Testigo | 82.88 B | 4.77 B | 1.22 B |
| 0.1% | 87.77 A | 9.55 A | 2.66 A |
| 0.01% | 41.66 C | 2.22 C | 0.55 B |
| 0.05% | 38.33 D | 5.11 B | 0.88 B |
| Comparación de Medias entre Tiempos | | | |
| 2 Horas | 62.41 B | 3.08 C | 1.16 B |
| 4 Horas | 69.33 A | 4.83 B | 0.75 B |
| 6 Horas | 56.25 C | 8.33 A | 2.08 A |

Prueba de diferencia mínima significativa (DMS) con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$ %. Medias con diferente letra son grupos estadísticos diferentes.

Para la comparación de medias entre concentraciones (Cuadro 4.5), se obtuvieron cuatro grupos estadísticos, generado el mayor porcentaje de PN en la concentración de 0.1% con el 87.8%, seguido el Testigo clasificado en el segundo grupo (82.88 %), como tercer y cuarto grupo estadístico, las concentraciones de 0.01 y 0.05% generaron porcentajes de 41.66 y 38.33% respectivamente.

En el caso de la prueba de comparación de medias entre tiempos de exposición a colchicina, generó tres grupos estadísticos, donde el mayor porcentaje de PN fue a 4 horas de exposición con 69.33%; después a las 2 horas obtuvo un 62.41% de germinación y a 6 horas de exposición a colchicina se clasifica en el último grupo con tan solo con 56.25% (Cuadro 4.5).

A través de la existencia de diferencias altamente significativas en el análisis de varianza realizado para la variable PA, se realizó una prueba de comparación de medias (DMS) con significancia del $P \leq 0.05$ % (Cuadro 4.5), formando tres grupos estadísticos, en el primero se encontró la variedad Sudan con el mayor porcentaje de PA con 9.58%, seguida de la variedad Miel con 5.33% y en el último grupo la variedad Master con el menor porcentaje de anormalidades (1.33%), sobresaliendo

nuevamente esta variedad con la mejor calidad entre los materiales genéticos estudiados, debido a que presentó un porcentaje bajo de anomalías.

La clasificación de medias entre concentraciones, como se muestra en el Cuadro 4.5, se reflejaron tres grupos estadísticos, siendo la mayor concentración 0.1 % la que presentó mayor número de anomalías con 9.55%, en el segundo grupo la concentración 0.05% y el Testigo con 5.11 y 4.77% respectivamente; así mismo, la concentración de colchicina a 0.01%, generó la menor cantidad de PA con 2.22% y clasificada como el último grupo, pero es la concentración que resultó con el menor efecto negativo en la calidad fisiológica de las semillas producidas en el estudio.

Respecto a la clasificación de medias entre tiempos de exposición a colchicina en el Cuadro 4.5, se muestran tres grupos estadísticos, donde el mayor porcentaje de PA se presentó en el mayor tiempo de exposición (6 horas) con 8.33%, seguido de un tiempo de 4 horas de exposición con 4.83% y por último en el tiempo de 2 horas dando un porcentaje de 3.08%, siendo este el mejor tiempo de exposición a la colchicina sin afectar la respuesta fisiológica de las semillas producidas.

Encontradas las diferencias altamente significativas en la variable de SSG sobre las variedades (variedades por tiempos de exposición) se generó una clasificación de medias a través de (DMS) con significancia del $P \leq 0.05\%$. La comparación entre variedades solo diferenció dos grupos estadísticos, siendo la variedad Sudan la que mayor número de SSG generó con 2.83%, el segundo grupo se tiene a las variedades Master y Miel, ambas con (0.33 y 0.83%) respectivamente.

En el análisis de varianza de esta variable (SSG), no se encontraron diferencias significativas entre concentraciones; sin embargo, en la comparación de medias solo se marcaron dos grupos estadísticos diferentes (Cuadro 4.5), el primer grupo dado por la mayor concentración (0.1%) con el mayor número de semillas sin germinar de 2.66%, y el siguiente formado por el Testigo y las concentraciones de 0.01 y 0.5%, quienes estadísticamente fueron iguales. Por último, la comparación de

medias entre tiempos de exposición a colchicina, reflejan dos grupos estadísticos, siendo el mayor tiempo de exposición (6 horas) con el resultado de mayor número de semillas sin germinar con 2.08%, en el segundo grupo involucró a los tiempos 2 y 4 horas sin mostrar diferencias estadísticas.

Interacciones de tratamientos en la Capacidad de Germinación

Los porcentajes de PN generados en la variedad Master en interacción con concentraciones de colchicina, se muestran en la Figura 4.16, donde se observó que el tratamiento (Testigo y concentración 0.1%) generaron los mayores valores, ambas con el 98% de germinación, siendo los mejores resultados en la calidad fisiológica de la semilla; en las siguientes concentraciones (0.01 y 0.05%) hubo una disminución drástica en los porcentajes hasta de 32% en concentración 0.01%, así mismo se mantiene este porcentaje a la concentración 0.05%, debido a que en el estudio no se contó con semilla en estos tratamientos. En la variable de plántulas anormales en la variedad (Master), el Testigo y la concentración de 0.1%, presentaron valores similares (ambas con el 1% PA); mientras que en la variable de SSG en las diferentes concentraciones no se obtuvieron porcentajes.

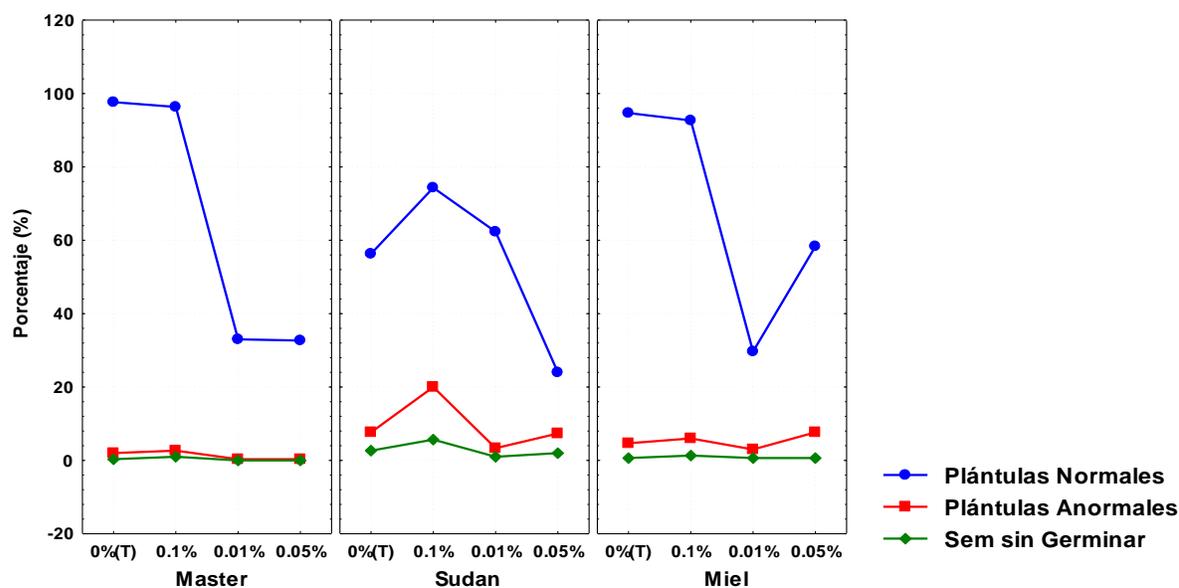


Figura 4.16 Respuesta de Capacidad de Germinación de semilla de tres variedades de Sorgo generada de la interacción de diferentes concentraciones en colchicina

Con respecto a la variedad Sudan, en el tratamiento Testigo se obtuvo una germinación de 56% (Figura 4.16), reflejando que esta variedad aún sin aplicación de tratamiento con colchicina produjo semillas de baja calidad fisiológica. Sin embargo, al ser tratada a una concentración de 0.1% de colchicina, se produjo semillas con mayores porcentajes de plántulas normales hasta del 74%, posteriormente en las siguientes concentraciones, la variedad Sudan presentó un decline en sus porcentajes de germinación, por ejemplo, a 0.05% se produjo el menor valor con tan solo 24% de germinación.

Esta misma variedad, en su respuesta de PA en las diferentes concentraciones, mostró que a una concentración de 0.1% produjo el mayor porcentaje con 20%; mientras que el Testigo y la concentración a 0.05%, mantuvieron sus valores similares (8% de anomalías). En la variable de semillas sin germinar, destaca la concentración de 0.1% con un valor de 4%, el resto de las concentraciones generaron valores inferiores de 1% (Figura 4.16).

En el caso de la variedad Miel, tuvo una respuesta similar entre el Testigo y la concentración de 0.1%, donde produjeron semillas con una germinación de 95%; en contraste con la concentración de 0.01%, quien produjo semillas de solo 30% de PN, por otro lado, la concentración de 0.05% tuvo un pequeño incremento de 60% de germinación (Figura 4.16). Es de resaltar que en esta variedad, en todas las concentraciones se tuvieron porcentajes inferiores al 8% en PA y no generaron valores en la variable de SSG.

La interacción de la variedad Miel en el tratamiento Testigo a 2 horas de exposición obtuvo el 100% de germinación, a las 4 horas disminuyó hasta el 90%, y después a las 6 horas presentó un pequeño aumento de 96% de germinación; lo que nos indica que esta variedad produjo semilla de alta calidad fisiológica, rebasando el porcentaje de 85% que comercialmente es óptimo según el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2016).

Así mismo, Miel a una concentración de 0.1% a 2 horas de exposición, nuevamente generó su mejor valor de PN con el 96%, al transcurrir el tiempo (4 horas) se reflejó un ligero decline, que a las 6 horas de exposición llegó hasta 90% de germinación como se muestra en la Figura 4.17; este porcentaje se mantuvo en la concentración de 0.01% a un tiempo de exposición de 4 horas, cabe mencionar que en esta concentración no se generó semilla para evaluación en los tiempos a 2 y 6 horas como se había descrito anteriormente, al igual que en la concentración de 0.05% a tiempo de exposición de 2 horas. Sin embargo, Miel produjo semillas en esta última concentración a 4 horas de colchicina con un promedio de 82% de PN, y a las siguientes 6 horas de exposición obtuvo un ascenso de 96% de germinación.

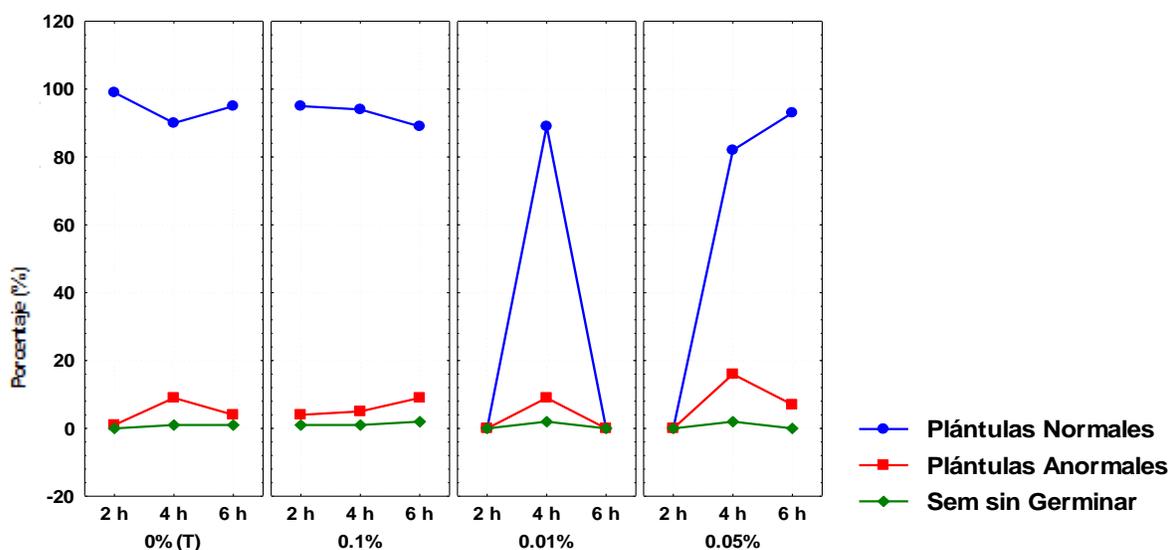


Figura 4.17 Respuesta de Capacidad de Germinación de la variedad Miel generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

Los porcentajes de plántulas normales generados de la interacción de la variedad Sudan por tratamientos (concentraciones y tiempos de exposición) se muestra en la Figura 4.18, donde el tratamiento Testigo obtuvo el mejor valor de PN a un tiempo de 2 horas exposición en colchicina con 89%, posteriormente a 6 horas disminuyó su valor hasta el 81%.

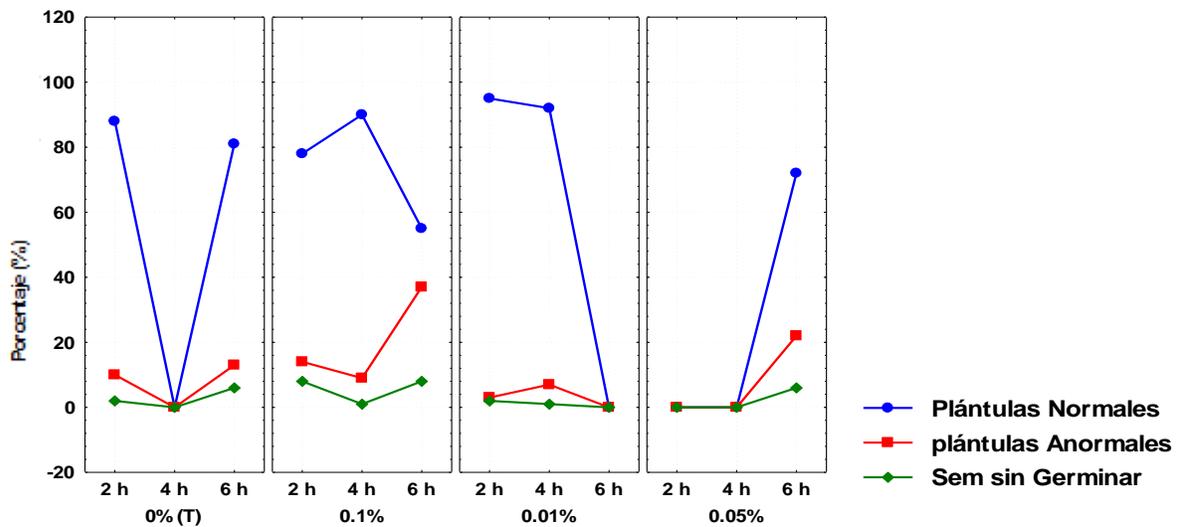


Figura 4.18 Respuesta de Capacidad de Germinación de semilla de la variedad Sudan generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

Esta variedad a la concentración de 0.1% en 2 horas de exposición, obtuvo un valor del 79% de germinación, aumentando considerablemente a un tiempo de exposición de 4 horas con 90% de PN, en cambio al tiempo de 6 horas de exposición a colchicina se generó un drástico descenso en la germinación hasta llegar a 56%. Por otra parte, Sudan a la concentración del 0.01% a las 2 y 4 horas de exposición registraron porcentajes de germinación mayores con 96 y 91% respectivamente, estos efectos posiblemente se generaron por algún cambio de su constitución genética de la variedad, como lo encontró García (2015), al evaluar tomate de cáscara diploide y tetraploide, encontró mayor calidad fisiológica en el tetraploide.

En contraste, esta concentración a un tiempo de 6 horas de exposición, no presentó producción de semillas para evaluación, esto mismo ocurrió en la concentración de 0.05% a las 2 y 4 horas; sin embargo, a 6 horas de exposición se logró producir semilla, la cual obtuvo una germinación de 73%. Esta disminución en la germinación es similar al estudio realizado por Sourour *et al.* (2014) en tres variedades de cebada (Rihane, Manel y Martin), expuestas a diferentes concentraciones y tiempos de exposición a colchicina, produciendo una disminución de la calidad fisiológica en Rihane y Manel, mientras la variedad Martin tuvo una inhibición completa de germinación.

Cabe señalar, que la respuesta de PA en la variedad Sudan, marcaron en el tratamiento Testigo a 2 horas de exposición un 10% y a 6 horas se produjo un aumento de hasta 14% de anomalías; teniendo esta respuesta de PA en la concentración de 0.1 % a 2 horas de exposición, posteriormente a 4 horas disminuyó un poco, pero a un tiempo de 6 horas, nuevamente aumentó generando el mayor porcentaje de PA con 38%,

En la concentración de 0.01%, Sudan solo se obtuvo una respuesta en la prueba de capacidad de germinación a las 4 horas de exposición, resultando un 6% de PA, en esta concentración no se generaron valores a 2 y 6 horas de exposición y en concentración de 0.05% a 2 y 4 horas; resultando únicamente a un tiempo de 6 horas de exposición, el segundo mayor valor de plántulas anormales en el estudio con el 22%.

La variedad Master en interacción de concentraciones y tiempos de exposición a colchicina, generó en el Testigo y la concentración de 0.1% en todos los tiempos de exposición porcentajes de germinación por arriba del 95% como se muestra en la Figura 4.19, así mismo se presentó en las concentraciones de 0.01 y 0.05% a las 2 y 4 horas de exposición el 100% germinación respectivamente, además de dar resultados con valores mínimos de plántulas anormales y semillas sin germinar; lo cual indica que la variedad Master obtuvo semilla de alta calidad fisiológica aun cuando fue expuesta a concentraciones y tiempos de exposición a colchicina, es probable que se tenga algún cambio en su constitución genética, sin embargo la similitud en los porcentajes de PN no permite notar tal diferencia, así mismo la falta de semilla pudiera ser un indicador de algún posible trastorno celular.

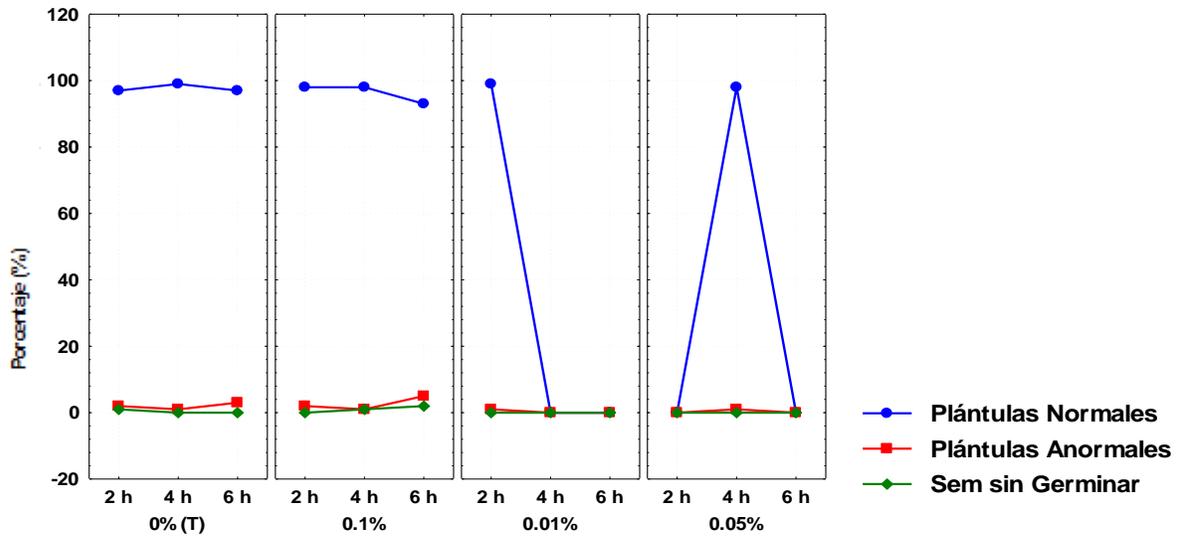


Figura 4.19 Respuesta de Capacidad de Germinación de semilla de la variedad Master generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

Calidad Fisiológica de Vigor

Longitud Media de Plúmula (LMP)

En el análisis de varianza realizado en la variable de LMP, resultaron diferencias altamente significativas en el estudio individual de las fuentes de variación, así como en las interacciones como lo muestra en el Cuadro 4.6, indicando que existió un efecto diferente en la variable de vigor por causas de los tratamientos aplicados en al menos una variedad, una concentración, un tiempo de exposición a colchicina y en algunas de las interacciones, este análisis originó un CV de 13.11%, expresando que los valores promedios no fueron tan distantes a la media general de los resultados obtenidos.

Cuadro 4.6 Cuadrados Medios y Comparación de Medias (DMS) en Pruebas Fisiológicas de Vigor (LMP Y LMR) de semillas de tres variedades de sorgo producidas en diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

| Fuentes de Variación | Grados de Libertad | Longitud Media de Plúmula | Longitud Media de Radícula |
|--|--------------------|---------------------------|----------------------------|
| Variedad | 2 | 11.76** | 202.52** |
| Concentración | 3 | 111.22** | 622.50** |
| Tiempo | 2 | 4.73** | 13.66** |
| Variedad x Concentración | 6 | 21.20** | 70.33** |
| Variedad x Tiempo | 4 | 14.33** | 114.29** |
| Concentración x Tiempo | 6 | 44.46** | 205.68** |
| Var x Concen x Tiemp | 14 | 21.43** | 98.60** |
| Error | 108 | 0.38 | 0.62 |
| % CV | | 13.11 | 8.80 |
| Comparación de Medias entre Variedades | | | |
| Master | | 4.11 B | 9.44 B |
| Sudan | | 3.38 C | 6.69 C |
| Miel | | 4.32 A | 10.71 A |
| Comparación de Medias entre Concentraciones | | | |
| Testigo | | 3.38 B | 12.11 B |
| 0.1% | | 5.58 A | 12.95 A |
| 0.01% | | 2.51 C | 5.20 C |
| 0.05% | | 2.33 C | 5.52 C |
| Comparación de Medias entre Tiempos | | | |
| 2 Horas | | 4.32 A | 8.97 B |
| 4 Horas | | 4.16 B | 9.46 A |
| 6 Horas | | 3.58 C | 8.40 C |

C.V. (%) = Porcentaje de Coeficiente de Variación; * * = Altamente Significativo; Prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) con un nivel de significancia de $P \leq 0.05\%$. Medias con diferente letra son grupos estadísticos diferentes.

Longitud Media de Radícula (LMR)

Respecto a variable de LMR, al generarse el análisis de varianza se encontraron diferencias altamente significativas en la evaluación individual de las fuentes de variación, mismo efecto ocurrió en sus interacciones (Cuadro 4.6), Por lo tanto esta variable tuvo valores promedios de vigor en longitud de radícula diferentes en al menos una de las fuentes de variación (variedad, concentración y tiempo a exposición de colchicina) y, consecuentemente al interaccionar estas, el CV generado en el análisis fue de 8.80%, describiendo que el estudio fue llevado de

buena manera con valores homogéneos y si tuvieron alguna variación en referencia a su media, no fue tan significativa.

Prueba de Comparación de Medias en Vigor a través de LMP y LMR

Realizado el análisis de varianza para la LMP, se procedió a realizar una comparación de medias a través de DMS con nivel de significancia de $p \leq 0.05\%$, (Cuadro 4.6), mismo que generó tres grupos estadísticos, clasificando en un primer grupo a la variedad Miel con 4.32 cm, siendo la mejor en el resultado de LMP, después la variedad Master con 4.11 cm, y en un tercer grupo la variedad Sudan con el menor promedio de longitud con 3.38 cm.

En la prueba de comparación de medias entre concentraciones, dió lugar a tres grupos estadísticos, siendo la concentración 0.1% de colchicina quien presentó el mayor promedio obteniendo 5.58 cm de longitud, seguido del Testigo que se clasificó en un segundo grupo con 3.38 cm, y el último grupo las concentraciones de 0.01 y 0.05% teniendo valores inferiores de 2.51 cm en LMP.

Referente a la comparación de medias entre tiempos de exposición a colchicina, se presentaron tres grupos estadísticos, siendo el tiempo de 2 horas quien produjo la mejor longitud con 4.32 cm, seguido el de 4 horas con 4.16 cm, y por último el tiempo de exposición prolongada de 6 horas quien resultó con plántulas de tan solo 3.58 cm.

A través de las diferencias altamente significativas en el análisis de varianza realizado en la variable LMR, se realizó una prueba de comparación de medias (DMS) con nivel de significancia del $P \leq 0.05\%$ entre las variedades estudiadas, (Cuadro 4.6), encontrando tres grupos estadísticos donde la variedad Miel resultó con el mayor promedio de radícula con 10.71 cm, después siguió la variedad Master con 9.44 cm, y en el último grupo la variedad Sudan con tan solo 6.69 cm de longitud de raíz.

Con respecto a la prueba de comparación de medias entre las concentraciones de colchicina, se obtuvieron tres grupos estadísticos, donde se clasificó el primer y mejor grupo a la concentración 0.1% de colchicina con 12.95 cm LMR, este resultado coincidió con Kannan *et al.* (2013), quienes encontraron un aumento de elongación de raíz en sorgo tratado con colchicina 0.1% debido a la influencia que tiene sobre el nivel de auxina endógena que potenció la formación de raíces vigorosas. Sin embargo, el Testigo se clasificó en un segundo grupo con 12.11 cm de longitud; mientras que las concentraciones 0.01 y 0.05% se encontraron en el tercer grupo con valores inferiores de 5.52 cm (Cuadro 4.6), efecto contrario al 0.1%. Por último, la prueba de comparación de medias entre tiempos de exposición, también reflejó tres grupos estadísticos, donde el tiempo a 4 horas generó la mayor longitud de radícula con 9.46 cm, después el tiempo a 2 horas con 8.97 cm, mientras que el tiempo a 6 horas de exposición en colchicina generó el menor promedio con 8.40 cm de longitud como se observa en el (Cuadro 4.6).

Interacciones del Vigor a través de LMP y LMR

En la interacción variedades por concentraciones de colchicina en la variable de LMP; se logró observar que la variedad Master tuvo una tendencia similar al Testigo y la concentración 0.1% con valores similares de 6 cm longitud (Figura 4.20), disminuyendo en la concentración 0.01% hasta 1.7 cm de LMP, y teniendo un aumento en la siguiente concentración 0.05% con 2 cm de plántula.

En la misma interacción en la variable LMR de la variedad Master, se observó una respuesta donde el Testigo obtuvo un valor de 14 cm de longitud, aumentando un poco a una concentración de 0.1% (14.2 cm), teniendo un descenso considerable en la siguiente concentración (0.01% resultando 4.6 cm de longitud) y un pequeño aumento en 0.05% de colchicina de tan solo 5 cm, como se muestra en la Figura 4.20.

En el caso de la variedad Sudan por las diferentes concentraciones de colchicina, se encontró una respuesta favorable en la variable LMP, donde el Testigo

resultó con un valor de 3.8 cm de longitud promedio en las plántulas normales, aumentando en la siguiente concentración de 0.1% al obtener el valor más alto con 4.2 cm, pero en las siguientes concentraciones de 0.01 y 0.05% se presentó una curva de disminución dando una respuesta de longitud hasta de 1.4 cm, lo que se logró observar la variedad Sudan sufrió un efecto negativo al ser tratada con colchicina a estas concentraciones.

Como se observa en la Figura 4.20, los valores de LMR son mayores en la interacción de las variedades por las concentraciones de colchicina, tanto en la variedad Master como ahora en Sudan, quien presentó en el tratamiento Testigo un valor de 8 cm de raíz, nuevamente la concentración 0.1% resultó con el mayor valor de longitud con 9.6 cm, y como era de esperarse las siguientes concentraciones tuvieron un decline en sus valores, hasta presentar el valor más bajo en esta variable como fue la concentración de 0.05% con tan solo 2.2 cm de LMR. Por su parte la variedad Miel en esta misma interacción en respuesta a la variable de LMP, resultó con valores similares en el tratamiento Testigo y concentración 0.1% ambos con 8 cm, pero se vio afectada en una concentración de 0.01% al obtener una disminución hasta 1.7 cm de longitud y un pequeño aumento en la concentración de 0.05% con 3.9 cm de LMP.

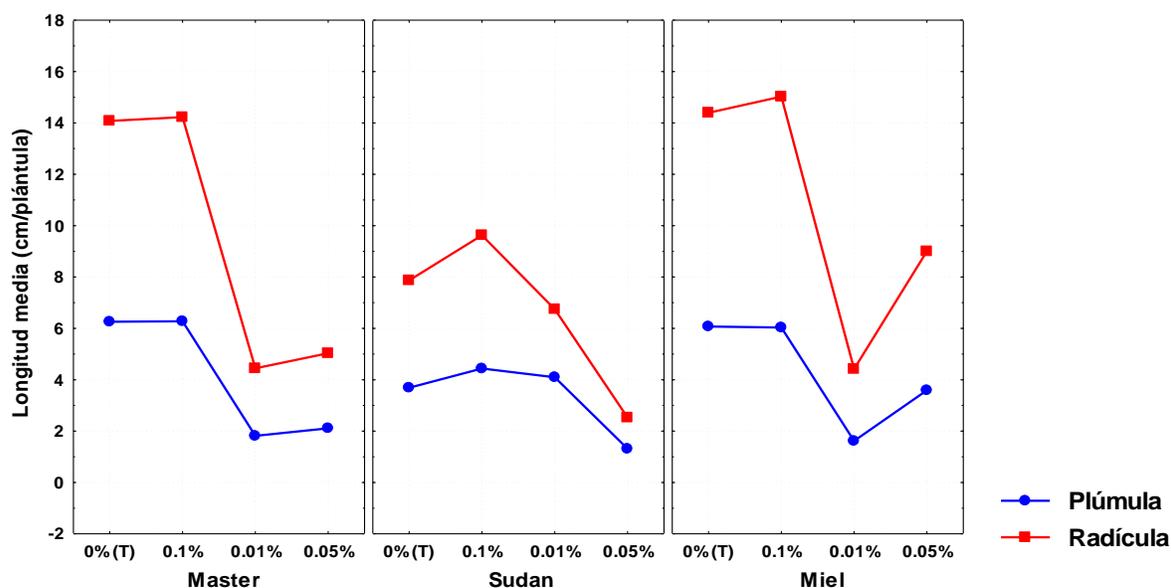


Figura 4.20 Longitud Media de Plúmula y Radícula de tres variedades de Sorgo generadas de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

Así mismo, la variedad Miel generó en el tratamiento Testigo un valor promedio en la variable de LMR de 14.5 cm y se tuvo un efecto positivo en la concentración 0.1% al obtener una longitud promedio de raíz de 15.2 cm (Figura 4.20); cabe señalar que el efecto originado sobre la calidad fisiológica en LMR de esta variedad, posiblemente provenga de un cambio a nivel cromosómico o alguna alteración a nivel celular, esta hipótesis se presta debido al estudio realizado por García (2015) quien obtuvo una calidad superior en LMR en materiales de origen tetraploide de tomate de cascara. Sin embargo, nuevamente se presentó una reducción considerable en la siguiente concentración de 0.01% con 4.2 cm, y como sucedió en LMP se llegó a tener un pequeño aumento en 0.05% con una longitud de raíz de 9.1 cm, como se muestra en la misma Figura.

La interacción de la variedad Miel por tratamientos (concentraciones y tiempos de exposición) en la variable de longitud media de plúmula, produjo en el tratamiento Testigo a 2 horas de exposición el mayor promedio de LMP con 7.1 cm, a las 4 horas disminuyó la longitud a 5 cm y terminó a las 6 horas con 6.4 cm. La respuesta de LMP de esta misma variedad en la siguiente concentración de 0.1% a 2 horas de exposición, mantuvo una longitud de 6.4 cm y a los siguientes tiempos, presentó un decline con valores similares ambos de 5.8 cm; en la concentración de 0.01% se obtuvo solo una respuesta de LMP a las 4 horas presentando 5 cm de longitud promedio; debido a lo que anteriormente se mencionó en la concentración a las 2 y 6 horas de exposición de colchicina, así como en la concentración de 0.05% a 2 horas por no haber producido semilla en estos tratamientos. En esta última concentración (0.05%), a un tiempo de 4 horas de exposición a colchicina se generó un promedio de LMP de 4.5 cm siendo el menor valor de todas las respuestas de LMP, mientras que a las 6 horas de exposición se encontró una longitud de 6.3 cm.

En la misma variedad Miel en su interacción concentraciones por los tiempos de exposición a colchicina en la variable LMR, presentó en el Testigo a 2 horas de exposición una longitud de 15.5 cm, seguido de una disminución a un tiempo de 4

horas de exposición con 13.2 cm, y posteriormente a tiempo de 6 horas volvió a presentar un aumento de 14.8 cm (Figura 4.21). Así mismo, en la concentración 0.1% tuvo una tendencia similar que el testigo, donde a 2 horas de exposición presentó la mayor LMR con 15.6 cm, nuevamente se tuvo una disminución a 4 horas con 14.4 cm, y un aumento en el tiempo de 6 horas de 15.5 cm de longitud de radícula.

En la interacción de esta variedad por la concentración de 0.01%, solo se obtuvo resultado a las 4 horas de exposición generando un promedio de longitud de 13.5 cm, cabe recordar que no se presentaron valores a los tiempos de 2 y 6 horas por falta de semilla, mismo suceso ocurrió en la concentración de 0.05% a las 2 horas de exposición. Sin embargo, como se muestra en la Figura 4.21, se obtuvo una línea ascendente donde a las 4 horas de exposición presentó una longitud de 11.8 cm, posteriormente a las 6 horas aumentó hasta 15.4 cm.

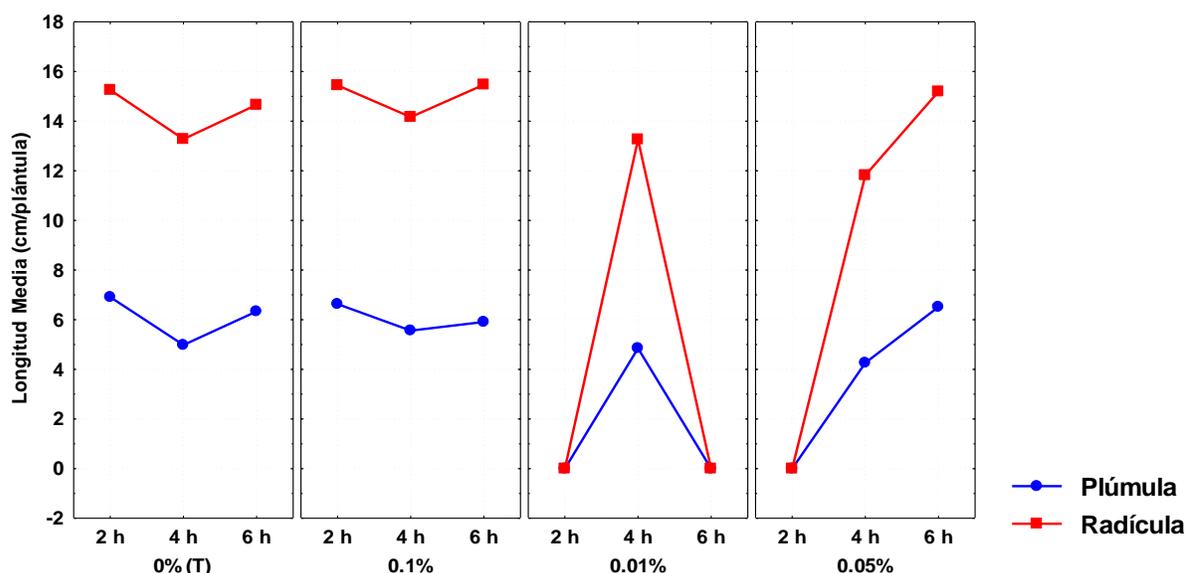


Figura 4.21 Longitud Media de Plúmula y Radícula de semilla de la variedad Miel generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

En el caso de la variedad Sudan, la respuesta del vigor a través de LMP en su interacción concentraciones por los tiempos de exposición a colchicina, mostrada en la misma Figura 4.22, resultó que el Testigo a los tiempos de 2 y 6 horas de

exposición presentaron valores de longitud similares de 5.9 cm; mientras que en la concentración 0.1% presentó en los tres tiempos valores en el rango de 4.5 a 6 cm, a diferencia del efecto de la variedad Sudan en la concentración de 0.01%, se destacó que a las 2 horas a exposición de colchicina se presentó el mayor valor LMP con 6.5 cm, seguido con una ligera disminución a las 4 horas obteniendo un promedio de longitud de 6 cm, mientras que a la concentración de 0.05% a las 6 horas de exposición se mostró uno de los más bajos promedios de longitud de plúmula con 4 cm. Como es de notar de manera general, se encontró un efecto en los tratamientos coincidiendo nuevamente con lo que mencionado por García (2015), que materiales de origen tetraploide obtienen una calidad fisiológica de vigor en LMP comparado con diploides, pero en este estudio no se logra asegurar esta declaración por la falta de pruebas citogenéticas que nos lo pudieran afirmar que la semilla producida presentará una duplicación en el número de cromosomas.

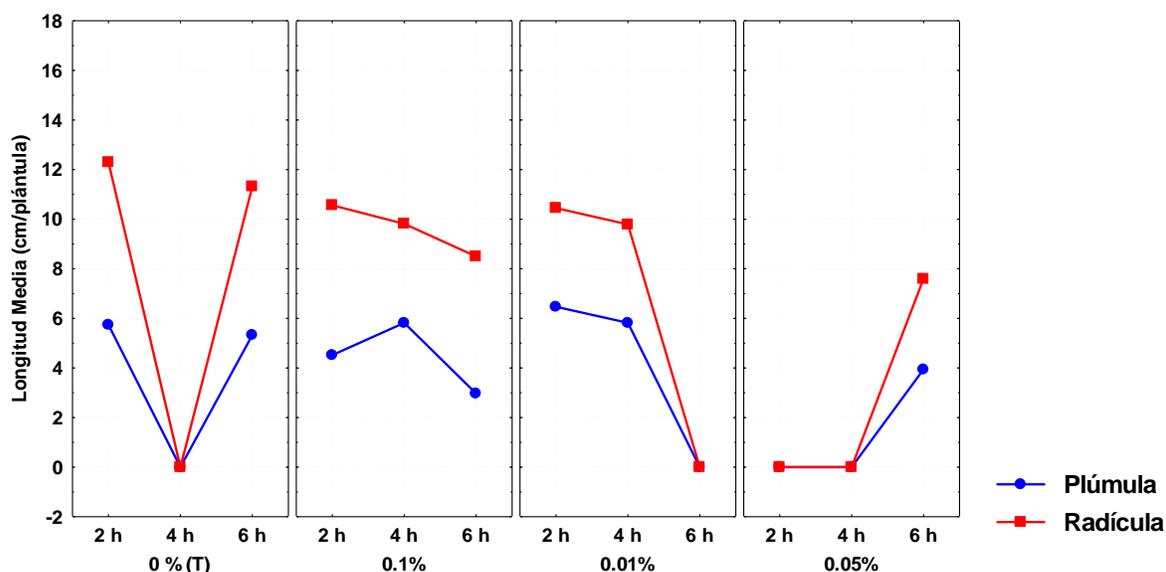


Figura 4.22 Longitud Media de Plúmula y Radícula de semilla de la variedad Sudan generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

En la interacción de la variedad Sudan, ahora en la variable de vigor longitud media de radícula, se encontró que los efectos de los tratamientos (concentraciones y tiempos de exposición) tuvieron de manera general las mismas tendencias que la variable anterior, como se muestra en la Figura 4.22, donde el tratamiento Testigo,

sobresalió con dos mayores promedios de radícula a 2 horas con 12.3 cm y a 6 horas con 11.5 cm. En el caso de la concentración de 0.1% a 2 horas de exposición originó 10.8 cm de LMR, a las siguientes horas reflejó una línea ligeramente descendente, a las 4 horas con 9.9 cm y a las 6 horas con tan solo 8.5 cm de longitud.

La interacción de la variedad a la concentración de 0.01%, nuevamente se logra observar la misma tendencia, a 2 horas de exposición obtuvo el mejor valor con 10.7 cm, a 4 horas después 10 cm, pero a la siguiente hora (6 horas) no se obtuvo semilla para evaluación, por lo que no se pudo determinar una tendencia de tipo descendente. Este mismo efecto, como se ha descrito anteriormente también se presentó en concentración de 0.05% a 2 y 4 horas; sin embargo, a tiempo de 6 horas de exposición de colchicina, se obtuvo un promedio de radícula de 7.5 cm.

Con respecto a la Interacción de la variedad Master con los tratamientos (concentraciones y tiempos de exposición) en la calidad fisiológica en vigor a través de LMP, no se logró observar un efecto sobresaliente diferente entre las concentraciones y los tiempos, siendo muy similares los valores de la LMP a los del tratamiento Testigo como se muestra en la Figura 4.23; no obstante, se logran reflejar algunos valores de cero, debido a que tanto en la concentración de 0.01% a los tiempos de 4 y 6 horas, como en la concentración de 0.05% a 2 y 6 horas no se cosechó semilla para para evaluación. Al respecto, aunque físicamente se tuvo planta con desarrollo normal, al registrar cero productividades de semilla se ven afectados todos los demás parámetros de calidad, lo cual pudiera demeritar alguna respuesta en los factores evaluados.

Así mismo, en la respuesta de la variable de LMR en la interacción variedad Master por los tratamientos, se logra detectar la misma tendencia que la variable anterior (Figura 4.23), destacando que el mejor promedio de radícula, nuevamente se presentó en el tratamiento Testigo con 16 cm y posteriormente oscilaron los resultados de los demás tratamientos entre 13.4 a 15.7 cm de longitud y como ya se

mencionó no hubo producción de semilla en los tratamientos que no tiene valores de LMR.

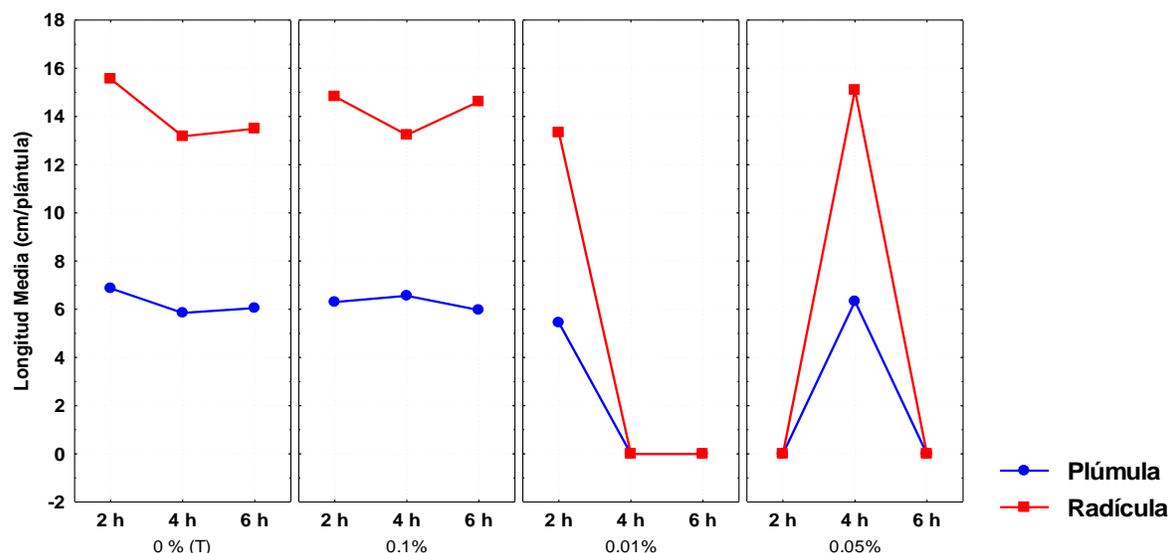


Figura 4.23 Longitud Media de Plúmula y Radícula de la variedad Master generada de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

Tasa de crecimiento de plántula (Peso Seco, PS)

El Cuadro 4.7, se muestra los resultados del análisis de varianza para la variable de PS, donde en la evaluación individual de las fuentes de variación reflejaron diferencias altamente significativas, además de la interacción entre ellas, este análisis afirma que se presentaron valores diferentes de peso seco entre las variedades, concentraciones y tiempos de exposición, así como en las interacciones entre ellas, dando un CV en este estudio de 14.09%.

En la variable de Peso Seco, una vez dado el análisis de varianza se realizó una prueba de comparación de medias entre variedades a través de diferencias mínimas significativas (DMS) con nivel de significancia del $P \leq 0.05\%$ como se muestra en el mismo Cuadro 4.7; dando un resultado de tres grupos estadísticos, destacando en el primero la variedad Miel con 7.20 mg/plántula, seguida de Master

con el segundo mejor promedio de 6.31 mg/plántula, y con el menor peso se encontró a Sudan con 4.09 mg/plántula.

Cuadro 4.7 Cuadrados Medios y Comparación de Medias (DMS) en Pruebas Fisiológicas de Tasa de crecimiento de Plántulas (Peso Seco) de semillas de tres variedades de Sorgo producidas de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

| Fuentes de Variación | Grados de Libertad | Peso Seco(mg/plántula) |
|--|--------------------|------------------------|
| Variedad | 2 | 122.94** |
| Concentración | 3 | 249.95** |
| Tiempo | 2 | 17.21** |
| Variedad x Concentración | 6 | 55.07** |
| Variedad x Tiempo | 4 | 44.25** |
| Concentración x Tiempo | 6 | 101.25** |
| Var x Concen x Tiemp | 14 | 52.32** |
| Error | 108 | 0.68 |
| % CV | | 14.09 |
| Comparación de Medias entre Variedades | | |
| Master | | 6.31 B |
| Sudan | | 4.09 C |
| Miel | | 7.20 A |
| Comparación de Medias entre Concentraciones | | |
| Testigo | | 7.87 B |
| 0.1% | | 8.41 A |
| 0.01% | | 3.71 C |
| 0.05% | | 3.48 C |
| Comparación de Medias entre tiempos de Exposición | | |
| 2 Horas | | 6.46 A |
| 4 Horas | | 5.89 B |
| 6 Horas | | 5.26 C |

C.V. (%) = Porcentaje de Coeficiente de Variación; ** = Altamente Significativo; Prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$ %. Medias con diferente letra son grupos estadísticos diferentes.

En la comparación entre concentraciones de esta variable, se encontraron tres grupos estadísticos, sobresaliendo la concentración 0.1% con el mayor peso 8.41 mg/plántula (Cuadro 4.7), efecto que posiblemente produjo el tratamiento como lo describieron Warner y Edwards (1993), citados por Kanan *et al.* (2013) quienes el inducir plantas poliploides pudieron generar una mayor biomasa (peso seco) en la planta; ya que en el Testigo, la semilla producida logró obtener 7.87 mg/plántula sin

tratamiento de colchicina y se ubicó en el segundo grupo estadístico; mientras que las concentraciones 0.01 y 0.05% obtuvieron un valor inferior de peso seco de 3.71 mg/plántula, estando en el último grupo.

Con respecto a la prueba de medias entre los tiempos de exposición, se formaron tres grupos estadísticos, siendo el tiempo de 2 horas el de mayor peso con 6.46 mg/plántula, seguido del tiempo a 4 horas de exposición con 5.89 mg/plántula, teniendo como último grupo un tiempo de 6 horas de exposición con 5.26 mg/plántula (Cuadro 4.7); destacando que el tiempo de exposición prolongado resultó en una disminución del vigor de la semilla producida.

En la Figura 4.24, se observan las interacciones de variedades por concentraciones de colchicina, donde Miel destacó sobre todas las variedades con el mayor peso en el tratamiento Testigo con 10.3 mg/plántula y en la concentración de 0.1% con 11 mg/plántula; a pesar de ello, en las siguientes concentraciones disminuyó la respuesta de peso, siendo el más afectado a una concentración de 0.01 % con 3.5 cm, y a 0.05% llegó a presentar hasta 5.5 cm, pero siempre menor al testigo y al 0.1%.

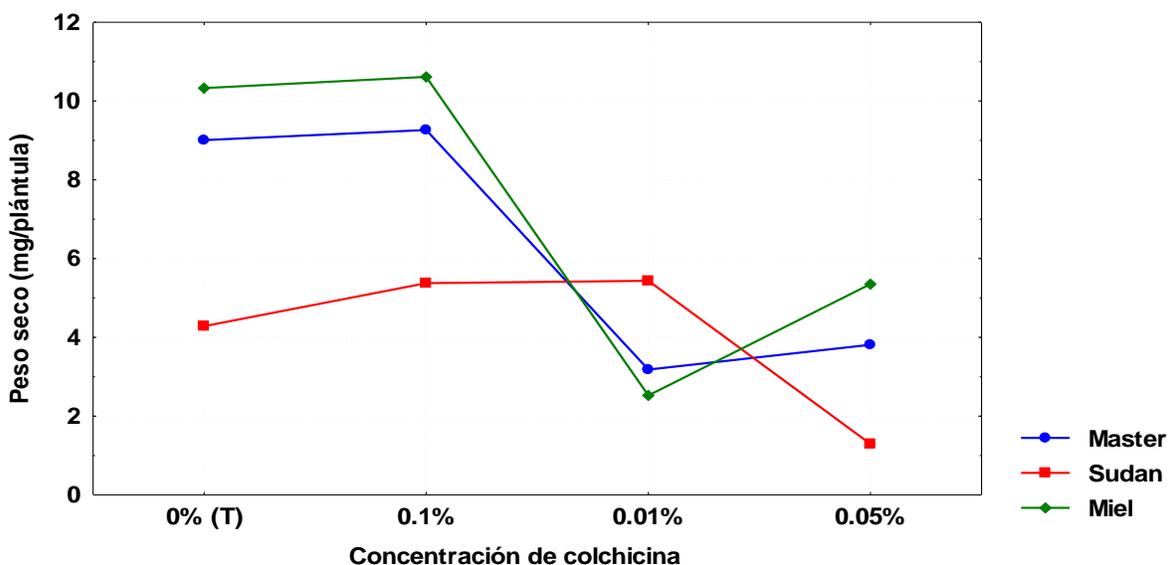


Figura 4.24 Peso Seco de tres variedades de Sorgo generados de diferentes concentraciones en colchicina

La segunda variedad que destacó fue Master, teniendo una tendencia en la respuesta de peso seco similar a la variedad anterior, pero con valores inferiores, ya que en el Testigo a 0% presentó 9 mg/plántula, manteniendo similar su peso en la siguiente concentración (0.1%), y en las siguientes disminuyó con valores semejantes entre ellos (4.2 a 4.7 mg/plántula). Las tendencias encontradas en las variedades anteriores, muestran la posibilidad de que el efecto de algunos tratamientos aplicados, tuvieron un mayor vigor y por consecuencia un mejor peso seco por la probable duplicación del número de cromosomas, como lo expusieron De Barrio y Barrio (2002), al evaluar genotipos de origen poliploide. Con respecto a la variedad Sudan, no se logró observar una respuesta destacada en las concentraciones de 0, 0.1, 0.01% por tener valores de 4 a 6 mg/plántula; mientras que en la concentración de 0.05 %, se encontró un efecto negativo en la respuesta de PS, con el menor valor con tan solo 1.5 mg/plántula. Estos resultados de calidad fisiológica de vigor de Peso Seco vienen provistos de la calidad inicial de la variedad Sudan.

La interacción de las variedades por tiempos de exposición en esta variable, reflejó que la variedad Master a un tiempo de exposición de 2 horas produjo el mejor peso de 8 mg/plántula, como lo muestra la Figura 4.25, pero a las siguientes 4 y 6 horas disminuyó su peso hasta 4.1 mg/plántula, Miel por su parte tuvo una tendencia de tipo ascendente donde inició a 2 horas con un peso de 6.2 mg/plántula y terminó a un tiempo de 6 horas con el mayor valor de peso seco con 8.3 mg/plántula. En el caso de la variedad Sudan no mostró en los diferentes tiempos de exposición algún valor sobresaliente de PS al compararlos con las variedades Master y Miel.

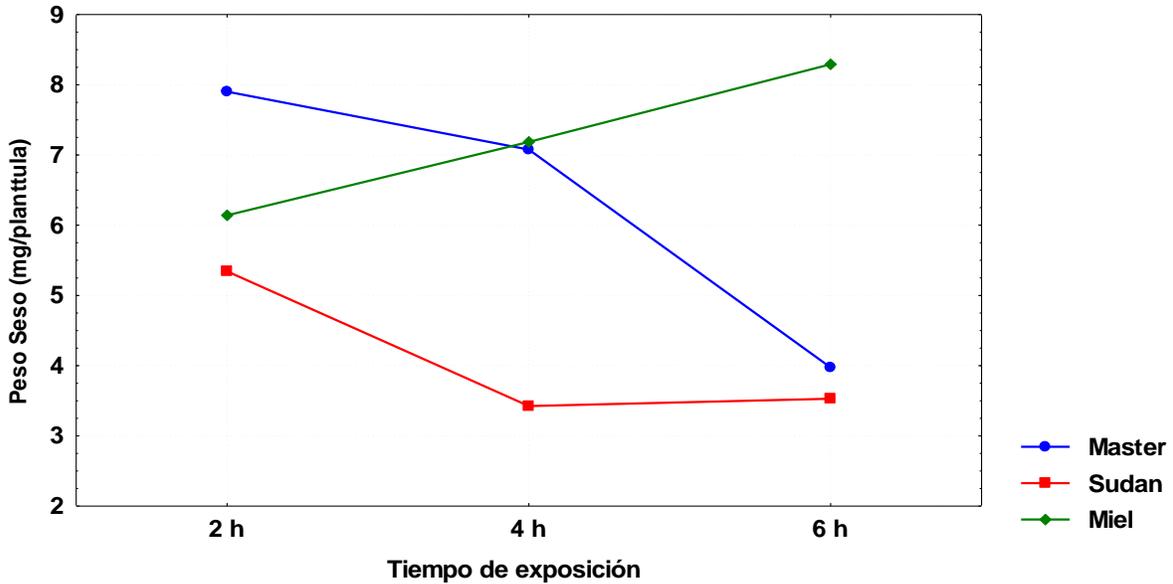


Figura 4.25 Peso Seco de tres variedades de Sorgo generados de diferentes tiempos de exposición en colchicina

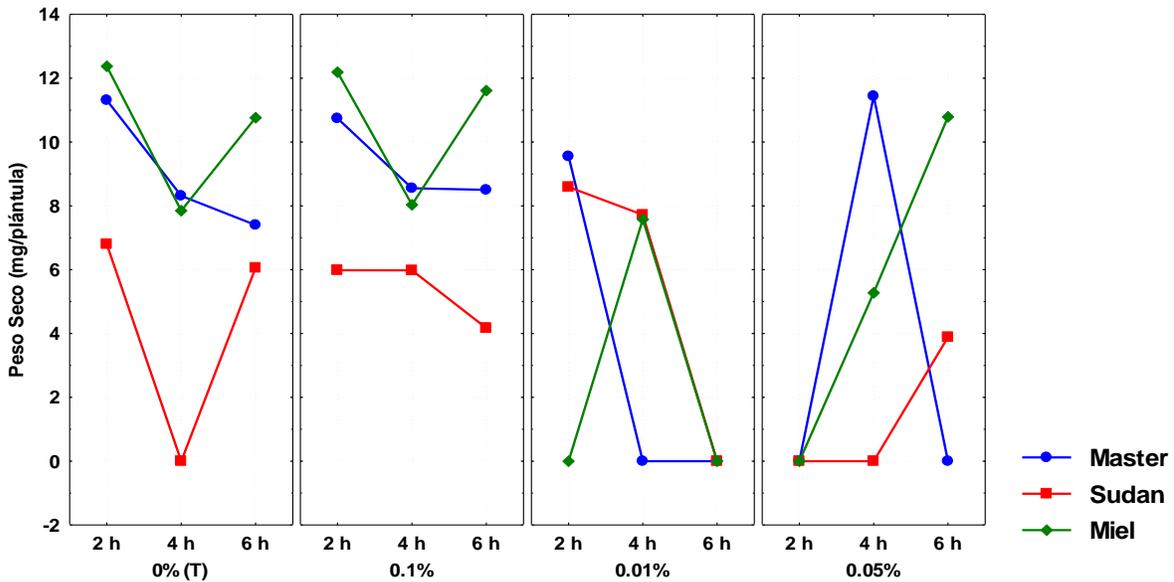


Figura 4.26 Peso Seco de tres variedades de Sorgo generados de la interacción de diferentes concentraciones y tiempos de exposición en colchicina

La respuesta de la interacción variedades por concentraciones y por los tiempos de exposición a colchicina, se muestra en la Figura 4.26, donde la variedad Miel en el tratamiento Testigo a 2 horas de exposición resultó con el mayor peso con un promedio de 12.5 mg/ plántula seguido de Master y por último Sudan presentando promedios de 11.5 y 6.8 mg/plántula respectivamente; pero a las siguientes horas de

exposición, la tendencia de todas las variedades fue a un tiempo de exposición prolongada (6 horas) provocó una producción de semillas con vigor bajo, teniendo a Miel hasta con 11 mg/plántula, Master con 7.5 mg/plántula y por ultimo Sudan con tan solo 6 mg/ plántula.

En una concentración de 0.1% de colchicina, la tendencia se presentó de igual forma en primer lugar se encontró la variedad Miel con el mejor promedio en el tiempo de 2 horas de exposición con 12.4 mg/ plántula y a 6 horas con de 11.8 mg/ plántula, le siguió Master con 11.8 mg/ plántula en un tiempo de 2 horas, además que en las siguientes horas tuvo respuestas similares de hasta 8.5 y 8 mg/plántula respectivamente de PS; y por último nuevamente Sudan, quien mantuvo en los tiempos de 2 y 4 horas un promedio de 6 mg/ plántula, como se pudo observar estos resultados pudieran deberse a un cambio a nivel cromosómico en la variedad, como lo describieron Warner and Edwards en 1993; citados por Kannan *et al.* (2013), que en plantas poliploides tienden a formar mayor cantidad de biomasa; pero al aumentar el tiempo de 6 horas de exposición se logró reflejar el efecto contrario al disminuir hasta 4.3 mg/ plántula.

En una siguiente concentración de 0.01% de colchicina, la semilla producida de la variedad Master y Sudan presentaron un peso seco en un rango de 9.8 mg/plántula a 8.6 mg/ plántula, siendo las mejores respuestas en esta concentración a 2 horas de exposición; a un tiempo de 4 horas Miel y Sudan presentaron una respuesta de peso seco igual a 7.8 mg/plántula.

Es de señalar que en las respuestas sin valor mostradas en la Figura 4.26, no se produjo semilla y por lo tanto no hubo evaluación. No obstante, en la concentración de 0.05% a 4 horas de exposición, la variedad Master obtuvo un peso seco de 11.7 mg/plántula, mientras que la variedad Miel produjo semillas con vigor ascendente a las 4 horas con 5 mg/ plántula y a las 6 horas aumentó hasta 11 mg/plántula, por su parte Sudan logró obtener un peso seco de 4 mg/ plántula a un tiempo de 6 horas de exposición.

Correlación de las variables evaluadas en el estudio

En el análisis de coeficiente de correlación en las variables de estudio (Cuadro 4.8), la Calidad Física a través de CH y PMS, no mostraron tener una relación negativa sobre la producción de Plántulas Anormales y Semillas Sin Germinar, pero si presentaron una relación positiva sobre la producción de Plántulas Normales; también se muestra que el PMS es la de mayor influencia positiva sobre la producción de biomasa (PS).

Por otra parte, también se puede afirmar que la presencia de lixiviados originados de las semillas tuvieron una relación positiva sobre la producción de Plántulas Normales, y a su vez, esta variable cuando presentó valores altos de germinación generó una correlación positiva sobre la Calidad Fisiológica de Vigor en Longitud Media de Plúmula y Radícula, así como de Peso Seco como se muestra en el Cuadro 4.8.

Cuadro 4.8 Coeficiente de Correlación entre las variables de estudio

| | CH | PMS | CE | PN | PA | SSG | LMP | LMR | PS |
|-----|---------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|--------|----|
| CH | 1 | | | | | | | | |
| PMS | 0.91259 | 1 | | | | | | | |
| CE | 0.93368 | 0.803316 | 1 | | | | | | |
| PN | 0.97316 | 0.932301 | 0.935446 | 1 | | | | | |
| PA | 0.37964 | 0.124076 | 0.570656 | 0.295646 | 1 | | | | |
| SSG | 0.31246 | 0.072045 | 0.486488 | 0.241752 | 0.856535 | 1 | | | |
| LMP | 0.95787 | 0.948598 | 0.896433 | 0.988542 | 0.229870 | 0.194206 | 1 | | |
| LMR | 0.95667 | 0.961701 | 0.889511 | 0.976349 | 0.266436 | 0.202380 | 0.97349 | 1 | |
| PS | 0.91067 | 0.990933 | 0.808135 | 0.937027 | 0.128095 | 0.082202 | 0.95928 | 0.9678 | 1 |

CONCLUSIONES

Conforme a los objetivos generales y específicos planteados al inicio del estudio, se logró obtener información relevante que pudiera dar una alternativa en la metodología para la producción de semilla mejorada con características sobresalientes en el rendimiento, calidad física y fisiológica, llegando a las siguientes conclusiones:

- La aplicación de soluciones de colchicina en semilla de sorgo obtuvo un efecto positivo en la calidad fisiológica de la semilla producida, sobre todo en una concentración de 0.1%, al obtener resultados superiores en LMP, LMR y Tasa de Crecimiento de plántula (PS).
- El tiempo de exposición de soluciones de colchicina tuvo un efecto directo en la respuesta de la calidad fisiológica de la semilla producida de sorgo, donde a menor tiempo de exposición obtuvo una mayor efectividad en las variables de germinación en PN, menor número de PA y SSG, así como mayor vigor en LMP, LMR y PS.
- La aplicación de colchicina en semilla de sorgo de la variedad Sudan a una concentración de 0.1% con dos horas de exposición, produjo semillas de alta calidad, con porcentajes de germinación por arriba del 85% y alto vigor (LMP, LMR y PS) en comparación con semillas que no tuvieron tratamiento.
- las semillas producidas de sorgo, variedades Master y Miel, mantuvieron su calidad fisiológica de germinación y vigor tanto sin tratamiento (Testigo) como cuando fueron expuestas a diferentes concentraciones y tiempos de exposición a colchicina.

Recomendaciones

Para poder confirmar que los efectos encontrados en las variables de vigor provienen de una alteración celular debido a la colchicina, es necesario y se recomienda llevar a cabo un análisis citogenético que nos permita identificar un cambio en el número de cromosomas y, que este tenga por consecuencia el generar cambios en la fisiología de las semillas producidas de las variedades estudiadas. Además de poder sugerir un protocolo efectivo y seguro de duplicación cromosómica en semillas de sorgo, se recomienda realizar evaluaciones durante las diferentes etapas fenológicas del cultivo tratado hasta la obtención de semilla, con el fin de poder obtener información que verifique cambios en las características morfológicas que nos permitan diferenciar materiales que generen poliploidía en comparación de una constitución genética original.

Es de suma importancia dilucidar y evaluar la posibilidad de que, como en este estudio, se analice la información de una manera distinta a como se realizó, ya que como se reconoce a lo largo de este escrito, la producción de cero efectos evita una evaluación justa de tales los factores.

LITERATURA CITADA

- Alcántar J. P. 2014. Ensayos: La poliploidía y su importancia evolutiva. Temas de Ciencia y Tecnología. 18 (54):17 – 29.
- Alonso J. R. 2011. Manual de histología vegetal. España. Editorial Paraninfo, Pp 326.
- Antuna O., F. Rincón., E. Gutiérrez., N. A. Ruiz. Y L. Bustamante. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. Rev. Fitotec. Mex. 26 (1): 11-17.
- Bacarrillo M G. 2008. Calidad fisiológica de semilla de sorgo alium producida bajo diferentes niveles de fertilización. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Cadenas J. 2015. Estimación de aptitud combinatoria en líneas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y sus cruzas posibles para la selección de híbridos.
- Casuso V M., Tarragó J.R., Jimenez j O., Dardanelli S. & Pérez G. A. (2016). Evaluación de daño por aves en cultivares de sorgo (*sorghum bicolor*) en las breñas, provincia del Chaco. Fave. Sección ciencias agrarias, 15(1) disponible en la pagina web: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1666-77192016000100002&lng=es&tlng=es.
- Chuck H., E. Pérez C., E. Heredia. y S.O. Serna S. 2011. Sorgo como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: Tecnologías, avances y áreas de oportunidad. Rev. Ing. Quím. 10 (3). México.
- Cisneros L., M. A., L. E. Mendoza O., G. Mora A., L. Córdova T. y M. Livera M. 2007. Híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. i: calidad de la semilla y su influencia en el establecimiento de plántulas. Agrociencia. Vol. 41: 45-55. 2007.

FAO. 2011. Semillas en emergencia, manual técnico. Roma Italia. 81 pp.

Faostat. 2016. crops sorghum data. Disponible en la página web:
<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

FIRA 2015. PANORAMA AGROALIMENTARIO: SORGO9 2015. Disponible en la
página web.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61953/Panorama_Agroalimentario_Sorgo_2015.pdf

Gómez A., N. A. Ruiz T., M. De la O O., F. P. Gómez V., A Ascencio A., M. A. Ávila P. Y J. Virgen V. 2015. Calidad fisiológica de semilla y desarrollo de plántulas de maíz a temperaturas bajas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. pp. 1769-1779.

Gómez-V. A., Olán De la O., M Avila-P., Miguel Á. Virgen V., N A. Ruiz-T., F P Gómez-V., A Álvarez Ada. 2015. Calidad fisiológica de semilla y desarrollo de plántulas de maíz a temperaturas bajas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Disponible en la página web :<<http://www.w.redalyc.org/articulo.oa?id=263142750005>> ISSN 2007-0934

García J. 2015. Comparación de la Calidad y Rendimiento de Semilla de Tetraploides y un Diploide de *Physalis Ixocarpa* Brot. Producida en el Sur del Estado de Coahuila tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México.

ICRISAT. Explore it crop of Sorghum. Disponible en la página web:
<http://exploreit.icrisat.org/page/sorghum/882>

INFOAGRO. 1997. Cultivo del sorgo. Disponible en la página web:
<http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/sorgo.htm>

INTA. 2013. Manual de Buenas Prácticas en Poscosecha de Granos. Buenos Aires. Pp 194. Disponible en la página web:
http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_de_buenas_practicas_en_poscosecha_de_granos_reglon_48-2.pdf

ISTA 2006 ACTIVITY REPORT 2005 OF THE INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. Switzerland
<https://www.seedtest.org/upload/cms/user/03Int-M-D200603ActivityReport20051.pdf>

Jara N L.F. 1997. Humedad de las semillas y principios de secado; Procesamiento de semillas; Almacenamientos de semillas. pp 139.

Kannan M., J. Vanitha., S. Jiang. y S. Ramachandran T. 2013. Impact of Colchicine Treatment on *Sorghum bicolor*. Molecular Plant Breeding. Vol. 4:15.

Mancera A. R., G. García., A. Carballo C., C. A. Villaseñor P., A. Martínez G. y V. 2007. Calidad fisiológica y daño físico en semilla de maíz sometida a impacto. AgricTéc. Vol: 33. Pp125-133.

Mena C., E Calvo., L Araneda., y G. Verdugo. 2007. Formación de poliploides en microestacas de *Glandularia*. Agro sur. Vol.: 35. P.19-21.

Mercadal I. T. y A. Barrio. 2002. Tetraploidía en *Ceratophrys* (Anura, Leptodactylidae), análisis del registro fósil. Iheringia, Sér. Zool. 92 (3)

Montoya D M., C. R Bonilla., M. S Sánchez., C. I Cardozo. y R Escobar. 2009. Respuesta fisiológica de semillas de *Cratylia argentea* (Desvaux) O. Kuntze a condiciones de almacenamiento y crioconservación. Acta Agronómica. 58 (3). Palmira, Colombia.

Moreno M E. 1997. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Tercera edición. México D.F. Pp 393.

National Sorghum Producers. 2016. *Sorghum* 101. En la página web: <http://sorghumgrowers.com/sorghum-101/>

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

Pérez M. C., Hernández L. A, González C., F V. García de los S., G Carballo C., A. Vásquez R., T Roque y M. Tovar G. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. Agricultura técnica en México. Vol: 32(3), 341-352.

- Pichardo J M., O. J. Ayala G., V. A. González H., C. M. Flores O., J. A. Carrillo S., A. Peña L., A. Robledo P. y G. García de los S. 2010. Calidad fisiológica, ácidos grasos y respiración en semillas de tomate de cáscara deterioradas artificialmente. Rev. fitotec. Mex.33 (3).
- Pontevedra. 2012 Relación entre germinación y test de conductividad eléctrica en semillas de judía. Madrid España. Disponible en la página web: <http://wwwx.inia.es/inventarionacional/referencias/docs/ID382.pdf>
- Producción mundial del sorgo. 2016. Sorgo Producción Mundial 2015/2016. Disponible en la página web: <https://www.produccionmundialsorgo.com/>
- Ramírez F G., V Robledo T., R Foroughbakhch P., A Benavides M., M. A. Alvarado V. y D Quistian M. 2013. Caracterización de tetraploides y formación de híbridos triploides en tomate de cáscara CIENCIA UANL / AÑO 16, No. 64.
- Raya J C. P., C Aguirre M., J Medina O., G Ramírez P., Juan Andrio E., E Castellanos S. y A Covarrubias P., J. 2012. Calidad física y fisiológica de semilla en función de la densidad de población en dos híbridos de maíz. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Disponible en la página web :<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263123209001>> ISSN 2007-0934
- Rita A S., A. M. Yoldjian., R. M Craviotto y V. Bisaro. 2001. Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. Agropec. v. 36, n. 2. p. 371-379.
- SAGARPA. (Sf). Almacenamiento y conservación de granos y semillas. Disponible en la página web: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Almacenamiento%20de%20semillas.pdf>
- SAS, 1999. SAS Sistem for Windos, versión 8.00. Cary, NC, USA.
- SNICS. 2016. Disponible en la página web: <http://snics.sagarpa.gob.mx/somos/Paginas/quienes-somos.aspx>

- Sotoudeh A., R. Asghari. y N. Zare. 2015. In Vitro Induction of Polyploidy in Sorghum bicolor L. información extraída de internet. Última actualización Diciembre. Disponible en línea página web: https://www.researchgate.net/publication/290495971_In_Vitro_Induction_of_Polyploidy_in_Sorghum_bicolor_L
- Sourour A., Bouharb A. y Cherif M. 2014. Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences efficient production of tetraploid barley (*Hordeum vulgare* L.) by colchicine treatment of diploid barley. March; Volume – 2(1).
- Steel R G., y Torrie, J H. 1980. Principles and procedures of Statistics: A Biometrical Approach (2nd Ed.). McGraw-Hill, New York. 629p.
- Terán A. 2015. Calidad física y fisiológica en semillas de cebada forrajera imberbe (*Hordeum vulgare* L.) producida en surco sencillo, doble y triple.
- THE STATE OF FOOD AND AGRICULTURE. 1985. Cultivo del sorgo. Roma. Disponible en la página web: <http://www.fao.org/3/a-ap665e.pdf>.
- Torres A. 2004. Identificación y cuantificación de proteínas en semillas de maíz relacionadas con germinación y vigor. Tesis de maestría universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Vitoria H. y J.R. Méndez N. 2007. Relación de la calidad fisiológica de semillas de maíz con pH y conductividad eléctrica. FCA UNCuyo. N° 2. 91-100. 2007.