

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Resistencia al Virus Moteado Clorótico del Maíz y al Virus del

Mosaico de la Caña de Azúcar

Por:

NEFTALÍ CRUZ PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo de 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Resistencia al Virus Moteado Clorótico del Maíz y al Virus del
Mosaico de la Caña de Azúcar

Por:

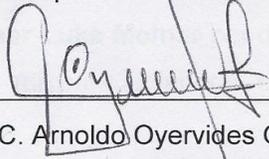
NEFTALÍ CRUZ PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



M. C. Arnoldo Oyervides García

Asesor Principal



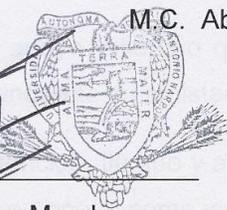
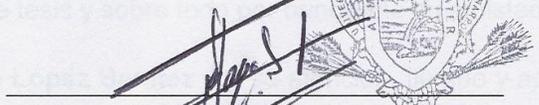
Ph. D. Terence Luke Molnar

Coasesor



M.C. Abiel Sánchez Arizpe

Coasesor



Dr. Gabriel Sallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo de 2016

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme la oportunidad de tener una vida y no abandonarme en ningún momento, por darme fortaleza en los momentos más difíciles de mi vida especialmente el tiempo que estuve fuera de casa.

A la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO** mi **ALMA MATER** y los maestros del departamento de FITOMEJORAMIENTO, por haberme dado la formación académica de nivel licenciatura.

Al **CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAÍZ Y TRIGO** por darme la oportunidad de formar parte de su grandioso equipo y por el apoyo financiero del presente proyecto de tesis que me fue otorgado.

Al programa **MAIZE PRE- BREEDING & PHENOTYPING** de **MasAgro Biodiversidad** y a su equipo de trabajo M.C. Daniel Chepetla y M.C. Enrique Rodríguez por su tiempo y por transmitirme sus valiosos conocimientos.

Al **Ph.D. Terence Molnar Luke Molnar** por darme la oportunidad de aprender y la confianza que puso en mí para colaborar en sus proyectos en especial el presente proyecto (MLN).

Al **M.C. Arnoldo Oyervides García** por su asesoramiento en la interpretación y redacción de este trabajo de tesis, por su paciencia y su valioso tiempo que me brindo, por sus consejos y conocimientos que me fueron transmitidos.

Al **M.C. Abiel Sánchez Arizpe** por su apoyo y tiempo que me brindo en la revisión del trabajo de tesis y sobre todo por brindarme su amistad.

Al **Dr. Alfonso López Benítez** por su atención, tiempo y apoyo que me brindo en la revisión de mi trabajo de tesis, así como su apoyo como jefe del departamento de FITOMEJORAMIENTO.

A mis **COMPAÑEROS y AMIGOS** por su apoyo y momentos de alegría y tristeza que vivimos juntos en la Universidad.

DEDICATORIAS

A mis **PADRES**:

Tomás Cruz Mendoza

Angélica Pérez Pacheco

Muchas gracias queridos padres por ser un excelente ejemplo de sacrificio y esfuerzo para mí, ustedes me inspiran a ser mejor y me dan las fuerzas necesarias para afrontar mis problemas con optimismo con el cual he logrado terminar mi carrera profesional, que es para mí la mejor de las herencias.

A mis **HERMANOS**: Melquiades, Carlos y Emigdio por ayudarme a hacer posible un logro más, el cual no será el último pero quizá el más importante. Gracias por la fe que depositaron en mí y por dárme todo sin esperar a cambio más que el orgullo de hacer de mí un triunfador.

A mi **SOBRINO**, Xavier que con tu inocencia y ternura llegaste a este mundo para alegrar la vida de muchas personas y yo soy uno de ellos, te quiero mucho sobrino.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| ÍNDICE DE TABLAS | v |
| RESUMEN | vi |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. OBJETIVOS | 4 |
| III. HIPÓTESIS | 5 |
| IV. REVISIÓN DE LITERATURA | 6 |
| 4.1. Necrosis Letal del Maíz | 6 |
| 4.2. Virus Moteado Clorótico del Maíz (MCMV) | 8 |
| 4.2.1. Forma de Transmisión | 8 |
| 4.2.2. Clasificación Taxonómica | 9 |
| 4.2.3. Manejo del MCMV | 9 |
| 4.3. Virus Mosaico de la Caña de Azúcar (SCMV) | 10 |
| 4.3.1. Forma de Transmisión | 11 |
| 4.3.2. Sintomatología del SCMV en la Planta | 11 |
| 4.3.3. Clasificación Taxonómica | 12 |
| 4.3.4. Epidemiología | 12 |
| 4.4. Resistencia Genética del Maíz a Enfermedades | 13 |
| 4.5. Fuentes de Resistencia | 13 |
| 4.6. Teoría de las Líneas Puras | 16 |
| 4.7. Selección | 17 |

| | |
|--|----|
| 4.7.1. Selección Natural | 17 |
| 4.7.2. Selección Artificial | 18 |
| 4.7.3. Respuesta a la Selección..... | 18 |
| V.MATERIALES Y MÉTODOS | 19 |
| 5.1. Localización del Sitio Experimental | 19 |
| 5.2. Desarrollo del Experimento | 19 |
| 5.3. Preparación de Sustrato | 23 |
| 5.4. Establecimiento del Experimento | 23 |
| 5.5. Tamaño de Parcela Experimental | 23 |
| 5.6. Protocolo de Inoculación de los Virus MCMV y SCMV | 24 |
| 5.7. Proceso de Inoculación | 24 |
| 5.8. Riegos | 24 |
| 5.9. Muestreos | 25 |
| 5.10. Diseño Experimental Utilizado | 25 |
| VI.RESULTADOS | 27 |
| VII.DISCUSIÓN | 38 |
| VIII.CONCLUSIONES | 40 |
| IX.LITERATURA CITADA | 42 |
| X.APÉNDICE | 45 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 5.1. Material Genético Utilizado | 20 |
| Tabla 6.1. Análisis de Varianza del Modelo General | 29 |
| Tabla 6.2. Análisis por Fuente de Variación | 29 |
| Tabla 6.3. Parámetros de Confianza del Análisis de Varianza | 29 |
| Tabla 6.4. Valores de Formación de Clases | 30 |
| Tabla 6.5. Genotipos Resistentes al MCMV | 30 |
| Tabla 6.6. Genotipos Moderadamente Tolerantes al MCMV | 31 |
| Tabla 6.7. Genotipos Susceptibles al MCMV | 31 |
| Tabla 6.8. Análisis de Varianza del Modelo General | 34 |
| Tabla 6.9. Análisis por Fuente de Variación | 34 |
| Tabla 6.10. Parámetros de Confianza del Análisis de Varianza | 34 |
| Tabla 6.11. Valores de Formación de Clases | 35 |
| Tabla 6.12. Genotipos Resistentes al SCMV | 35 |
| Tabla 6.13. Genotipos Moderadamente Tolerantes al SCMV | 36 |
| Tabla 6.14. Genotipos Susceptibles al SCMV | 37 |
| Tabla 10.1 clasificación de Duncan Experimento MCMV | 45 |
| Tabla 10.2 Clasificación de Duncan Experimento SCMV | 48 |

RESUMEN

El cultivo del maíz (*Zea mays*), es uno de los cereales que más se produce en el mundo, debido a sus cualidades alimenticias, se utiliza como fuente de energía animal, formando el 60% de la dieta del ganado, así como para el consumo humano, con un consumo per cápita de alrededor de los 225 kilos y para su uso en la industria en la producción de almidón, aceite, proteínas, etc. Existen diferentes factores bióticos y abióticos que pueden afectar negativamente la producción y la calidad de la cosecha, tales como enfermedades, sequías, ataques de insectos. Actualmente la Necrosis Letal del Maíz (MLN siglas en inglés), es una enfermedad que está causando severos daños, en la producción de dicho cultivo, en el continente africano, la MLN es causada por una infección de dos virus de forma simultánea, uno conocido como Virus del Moteado Clorótico del Maíz (MCMV) y otro virus típicamente conocido como Mosaico de la Caña de Azúcar (SCMV) o cualquier otro virus del grupo de los Potyvirus de los virus de los cereales, por esta razón se realiza esta investigación con el objetivo de evaluar accesiones del banco de germoplasma del CIMMYT, para identificar materiales tolerantes o resistentes a los virus SCMV y MCMV, agentes causales de dicha enfermedad.

Se evaluaron 103 accesiones en los invernaderos de alta bio-seguridad del CIMMYT, bajo inoculación artificial de los virus por separado. En el experimento uno las accesiones fueron infestadas por el MCMV y en el experimento dos se infestaron

con el SCMV, como resultados se identificaron a las accesiones, VERA179, VERA73, PUER2, TRIN27 y las líneas CML494 Y CML550, como tolerantes al MCMV, mientras que estas mismas líneas CML494 Y CML550 no presentaron tolerancia al SCMV. Se identificaron como tolerantes al SCMV, las accesiones VENE1014, CHIS87, RDOM169, RDOM309, CHIS222, VERA404, HAIT44, PUER15, las líneas CML334 y CML228, y estas líneas fueron susceptibles al MCMV.

Palabras Clave: *Zea mays*, Virus, Mosaico, Moteado, Inoculación Artificial, enfermedad.

Correo electrónico; Neftali Cruz Perez, nef10@life.com.mx

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo del maíz, es uno de los cereales que más se produce en el mundo, debido a sus cualidades alimenticias, el maíz amarillo se utiliza como fuente de energía animal, formando el 60% de la dieta pecuaria, siendo usado para la producción de proteína animal, y esto justifica la importancia mundial de maíz, convirtiéndose en uno de los productos más influyentes en los mercados internacionales, y se está expandiendo en particular en los mercados nuevos, donde el crecimiento en el consumo de carne está aumentando, mientras que el maíz blanco, es usado para la alimentación humana, con un consumo per cápita de alrededor de los 225 kilogramos y ambos colores de grano, son usados en la industria para la producción de almidón, aceite, proteínas, edulcorantes, plásticos y sobre todo en los Estados Unidos con la producción de biocombustibles.

La producción de maíz en México, ocupa más de la mitad de la superficie sembrada, representando casi una tercera parte del valor de la producción agrícola de acuerdo a las estadísticas de SIAP-SAGARPA indican que en el 2013 se sembraron 7, 487,399 ha de las cuales se cosecharon 7, 095,629 ha con un rendimiento promedio de 3.19 toneladas por hectárea. Y con lo anterior, la producción total de este año fue de 22, 663,953 de toneladas en los ciclos de otoño-invierno y primavera-verano incluyendo las modalidades de riego y temporal.

Para México, el maíz no es sólo un bien comercial sino que constituye una expresión de relaciones que han permitido a las comunidades y los pueblos rurales de México su subsistencia. Durante más de 300 generaciones, las comunidades rurales e indígenas mexicanas, han sido los guardianes de los nichos ecológicos brindando múltiples razas de este cereal. Este hecho es trascendental en la historia y la cultura de los mexicanos y un legado para la humanidad,(Castañeda 2011).

Existen diferentes factores bióticos y abióticos que pueden afectar negativamente la producción del maíz y la calidad de la cosecha, tales como enfermedades, sequías, ataques de insectos. Las enfermedades alteran el desarrollo normal de la planta, especialmente cuando coinciden los siguientes factores durante la temporada de cultivo del maíz; una variedad de maíz susceptible, un nivel alto de inóculo del patógeno y condiciones ambientales adecuadas para el ataque de enfermedades (Agrios 2005).

Entre las enfermedades más importantes del maíz se encuentran, el Achaparramiento del Maíz, siendo factor limitante para la producción de grano en zonas con clima tropical y subtropical del continente americano, (Davis et al. 1981, De León et al. 1984.), así como el Moteado Clorótico del Maíz (MCMV), Mosaico de la Caña de Azúcar (SCMV), Virus Bandeado del Maíz (MStV), Virus del Rayado del Maíz (MSV), (CIMMYT 2004), también la más conocida actualmente como Necrosis Letal del Maíz (MLN siglas en inglés), es una enfermedad causada por una infección de dos virus del maíz, el MCMV junto con el SCMV o cualquier otro virus del grupo de los Potyvirus de los virus de los cereales y en combinación

producen una reacción sinérgica que daña seriamente y que llega al grado de aniquilar las plantas, (CIMMYT 2013).

La MLN ha causado grandes pérdidas desde que se detectó por primera vez en África oriental, hace cuatro años. Tan solo en Kenia, las pérdidas de rendimiento en 2014 se estimaron en 0.3 millones de toneladas valuadas en 188 millones de dólares, Así como la comercialización de semilla en la región está en peligro por los grandes riesgos de transmitir la enfermedad mediante semilla contaminada a través de las fronteras, (Wawa 2015).

II. OBJETIVOS

General

Evaluar accesiones de maíz del banco de germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, para identificar materiales resistentes al MCMV y al SCMV, a través de la inoculación artificial de dichos virus.

Específicos

- Determinar la presencia del patógeno en planta con síntomas visuales asociados al SCMV, agente causal de la enfermedad Mosaico de Caña de Azúcar.
- Determinar la presencia del patógeno en planta con síntomas visuales asociados al MCMV, agente causal de la enfermedad del Moteado Clorótico del Maíz.
- Identificar cuál de las accesiones presenta mayor tolerancia al MCMV
- Identificar cuál de las accesiones presenta mayor tolerancia al SCMV
- Confirmar la resistencia de las líneas CML228 y CML334 al SCMV
- Confirmar la resistencia de las líneas CML494 y CML550 al MCMV
- Confirmar que no existen diferencias ambientales, en el invernadero de alta tecnología del CIMMYT.

III. HIPÓTESIS

- H_0 . El SCMV no estará presente en las accesiones bajo estudio.
- H_1 . El SCMV estará presente en las accesiones, con síntomas asociados a dicho virus.
- H_0 . El MCMV no estará presente en las accesiones bajo estudio.
- H_1 . El MCMV estará presente en las accesiones, con síntomas asociados a dicho virus.
- H_0 . Todas las accesiones no presentarán algún nivel de tolerancia al SCMV.
- H_1 . Al menos una de las accesiones presentará tolerancia al SCMV.
- H_0 . Todas las accesiones no presentarán algún nivel de tolerancia al MCMV.
- H_1 . Al menos una de las accesiones presentará tolerancia al MCMV.
- H_0 . Las líneas CML228 y CML334 testigos, no presentarán resistencia al SCMV.
- H_1 . Las líneas CML228 y CML334 testigos, presentarán resistencia al SCMV.
- H_0 . Las líneas CML494 y CML550 testigos, no presentarán resistencia al MCMV.
- H_1 . Las líneas CML494 y CML550 testigos, presentarán resistencia al MCMV.
- H_0 . No habrá diferencias significativas, entre las repeticiones bajo estudio.
- H_1 . Habrá al menos una repetición diferente a las demás.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

Las plantas se mantienen sanas o normales cuando llevan a cabo sus funciones fisiológicas, hasta donde les permite su potencial genético. Esas funciones comprenden su división celular normal, su diferenciación, la absorción del agua y de sales minerales del suelo, así como su translocación por toda la planta, hasta los órganos de utilización o almacenamiento, por lo tanto las plantas presentarán enfermedades, cuando una o varias de sus funciones normales, sean alteradas por los organismos patógenos (bióticos), como hongos, las bacterias, los nematodos o los virus o por determinadas condiciones del medio ambiente (abióticos). Las causas principales de enfermedad en las plantas, son los organismos patógenos y los factores del ambiente físico, (Agris 2005).

4.1. Necrosis Letal del Maíz

La MLN se desarrolla, cuando las plantas de maíz son infectadas por dos virus; el virus del Moteado Clorótico del Maíz (MCMV) y cualquiera de los virus de los cereales de la familia de los Potyvirus, como el SCMV y el Virus Mosaico del Enanismo del Maíz (MDMV) o el Virus del Mosaico Rayado del Trigo (WSMV), reportado por Adams et al (2013), pero el MCMV y SCMV solos también son capaces

de causar daño significativo, por lo tanto, la mayoría de los esfuerzos de investigación, incluyendo la norma de protocolos de diagnóstico, se centran en estos dos virus, (Mezzalama et al. 2015). Las plantas infectadas, durante las primeras etapas de desarrollo, no crecen, normalmente se vuelven cloróticas y mueren hacia la época de la floración, por lo que no producen mazorcas, (CIMMYT 2004; CIMMYT 2013).

La MLN causado por estos virus se transmite de forma individual en el campo, por los insectos de las plantas de maíz infectadas, o de otros hospederos del MCMV y SCMV. También puede ser transmitido por semilla, es decir, por semilla producida a partir de una planta infectada o el virus puede pasar de una semilla infectada a una plántula recién germinado, (Mezzalama et al. 2015).

El primer reporte de MLN en China, fue reportado en la provincia de Yunnan, y se identificó en las muestras de maíz, el virus MCMV, (Xie et al. 2011), para esto se usaron diferentes metodologías, como la morfología del virus, métodos serológicos y el análisis de secuenciación de nucleótidos.

La MLN, se detectó por primera vez en la región del Valle del Rift, en Kenia, en septiembre de 2011, (CIMMYT, 2013), mientras que Adams et al. (2013) y Wangai et al. (2012), identificaron la enfermedad en el año 2012 y desde entonces se le ha detectado también en Tanzania, Uganda, República Democrática del Congo, Rwanda y Etiopía.

4.2. Virus Moteado Clorótico Del Maíz

El MCMV, se detectó por primera vez en los valles de la costa central de Perú, en un híbrido de maíz conocido como PM-205, al que le ocasionó enanismo y pérdida de rendimiento (Castillo y Hebert, 1974), En el estado México, en México se detectó el MCMV en 1989 (Carrera-Martínez et al. 1978). Los síntomas de la infección, se muestran principalmente en las hojas más jóvenes, como pequeñas manchas cloróticas que se fusionan y forman bandas cloróticas anchas a lo largo de las nervaduras, las hojas con clorosis finalmente mueren. Las plantas infectadas presentan enanismo a causa del acortamiento de los entrenudos y producen un mayor número de mazorcas pequeñas sin grano y en la mayoría de los casos la mazorca se deforma, (CIMMYT 2004).

4.2.1. Forma De Transmisión

El virus es transmitido principalmente por varios coleópteros de la familia *Chrysomelidae*, como son: *Oulema melanopa*, *Chaetocnema pulicaria* y *Diabrotica spp.*, durante un breve periodo. Los datos disponibles sobre el virus indican que su transmisión por medio de la semilla ocurre muy pocas veces (CIMMYT 2004; Nault et al. 1978; Jensen 1985). Mientras que Bockelman et al (1982), reportan que el MCMV, solo es transmitido mecánicamente y no se ha logrado transmitirlo por semillas, Por su parte Jensen et al. (1991), demuestran que el MCMV también se transmite por

semilla, bajo un estudio en invernadero, donde se realizó una inoculación artificial del virus, en materiales de tres compañías semilleras diferentes.

4.2.2. Clasificación Taxonómica

Nombre: Maíz Chlorotic Mottle Virus (MCMV)

Nombre común: Virus Moteado Clorótico del Maíz

Orden: Actualmente no asignado. Internacional committee on taxonomy of viruses. (ICTV, 2014)

Familia: *Tombusviridae*

Género: *Machlomovirus*

4.2.3. Manejo del MCMV

Se recomienda un manejo integrado de prácticas culturales, insecticidas contra los vectores (trips, en caso de Hawái) y variedades resistentes al MCMV, eliminar hospederos, especialmente pastos (gramíneas), eliminar plantas que presenten algunos de los síntomas característicos del virus, (Nelson et al. 2011).

4.3. Virus Mosaico de la Caña de Azúcar

El SCMV, es un Potyvirus que tiene un impacto en la economía mundial, pues afecta la producción de maíz y caña de azúcar, provocando pérdidas significativas, principalmente en E.U.A., Brasil, España, Alemania, Austria, China e India según Lubberstedt (2006) y Alcalá (2009), citados por Flores (2008). En México se detectó el virus del SCMV por primera vez a finales de los ochenta en Guanajuato, (Peña et al. 2008).

Las plantas infectadas por SCMV, desarrollan un mosaico característico (irregularidades en la distribución del color verde normal), en la base de las hojas más jóvenes. Algunas veces la apariencia del mosaico se intensifica por las rayas cloróticas angostas que se forman a lo largo de las nervaduras, posteriormente, las hojas más jóvenes muestran una clorosis general y las rayas son más grandes y abundantes. A medida que las plantas se aproximan a la madurez el follaje adquiere una coloración purpúrea o rojiza, (CIMMYT 2004).

El virus del mosaico de la caña de azúcar, es uno de los Fito patógenos que más pérdidas causa en los cultivos de todo el mundo, infecta a la planta del maíz (*Zea mays*) causando clorosis en la hojas y enanismo en los frutos lo mencionan Xianchun et al. (1999) y Calvillo et al. (2009).

2.3.1. Forma de Transmisión del SCMV

Estos virus pueden ser transmitidos por savia de plantas enfermas, así como también, de manera mecánica, por áfido. Existen más de 15 especies de áfido identificadas como vectores del SCMV, para el maíz se han identificado; *Rhopalosiphum maidis*, *Myzus persicae* y *Aphis gossypii*, Varón, (1983), citado por Salazar & León (2001). Rara vez son transmitidos por medio de la semilla. Al alimentarse de una planta enferma, los pulgones adquieren el virus y de inmediato comienzan a propagarlo, este tipo de patógenos puede afectar a otros hospedantes, incluidos pastos y cereales como el sorgo, el zacate Johnson y la caña de azúcar, pero no atacan a las especies de hoja ancha, (CIMMYT 2004) y (Lubberstedt, 2006). Su propagación en el áfido no se ha controlado por lo cual la solución se ha centrado en la creación de plantas resistentes al virus.

4.3.2. Sintomatología del SCMV en la planta.

Dependiendo de la etapa de desarrollo de la planta en que haya ocurrido la infección, podría presentarse un elevado grado de enanismo. Las plantas infectadas durante las primeras etapas producen mazorcas muy pequeñas o son totalmente estériles, (CIMMYT 2004).

4.3.3. Clasificación Taxonómica

Species: Sugarcane Mosaic Virus SCMV

Nombre común: Virus del Mosaico de la Caña de Azúcar

Orden: Actualmente no asignado. Internacional committee on taxonomy of viruses. (ICTV, 2014).

Familia: Potyviridae

Género: Potyvirus

4.3.4. Epidemiología

El SCMV, no es propagativo, es decir los vectores (pulgones) de esta enfermedad necesitan adquirir la enfermedad de una planta infectada, bien sea el huésped, el sorgo u otro el maíz, para contaminar otras plantas, (Chen et al. 2001).

4.4. Resistencia Genética del Maíz a Enfermedades

Es conocido como resistencia, a la capacidad de la planta para reducir el crecimiento y desarrollo del patógeno o parásito, después que ha habido contacto entre el hospedante y el patógeno, o después que este ha iniciado su crecimiento y desarrollo o se ha establecido en la planta. La resistencia es una característica heredable y es controlada principalmente por el sistema genético nuclear y en algunos casos por el citoplasmático. A pesar de las condiciones favorables para el crecimiento y desarrollo de los patógenos causantes de las enfermedades, así como, por la diversidad de ambientes en las que se cultiva el maíz, se han hecho progresos importantes en el desarrollo de formas de resistencia genética estable, contra la mayoría de las enfermedades, pero, sin embargo, grandes áreas de la zona tropical, son aún sembradas con variedades locales, con variedades de los agricultores o con variedades sin mejorar (Paliwal, 2001).

4.2. Fuentes de Resistencia

Paliwal, (2001), mencionó que se han identificado fuentes de resistencia genética para muchas de las enfermedades de importancia económica, cuyos genes de resistencia están presentes dentro del genoma del maíz y en la diversidad de sus poblaciones . La tolerancia a ciertas enfermedades, también se encuentra en algunas especies estrechamente emparentadas con el maíz, como el Teosinte

y *Tripsacum* que pueden ser utilizadas en caso necesario, por lo que los Fito mejoradores deben seleccionar para ese carácter, junto con otros elementos agronómicos, usando algunas técnicas de selección recurrente. Así mismo, la resistencia a las enfermedades desde el punto de vista genético, puede ser de tipo monogénica o poligénica, la monogénica está determinada por un solo gen, se identifica de forma individual por letras o números, se puede determinar si es de acción dominante o recesiva, es fácilmente apreciable en poblaciones segregantes. Cuando la resistencia es poligénica está determinada por varios genes y éstos no tienen un efecto lo suficientemente grande para ser identificados y localizados y su efecto se expresa al combinarse como un todo. De acuerdo al modo en que se expresa la resistencia, ésta puede ser resistencia vertical, cuando es efectiva ante algunos pato tipos del patógeno y la resistencia horizontal, si se comporta por igual, en todos los patotipos del patógeno.

La frecuencia de los genes resistentes a una enfermedad, puede ser baja o alta; los cultivares mejorados, en los cuales la resistencia a la enfermedad ha sido aumentada por medio de la acumulación de una alta frecuencia de alelos resistentes, pueden ser introducidas en una población que tiene una menor frecuencia de alelos para resistencia (Paliwal, 2001).

La diversidad genética dentro de las especies es la razón principal por la que una determinada especie tenga la oportunidad de evolucionar bajo condiciones cambiantes del ambiente y presiones de selección; así mismo, el conocimiento de la diversidad genética es indispensable para diversificar las fuentes de germoplasma,

tratar de minimizar los riesgos de vulnerabilidad genética e incrementar las probabilidades de detectar alelos favorables (CONABIO, 2010).

El banco de germoplasma es un centro para la conservación de los recursos genéticos en condiciones que permiten prolongarles la vida y tener la accesibilidad del germoplasma vegetal para los fitomejoradores, investigadores y otros usuarios. Los recursos fitogenéticos constituyen el material de partida para el mejoramiento de cultivos, y su conservación y su uso es esencial para la seguridad alimentaria y nutricional mundial (FAO 2014).

El Germoplasma es el material genético que forma la base física de la herencia biológica y que se transmite de una generación a la siguiente a través de células en reproducción (Rao et al., 2006)

Las Acciones son muestra de semillas diferenciables e identificables de manera única, que representa un cultivar, una línea de mejoramiento o una población, y que se mantiene en almacenamiento para conservación y uso. (Rao et al., 2006).

4.3. Teoría de las Líneas Puras

Johansen (1903) supuso que la variabilidad fenotípica que aparecía en cada línea pura no tenía una causa genética, sino que se debía a la distinta influencia que ejercía el ambiente sobre cada línea. Esto lo comprobó de dos maneras: una, viendo que las descendencias producidas por las semillas de diferentes tamaños dentro de una misma línea tenían igual peso medio, que a su vez era diferente de los pesos medios de otras líneas y comprobando que al cabo de seis generaciones de seleccionar en cada línea las semillas más pesadas y más ligeras, los pesos medios de ambas selecciones de cada línea se mantenían iguales. En consecuencia, de esta forma, se explicó los resultados sobre la base de unir los efectos de la herencia y el ambiente. Dentro de cada una de ellas, y la variación observada, era consecuencia puramente ambiental. En resumen, se estableció que el fenotipo era la expresión del genotipo, en un ambiente determinado.

La Heredabilidad es uno de los factores más importantes para la Mejora Vegetal, es el conocimiento de la contribución relativa de los genes, a la variabilidad de un carácter que se está considerando. La Heredabilidad en sentido amplio H^2 se define como la proporción entre la varianza genética y la varianza fenotípica (Ordano 2011).

$$H^2 = VG / VP$$

La Heredabilidad en sentido estricto h^2 es el cociente entre la varianza genética aditiva sobre la varianza fenotípica.

$$H^2 = V_A / V_P h^2$$

4.4. Selección

La selección ha sido uno de los procesos más antiguos de mejoramiento de plantas y se entiende como un proceso natural o artificial, mediante el cual se separan plantas individuales o grupos de plantas. El objetivos de la selección es escoger los mejores individuos para usarlos como progenitores en la siguiente generación, donde la presencia de los genes no va a ser la misma de la población original, (Flores, 2001).

2.7.1. Selección Natural

Es una de las fuerzas que tiende a reducir la variabilidad dentro de las poblaciones y aumentar entre poblaciones. Es un proceso que favorece a los individuos más aptos para sobrevivir y reproducirse en un ambiente particular. La selección natural actúa mayormente favoreciendo características que tienen algún valor adaptativo, y generalmente guarda poca relación con la apariencia del individuo, (Willan et al. 1993).

4.4.2. Selección Artificial

La selección artificial es una técnica de control reproductivo mediante la cual el hombre altera los genes de organismos domésticos o cultivados. Esta técnica opera sobre características heredables de las especies, aumentando la frecuencia con que aparecen ciertas variaciones en las siguientes generaciones; produce una evolución dirigida, formando una nueva población.

El efecto básico de la selección es cambiar las frecuencias génicas de la población y describir los efectos de la selección en términos de las propiedades observables: medias, varianzas y covarianzas de la población, aunque la causa subyacente de los cambios sea el cambio en las frecuencias génicas.

4.4.3. Respuesta a la Selección

El cambio producido por la selección que nos interesa principalmente, es el que afecta a la media de la población. Esto es la respuesta a la selección, la cual simbolizaremos como R , significa la diferencia de valor fenotípico medio entre la descendencia de los progenitores seleccionados y la generación parental antes de la selección.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización del Sitio Experimental

El presente estudio se realizó durante el ciclo otoño - invierno 2015-2016 en los invernaderos de alta seguridad biológica de las instalaciones del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, (CIMMYT), en el Batán, Texcoco, Edo., de México., ubicado entre las coordenadas 19°31´ Latitud Norte, 98°50´ Longitud Oeste del meridiano de Greenwich, con una altitud de 2,278 msnm.

El experimento para la evaluación de 107 genotipos, con resistencia al SCMV, se estableció en la mesa uno del invernadero de las instalaciones del CIMMYT, y el experimento para la evaluación de 107 genotipos con resistencia al MCMV, se establecieron en la mesa cuatro del mismo invernadero.

5.2. Desarrollo del Experimento

Se sembraron 107 tratamientos (véase tabla 1) de los cuales cuatro son líneas testigos: CML228, CML334, tolerantes al SCMV y las líneas CML494, CML550 son tolerantes al MCMV, los 103 genotipos restantes son accesiones del banco de germoplasma del CIMMYT.

Tabla 5.2. Material Genético Utilizado

| Trat | Genotipo | País De Origen | Razas | Plantas Calif. MCMV | Plantas Calif. SCMV | Rep |
|------|----------|------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|-----|
| 101 | ANTI4 | Antigua | Coastal Tropical Flint | 15 | 15 | 4 |
| 102 | BARB3 | Barbados | Coastal Tropical Flint | 14 | 15 | 4 |
| 103 | BRVI110 | British Virgin Islands | Tuson | 15 | 18 | 4 |
| 104 | BRVI143 | British Virgin Islands | Early Caribbean | 15 | 19 | 4 |
| 105 | BRVI2 | British Virgin Islands | St. Croix | 14 | 18 | 4 |
| 106 | CHIS1037 | México | Olotillo | 14 | 13 | 4 |
| 107 | CHIS1112 | México | Vandeno | 19 | 20 | 4 |
| 108 | CHIS202 | México | Tepecintle | 17 | 18 | 4 |
| 109 | CHIS222 | México | Zapalote Chico | 5 | 15 | 4 |
| 110 | CHIS351 | México | Comiteco | 19 | 17 | 4 |
| 111 | CHIS81 | México | Olotillo | 13 | 16 | 4 |
| 112 | CHIS87 | México | Comiteco | 12 | 15 | 4 |
| 113 | CHIS978 | México | Negro de Tierra Caliente | 18 | 18 | 4 |
| 114 | CML 228 | TESTIGOS | | 15 | 20 | 4 |
| 115 | CML 334 | TESTIGOS | | 15 | 19 | 4 |
| 116 | CML494 | TESTIGOS | | 15 | 14 | 4 |
| 117 | CML550 | TESTIGOS | | 18 | 20 | 4 |
| 118 | CUBA115 | Cuba | Tuson | 17 | 18 | 4 |
| 119 | CUBA121 | Cuba | Tuson | 15 | 19 | 4 |
| 120 | CUBA125 | Cuba | Cuban Yellow Flint | 15 | 18 | 4 |
| 121 | CUBA13 | Cuba | Cuban Yellow Flint | 16 | 18 | 4 |
| 122 | CUBA165 | Cuba | Cuban Yellow Flint | 16 | 19 | 4 |
| 123 | CUBA32 | Cuba | Chandelle | 18 | 18 | 4 |
| 124 | CUBA7 | Cuba | Cuban Yellow Flint | 17 | 15 | 4 |
| 125 | CUBA72 | Cuba | Tuson | 18 | 17 | 4 |
| 126 | CUBA9 | Cuba | Cuban Flint | 19 | 18 | 4 |
| 127 | CUBA99 | Cuba | Tuson | 17 | 18 | 4 |
| 128 | ECUA327 | Ecuador | Cuban Yellow Dent | 4 | 20 | 4 |
| 129 | ECUA372 | Ecuador | Gallina | 15 | 19 | 4 |
| 130 | ECUA865 | Ecuador | Gallina | 13 | 16 | 4 |
| 131 | GREN17 | St. Vincent | Tuson | 19 | 16 | 4 |
| 132 | GUAT318 | Guatemala | Nal-Tel | 18 | 20 | 4 |
| 133 | GUAT552 | Guatemala | Salvador | 11 | 19 | 4 |

| | | | | | | |
|-----|---------|----------------------|---------------------------|----|----|---|
| 134 | GUER214 | México | Elote Occidental | 18 | 18 | 4 |
| 135 | GUER96 | México | Vandeno | 18 | 18 | 4 |
| 136 | HAIT22 | Haití | Haitian Yellow | 15 | 14 | 4 |
| 137 | HAIT27 | Haití | Haitian Yellow | 4 | 8 | 4 |
| 138 | HAIT29 | Haití | Tuson | 14 | 17 | 4 |
| 139 | HAIT31 | Haití | Haitian Yellow | 19 | 20 | 4 |
| 140 | HAIT36 | Haití | Haitian Yellow | 11 | 10 | 4 |
| 141 | HAIT39 | Haití | Haitian Yellow | 13 | 17 | 4 |
| 142 | HAIT44 | Haití | Haitian White | 17 | 20 | 4 |
| 143 | OAXA106 | México | Cónico | 11 | 16 | 4 |
| 144 | OAXA129 | México | Elote Cónico | 3 | 17 | 4 |
| 145 | OAXA220 | México | Tuxpeño | 16 | 20 | 4 |
| 146 | OAXA292 | México | Vandeno | 12 | 18 | 4 |
| 147 | OAXA318 | México | Olotillo | 13 | 16 | 4 |
| 148 | OAXA399 | México | Zapalote Chico | 17 | 19 | 4 |
| 149 | OAXA538 | México | Zapalote Chico | 18 | 20 | 4 |
| 150 | OAXA821 | México | Tuxpeño | 19 | 20 | 4 |
| 151 | OAXA864 | México | Zapalote Chico | 18 | 16 | 4 |
| 152 | OAXA885 | México | Zapalote Chico | 19 | 20 | 4 |
| 153 | PERU419 | Perú | Arizona | 11 | 19 | 4 |
| 154 | PERU558 | Perú | Arizona | 10 | 18 | 4 |
| 155 | PERU559 | Perú | Perla | 13 | 20 | 4 |
| 156 | PERU583 | Perú | Arizona | 15 | 17 | 4 |
| 157 | PERU584 | Perú | Arizona | 15 | 12 | 4 |
| 158 | PERU591 | Perú | Colorado | 12 | 18 | 4 |
| 159 | PERU606 | Perú | Colorado | 12 | 15 | 4 |
| 160 | PERU636 | Perú | Huachano | 13 | 14 | 4 |
| 161 | PERU641 | Perú | Perla | 12 | 19 | 4 |
| 162 | PUER15 | Puerto Rico | Coastal Tropical Flint | 12 | 17 | 4 |
| 163 | PUER16 | Puerto Rico | Tuson | 12 | 15 | 4 |
| 164 | PUER2 | Puerto Rico | Chandelle | 17 | 17 | 4 |
| 165 | PUER6 | Puerto Rico | Chandelle | 12 | 14 | 4 |
| 166 | RDOM169 | Granada | Tuson | 8 | 15 | 4 |
| 167 | RDOM309 | República Dominicana | Chandelle | 3 | 13 | 4 |
| 168 | SCRO1 | St. Croix | St. Croix | 6 | 18 | 4 |
| 169 | SVIN8 | St. Croix | Coastal Tropical Flint | 20 | 19 | 4 |
| 170 | TABA12 | México | Tuxpeño | 19 | 17 | 4 |

| | | | | | | |
|-----|----------|-------------------|------------------|----|----|---|
| 171 | TABA19 | México | Olotillo | 17 | 18 | 4 |
| 172 | TABA21 | México | Vandeno | 17 | 19 | 4 |
| 173 | TABA23 | México | Tuxpeño | 20 | 18 | 4 |
| 174 | TRIN27 | Trinidad & Tobago | Tuson | 18 | 17 | 4 |
| 175 | TRIN39 | Trinidad & Tobago | Tuson | 10 | 19 | 4 |
| 176 | TRIN47 | Trinidad & Tobago | Puya | 8 | 13 | 4 |
| 177 | VENE1014 | Venezuela | Chandelle | 20 | 19 | 4 |
| 178 | VENE321 | Venezuela | Tuson | 8 | 12 | 4 |
| 179 | VENE341 | Venezuela | Cariaco | 19 | 19 | 4 |
| 180 | VENE405 | Venezuela | Tuson | 16 | 18 | 4 |
| 181 | VENE465 | Venezuela | Puya Grande | 18 | 19 | 4 |
| 182 | VENE513 | Venezuela | Canilla | 16 | 17 | 4 |
| 183 | VENE692 | Venezuela | Tuxpeño | 18 | 17 | 4 |
| 184 | VENE780 | Venezuela | Puya | 17 | 18 | 4 |
| 185 | VENE854 | Venezuela | Costeño | 16 | 19 | 4 |
| 186 | VENE883 | Venezuela | Chirimito | 12 | 12 | 4 |
| 187 | VENE933 | Venezuela | Puya | 16 | 16 | 4 |
| 188 | VERA17 | México | Tuxpeño | 17 | 17 | 4 |
| 189 | VERA179 | México | Tuxpeño | 16 | 17 | 4 |
| 190 | VERA193 | México | Tepecintle | 15 | 18 | 4 |
| 191 | VERA203 | México | Tuxpeño | 3 | 15 | 4 |
| 192 | VERA214 | México | Tuxpeño | 11 | 10 | 4 |
| 193 | VERA404 | México | Mushito | 15 | 19 | 4 |
| 194 | VERA413 | México | Tuxpeño | 14 | 17 | 4 |
| 195 | VERA44 | México | Tuxpeño | 15 | 18 | 4 |
| 196 | VERA470 | México | Celaya | 15 | 19 | 4 |
| 197 | VERA489 | México | Celaya | 19 | 19 | 4 |
| 198 | VERA530 | México | Cónico | 17 | 19 | 4 |
| 199 | VERA533 | México | Cónico | 12 | 10 | 4 |
| 200 | VERA73 | México | Elote Occidental | 13 | 18 | 4 |
| 201 | VERA755 | México | Olotillo | 17 | 20 | 4 |
| 202 | VERA756 | México | Olotillo | 16 | 17 | 4 |
| 203 | VERA816 | México | Olotillo | 15 | 18 | 4 |
| 204 | VERA829 | México | Olotillo | 17 | 16 | 4 |
| 205 | VERA93 | México | Tuxpeño | 7 | 13 | 4 |
| 206 | VERA94 | México | Tuxpeño | 20 | 19 | 4 |
| 207 | VERA95 | México | Tuxpeño | 9 | 20 | 4 |

Tabla 5.1. La en numeración de tratamientos se inició a partir del 101, siendo un total de 107 tratamientos.

5.3. Preparación de Sustrato

La siembra se realizó en charolas de aproximadamente 20cm x 25 cm con capacidad de veinte plántulas de maíz, el sustrato usado fue una mezcla 1:1 de tierra y peat moss, la cual se llevó a un proceso de esterilización en horno de alta temperatura, para evitar contaminación.

5.4. Establecimiento del Experimento

El experimento del virus MCMV se sembró el 2 de septiembre 2015 y el experimento del virus SCMV, la siembra fue el 7 de septiembre del 2015 en mesas diferentes dentro del mismo invernadero, realizando labores culturales y muestreos por fechas diferentes para evitar contaminación del material experimental.

5.5. Tamaño de Parcela Experimental

Cada unidad experimental estuvo conformada por una hilera de 5 plántulas por repetición, con un total de cuatro repeticiones por cada accesión, para cada experimento.

5.6. Protocolo de Inoculación del MCMV Y SCMV

Preparación de inóculo, el tejido joven de la hoja recientemente infectado, aproximadamente dos semanas después de la inoculación se muele en un mortero usando 0.05M de solución de Fosfato buffer frío, con pH 7.0. Se utiliza una dilución 1:10 peso de la hoja de tejido infectado y se añade Carborundum (600 mesh) en el inóculo la cual causa herida sobre las hojas de las plántulas a inocular.

5.7. Proceso de Inoculación

La transmisión mecánica del virus se realizó a las plántulas 10 días después de la siembra (en etapa de 2 a 3 fitómeros), cultivadas a temperaturas de 18 a 27°C. Se sumerge un trozo de tela de gaza en la solución (inóculo) y se frota ligeramente a través de la superficie superior de la hoja para inocularla. Una semana después se repite todo el proceso para evitar escapes.

5.8. Riegos

Los riegos en los genotipos fueron ligeros a excepción del primer riego después de siembra para asegurar la germinación, la humedad y la temperatura fueron controladas de forma automáticas dentro del invernadero.

5.9. Muestreos

Para la obtención de resultados, primeramente se tomaron los datos de germinación por genotipo a los ocho días después de siembra, posteriormente, a los 30 días después de la siembra, los genotipos fueron calificados para determinar el porcentaje de plantas con infección sistémica, se asignó una escala de 1 a 3 para calificar la reacción de cada virus MCMV y SCMV respectivamente, de forma visual con síntomas asociados a cada virus; en donde 1= sin síntomas, 2= síntomas leves y 3= síntomas severos de hojas con mosaico y moteado.

5.10. Diseño Experimental Utilizado

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con cuatro repeticiones por tratamiento en cada uno de los dos experimentos. Por la necesidad de controlar el error experimental se decide utilizar dicho diseño experimental, formando bloques de unidades experimentales homogéneos y asignando los tratamientos de forma al azar a las unidades experimentales de cada bloque.

El análisis de datos para observar si hay diferencias estadísticas entre los 107 tratamientos, se realizó usando un promedio de las calificaciones tomadas a cada planta por repetición, donde fue necesario una transformación de datos, las cuales permiten corregir algunos errores de datos para su correcto análisis con el Software SAS 9.0. Los datos se transformaron, sumando punto cero cinco, al valor

original para posteriormente sacar la raíz cuadrada de cada valor, los cuales fueron usados en SAS bajo el procedimiento GLM para el análisis de varianza con datos faltos, cada virus, fue analizada de forma independiente. Para la prueba de rango múltiple se aplicó la prueba de Duncan con medias ajustadas.

Modelo aditivo lineal

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento

μ = Media general

α_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j = Efecto del bloque j

ϵ_{ij} = Efecto del Error Experimental

VI. RESULTADOS

Experimento Uno. Evaluación de 103 accesiones para tolerancia al MCMV.

En las tablas siguientes se evalúa, el comportamiento de los materiales en estudio de 103 accesiones, y cuatro líneas testigos del CIMMYT, bajo infestación artificial.

Para la evaluación de los materiales se calificaron por síntomas visuales relacionados al MCMV, usando una escala de medición de 1 a 3.

El modelo general demuestra una diferencia altamente significativa ($p < 0.0001$, véase tabla 6.1), la cual se lleva a descomponer en fuentes de variación como son los tratamientos y bloques, para así realizar un análisis por cada efecto.

En la fuente de variación de bloques (ambiente), se encontró una diferencia significativas de ($p < 0.05$), aceptándose la hipótesis alterna la cual menciona que al menos una repetición será diferente a las demás, lo cual se puede observar en la tabla 6.2. Este se entiende que existe una variación ambiental dentro del invernadero, así como de posibles errores de manejo y toma de datos, o bien como errores en el proceso de inoculación del virus de una repetición a la otra.

Para la fuente de variación tratamiento, se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0.0001$ véase tabla 6.2), por lo que se acepta la hipótesis alterna (H_1) la cual menciona que al menos uno de los tratamientos es diferente. Para este

modelo se obtuvo un coeficiente de variación igual a 10.01% (tabla 6.3), la cual indica que es una estimación con una precisión aceptable.

Al encontrarse diferencias significativas, en la fuente de variación tratamientos, se realizó una prueba de rangos múltiple de Duncan (tabla 10.1), esta prueba clasifica los tratamientos en diferentes clases, pero para fines de selección de los mejores genotipos, se formaron nuevas clases usando la media del tratamiento superior (1= sano), más dos veces la desviación estándar y todos los genotipos que entran en el rango forman la primera clase, la segunda clase se forma, usando el valor de la media que le sigue del último genotipo seleccionado en la clase uno, sumando dos veces la desviación estándar y así sucesivamente. Véase. Tabla 6.4. Haciendo uso de estas clases formadas, se comprueba que las líneas CML494 Y CML550, son más tolerantes al MCMV, así como las accesiones, VERA179, VERA73, PUER2, TRIN27 (véase tabla 6.5), mientras que en la tabla 6.6 se puede observar a genotipos moderadamente tolerantes a dicho virus como son: OAXA129, VERA203, PERU558, ECUA327, RDOM169, BRVI2, CUBA32, y en la tabla 6.7. Se encuentran clasificados los genotipos más susceptibles incluyendo los testigos CML 334 y CML 228, junto con las accesiones; VERA93, VENE341, CHIS81, CHIS202, PERU584, PERU591.

Análisis de Varianza para el Experimento Uno de la Evaluación del MCMV

Tabla 6.1. Análisis de Varianza del Modelo General

| Fuente | DF | Suma de Cuadrados | Cuadrado de la Media | F-Valor | Pr>F |
|-----------------------|-----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| Modelo | 109 | 4.3519302 | 0.039926 | 1.76 | <.0001 |
| Error | 303 | 6.8810298 | 0.0227097 | | |
| Total correcto | 412 | 11.23296 | | | |

Tabla 6.2. Análisis por Fuente de Variación

| Fuente | DF | Tipo I SS | Cuadrado de la Media | F-Valor | Pr > F |
|-------------|-----|------------|----------------------|---------|--------|
| TRAT | 106 | 4.16186382 | 0.03926287 | 1.73 | 0.0002 |
| BLOQ | 3 | 0.19006637 | 0.06335546 | 2.79 | 0.0408 |

Tabla 6.3. Parámetros de Confianza del Análisis de Varianza

| R-cuadrado | Coef. Var | Raíz MSE | MCMV Media |
|------------|-----------|----------|------------|
| 0.387425 | 10.01213 | 0.150697 | 1.505148 |

Tabla 6.4. Valores de Formación de Clases

| | | |
|--|--------------|-------------|
| Alfa | 0.05 | |
| Grados de Libertad de Error Experimental | 303 | |
| Cuadrado Medio del Error Experimental | 0.02271 | |
| Desviación Estándar | 0.150698374 | |
| dos veces la Desviación Estándar | 0.301396748 | |
| Clase 1 | 1.00 a | 1.301396748 |
| Clase 2 | 1.34152337 a | 1.602793497 |
| Clase 3 | 1.61825 a | 1.904190245 |

Tabla 6.5. Genotipos Resistentes al MCMV

| GENOTIPOS RESISTENTES | NÚMERO DE TRATAMIENTO EN EL EXPERIMENTO | MCMV LSMEAN |
|-----------------------|---|-------------|
| CML494 | 116 | 1.249 |
| VERA179 | 189 | 1.287 |
| VERA73 | 200 | 1.292 |
| PUER2 | 164 | 1.298 |
| TRIN27 | 174 | 1.307 |
| CML550 | 117 | 1.339 |

Tabla 6.6. Genotipos Moderadamente Tolerantes al MCMV

| GENOTIPOS | NÚMERO DE TRATAMIENTO EN EL EXPERIMENTO | MCMV LSMEAN |
|-----------|---|-------------|
|-----------|---|-------------|

| | | |
|---------|-----|-------|
| OAXA129 | 144 | 1.341 |
| VERA203 | 191 | 1.345 |
| PERU558 | 154 | 1.346 |
| ECUA327 | 128 | 1.346 |
| RDOM169 | 166 | 1.353 |
| BRVI2 | 105 | 1.384 |
| CUBA32 | 123 | 1.390 |
| TRIN39 | 175 | 1.393 |
| CUBA125 | 120 | 1.397 |
| SVIN8 | 169 | 1.402 |
| SCRO1 | 168 | 1.403 |
| TRIN47 | 176 | 1.403 |
| ANTI4 | 101 | 1.409 |
| OAXA864 | 151 | 1.422 |
| PERU606 | 159 | 1.423 |

Tabla 6.7. Genotipos Susceptibles al MCMV

| GENOTIPOS | NÚMERO DE TRATAMIENTO EN EL EXPERIMENTO | MCMV LSMEAN |
|-----------|---|-------------|
| CHIS87 | 112 | 1.618 |
| BRVI110 | 103 | 1.620 |
| ECUA372 | 129 | 1.625 |
| CHIS351 | 110 | 1.630 |
| OAXA292 | 146 | 1.634 |
| VERA404 | 193 | 1.641 |
| CUBA72 | 125 | 1.645 |
| CHIS81 | 111 | 1.648 |
| CHIS202 | 108 | 1.657 |
| PERU584 | 157 | 1.661 |
| PERU591 | 158 | 1.675 |
| CML 334 | 115 | 1.678 |
| VERA93 | 205 | 1.687 |
| VENE341 | 179 | 1.758 |
| CML 228 | 114 | 1.767 |

Experimento Dos. Evaluación de 103 accesiones para tolerancia al Virus del Mosaico de la Caña de Azúcar.

El estudio fue para la evaluación del comportamiento de 103 genotipos y cuatro líneas testigos del CIMMYT, infestados artificialmente dentro del invernadero con el SCMV.

Para la evaluación de los materiales con la finalidad de comprobar que existen diferencias estadísticas se calificaron las plantas por síntomas visuales relacionados al Virus del Mosaico de la caña de azúcar, usando una escala de medición de 1 a 3.

El análisis se hace bajo un modelo general donde se obtiene como resultado una diferencia altamente significativa al ($P < 0.0001$ véase tabla 6.8), por lo que se procede a un análisis por fuentes de variación obteniendo una mejor explicación de cada efecto. Y como resultado se obtienen en la fuente de variación bloques (ambiente), que no presenta diferencia entre sus repeticiones como se observa en la tabla 6.9, demostrando un manejo agronómico y condiciones ambientales homogéneas del ensayo.

En el análisis de estos datos se encontró una diferencia altamente significativa ($p < 0.001$), en la fuente de variación de tratamientos, (véase tabla 6.9), por lo que se acepta la hipótesis alterna la cual indica que al menos uno de los tratamientos presentará mayor tolerancia a dicho virus, por lo tanto posiblemente entre los materiales evaluados existen genes de resistencia. Para encontrar el mejor tratamiento, se procede con la prueba de medias, en la cual, se hizo uso de las pruebas de rango múltiple de Duncan, dicha prueba genera diferentes clasificaciones de los tratamientos como se observa en la tabla 10.2. Para fines de selección la clasificación generada es muy estricto, por lo que se decide usar un nueva

clasificación, formada con la media del mejor individuo (1= sano), sumando dos veces el parámetro estadístico desviación estándar, procedimiento completo en la tabla 6.11, la cual forma la primera clase y la segunda clase se toma el siguiente valor de la media del último tratamiento seleccionado en la clase uno, sumado dos veces la desviación estándar y de la misma forma se crea las otras clases evitando así seleccionar genotipos con características no deseables.

Haciendo uso de las clases formadas encontramos que los testigos CML 334 y CML 228, efectivamente son resistentes al SCMV, así como las siguientes accesiones: VENE1014, CHIS87, RDOM169, RDOM309, CHIS222, VERA404, HAIT44, PUER15, (véase tabla 6.12), en la segunda clase se encuentran las accesiones con una tolerancia moderada como son: VENE405, VERA470, SVIN8, VENE321, VENE933, VERA214, HAIT27 y la línea CML550 (véase tabla 6.13), mientras que en la clase tres, como materiales más susceptibles se encuentran la línea CML494 y las accesiones: PUER6, VERA203, HAIT22, CUBA165, PUER2, BRVI110, HAIT36, VERA214, HAIT27 información completa en la tabla 6.14.

Es importante analizar el coeficiente de variación del modelo el cual determina el error del experimento, el que en esta ocasión se obtiene 11.5% como se observa en la tabla 6.10, la cual confirma que el experimento fue conducido correctamente.

Análisis de Varianza del Experimento dos de la evaluación del SCMV

Tabla 6.8. Análisis de Varianza del Modelo General

| Fuente | DF | Suma de Cuadrados | Cuadrado de la Media | F-Valor | Pr>F |
|-----------------------|-----|-------------------|----------------------|---------|--------|
| | | | | | |
| Modelo | 109 | 7.36641186 | 0.06758176 | 2.39 | <.0001 |
| | | | | | |
| Error | 312 | 8.81028979 | 0.02823811 | | |
| | | | | | |
| Total Correcto | 421 | 16.17670166 | | | |

Tabla 6.9. Análisis por Fuente de Variación

| Fuente | DF | Tipo I SS | Cuadrado de la Media | F-Valor | Pr > F |
|-------------|-----|------------|----------------------|---------|--------|
| | | | | | |
| TRAT | 106 | 7.15986833 | 0.06754593 | 2.39 | <.0001 |
| BLOQ | 3 | 0.20654354 | 0.06884785 | 2.44 | 0.0646 |

Tabla 6.10. Parámetros de Confianza del Análisis de Varianza

| R-Cuadrado | Coef. Var | Raíz MSE | SCMV Media |
|------------|-----------|----------|------------|
| 0.455372 | 11.50207 | 0.168042 | 1.460972 |

Tabla 6.11. Valores de Formación de Clases

| | | |
|---------------------------------------|-------------|-------------|
| Cuadrado Medio del Error Experimental | 0.028238 | |
| Desviación Estándar | 0.168041662 | |
| Dos veces la Desviación Estándar | 0.336083323 | |
| Clase 1 | 1.2544676 a | 1.336083323 |
| Clase 2 | 1.3375 a | 1.672166646 |
| Clase 3 | 1.6725 a | 2.008249969 |

Tabla 6.12. Genotipos Resistentes al SCMV.

| GENOTIPOS | NÚMERO DE TRATAMIENTO EN EL EXPERIMENTO | SCMV LSMEAN |
|-----------|---|-------------|
| CML 334 | 115 | 1.254 |
| VERNE1014 | 177 | 1.260 |
| CHIS87 | 112 | 1.267 |
| RDOM169 | 166 | 1.267 |
| RDOM309 | 167 | 1.267 |
| CHIS222 | 109 | 1.277 |
| VERA404 | 193 | 1.277 |
| HAIT44 | 142 | 1.280 |
| PUER15 | 162 | 1.292 |
| ECUA327 | 128 | 1.300 |
| CUBA32 | 123 | 1.302 |
| HAIT31 | 139 | 1.310 |
| VERA413 | 194 | 1.310 |
| TABA21 | 172 | 1.315 |
| VERNE883 | 186 | 1.315 |
| HAIT39 | 141 | 1.317 |
| VERA489 | 197 | 1.325 |
| VERA829 | 204 | 1.325 |
| CUBA7 | 124 | 1.330 |
| VERNE692 | 183 | 1.330 |
| CML 228 | 114 | 1.410 |

Tabla 6.13. Genotipos Moderadamente Tolerantes al SCMV

| GENOTIPOS | NÚMERO DE TRATAMIENTO EN EL EXPERIMENTO | SCMV LSMEAN |
|-----------|---|-------------|
| VENE405 | 180 | 1.337 |
| VERA470 | 196 | 1.337 |
| SVIN8 | 169 | 1.347 |
| VENE321 | 178 | 1.347 |
| VENE933 | 187 | 1.347 |
| CUBA13 | 121 | 1.350 |
| VERA756 | 202 | 1.350 |
| CHIS1112 | 107 | 1.355 |
| CUBA9 | 126 | 1.357 |
| VERA179 | 189 | 1.360 |
| VERA73 | 200 | 1.360 |
| PUER16 | 163 | 1.367 |
| ECUA865 | 130 | 1.377 |
| PERU584 | 157 | 1.380 |
| PUER6 | 165 | 1.385 |
| VERA203 | 191 | 1.387 |
| HAIT22 | 136 | 1.390 |
| CUBA165 | 122 | 1.395 |
| PUER2 | 164 | 1.395 |
| BRVI110 | 103 | 1.397 |
| HAIT36 | 140 | 1.397 |
| VERA214 | 192 | 1.397 |
| HAIT27 | 137 | 1.400 |
| CML550 | 117 | 1.596 |

Tabla 6.14. Genotipos Susceptibles al SCMV

| GENOTIPOS | NÚMERO DE TRATAMIENTO EN EL EXPERIMENTO | SCMV LSMEAN |
|------------------|--|--------------------|
| TABA12 | 170 | 1.672 |
| GUER214 | 134 | 1.690 |
| VENE513 | 182 | 1.692 |
| ECUA372 | 129 | 1.700 |
| CUBA115 | 118 | 1.720 |
| OAXA864 | 151 | 1.730 |
| TABA23 | 173 | 1.730 |
| CHIS1037 | 106 | 1.735 |
| CML494 | 116 | 1.672 |

VII. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados del análisis del modelo general de los datos tomados por los síntomas visuales de la infección del MCMV y del SCMV, se encontraron que, existe cierta resistencia a estos virus, mostrándose dichos síntomas en materiales susceptibles en las hojas más jóvenes como pequeñas manchas cloróticas en las plántulas infectadas por el MCMV, y en las plantas infectadas por el SCMV, presentaron mosaicos y rayas cloróticas en la base de las hojas más jóvenes, coincidiendo con lo dicho por CIMMYT (2004) y Calvillo et al. (2009).

La diferencia encontrada en la fuente de variación de bloques, es atribuido a errores de manejo agronómico, inoculación del virus, en la toma de datos y en cierta parte las condiciones ambientales dentro del invernadero

Al encontrarse que en la fuente de variación tratamientos, existen diferencias altamente significativas, se entiende que dentro del grupo de accesiones evaluadas, existe la diversidad genética con una fuente de resistencia suficiente a los virus, confirmando lo dicho por Paliwal (2001), en la cual menciona que la resistencia de las plantas de maíz, a diferentes enfermedades se encuentran presentes dentro de la diversidad del cultivo, así como en las especies emparentadas, por lo que es importante conocer la diversidad genética para diversificar las fuentes de germoplasma incrementando así las probabilidades de detectar genes favorables.

Dichos alelos favorables se identifican con una selección, la cual escoge a los mejores individuos, para usarlos como progenitores bajo un método de mejoramiento, de acuerdo con Flores (2001). Formando líneas puras donde los genes favorables son fijadas, coincidiendo con lo descrito por Johanse (1903).

Como resultado de la selección se encontraron a las líneas CML494 y CML550, que son más tolerantes al MCMV, las cuales fueron usados como testigos, recordando que CIMMYT (2014) los reporta como Moderadamente resistente al MLN, después de haber sido sometidos a una inoculación artificial en Kenia, ciclo 2013- 2014, por lo que se esperaba una alta resistencia de dichas líneas al MCMV pero los mismos testigos en la inoculación del SCMV, la línea CML 494 fue susceptible mientras que la línea CML 550 presentó una tolerancia moderada y los otros dos testigos las líneas CML 228 y CML 334 mostraron susceptibilidad al MCMV pero resistentes al SCMV, por estos resultados se puede concluir que los gene(s) que controlan la resistencia son totalmente diferentes para cada virus.

Entre los materiales más resistentes para cada virus, se encuentran accesiones de orígenes muy diversos geográficamente, por lo que se pudiera entender que los genes de resistencia puedan ser diferentes en cada material ya que entre dichas accesiones no existe un flujo genético, pudiera también hablarse de Herencia poligénica y Monogénica, es decir que la herencia puede estar controlado por uno o varios genes de acuerdo a lo mencionado por Paliwal (2001), de acuerdo al modo en que se expresa la resistencia, ésta puede ser resistencia vertical, cuando es efectiva ante algunos pato tipos del patógeno y la resistencia horizontal, si se comporta por igual, en todos los patotipos del patógeno.

El objetivo de haber usado del diseño de bloques completos al azar, es reducir la variación ambiental (Error experimental), la cual se justifica al encontrar una diferencia del 0.05 (véase tabla 3.2), entre bloques.

VIII. CONCLUSIONES

Por la diversidad genética de las accesiones evaluadas, se cumple con el objetivo de identificar materiales genéticos resistentes al MCMV y SCMV a través de la inoculación artificial de dichos virus.

La variación ambiental, es un efecto a considerar en el establecimiento de un experimento dentro del invernadero, ya que se encontró un efecto ambiental.

Experimento Uno. Evaluación de 103 accesiones para tolerancia al Virus Moteado Clorótico del Maíz.

La presencia del patógeno MCMV en las plantas de acuerdo a la sintomatología, depende de la diversidad genética de las accesiones.

Las accesiones VERA179, VERA73, PUER2, TRIN27, se identificaron como tolerantes al MCMV.

Se confirma la resistencia de las líneas testigos CML494 y CML550 al MCMV.

Experimento Dos. Evaluación de 103 accesiones para tolerancia al Virus del Mosaico de la Caña de Azúcar.

El efecto de la inoculación se vio reflejado en los testigos ya que presentaron tolerancia al SCMV.

Se identificaron las accesiones; VENE1014, CHIS87, RDOM169, RDOM309, CHIS222, VERA404, HAUT44, como tolerantes al virus SCMV.

Se confirma la resistencia de las líneas testigos CML228 y CML334 al SCMV

Las líneas testigos CML228 y CML334 que son resistentes al SCMV son susceptibles al MCMV, y viceversa

IX. LITERATURA CITADA

- Adams, I. P., Miano, D. W., Kinyua, Z. M., Wangai, A., Kimani, E., Phiri, N., Boonham, N. (2013). Use of next-generation sequencing for the identification and characterization of maize chlorotic mottle virus and sugarcane mosaic virus causing maize lethal necrosis in Kenya. *Plant Pathology*, 62(4):741–749.
- Agrios, G. N. 2005. *Plant Pathology*. Fifth Edition. Elsevier, Academic Press. U.S.A. Pp. 922
- Calvillo, M. R., Silva, R. L., & Ruiz, C. S. (2009). Variabilidad de virus del mosaico de la caña en plantas del maíz (SCMV) en la comunidad de Nextepac Jalisco. *Universidad Autónoma de Querétaro*, (1), 43–46.
- Castañeda, Y. (2011). Una visión sobre la importancia de la diversidad del maíz en México. Citado. Febrero 16, 2016.
- Castañeda Zavala, Y. Una visión sobre la importancia de la diversidad del maíz en México: *Revista Christus*, año LXXII, número 762, septiembre-octubre de 2007, págs. 20-22
- Chen, J., Chen, J., & Adams, M. J. (2001). Characterisation of Potyviruses from Sugarcane and maize in China, 1–10.
- CIMMYT. (2013). UPDATE : Promising CIMMYT maize inbreds and pre-commercial hybrids identified against maize lethal necrosis (MLN) in eastern Africa.
- FAO. 2014. *Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. Edición revisada. Roma.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2001). *El Maíz en los Trópicos: Mejoramiento y Producción*. Roma: 9253044578, 9789253044573.
- ICTV, I.C. on T. of V., 2014. *Taxonomía de Virus*. Available at: http://www.ictvonline.org/virusTaxonomy.asp?taxnode_id=20143762 [Accessed November 7, 2015].

- Jensen, S. G. (1985). Laboratory transmission of maize chlorotic mottle virus by three species of corn rootworms. *Plant Disease*, 69(10), 864–868.
- Jensen, S. G., Wysong, D. S., Ball, E. M., & Higley, P. M.(1991). Seed transimission of maize chlorotic mottle virus. *Plant Disease*, 75,pp.497–498.
- Johansen, W. 1903. Heredity in populations and pure lines. En: Peters, J.A. (ed.) *Classic papers in genetics*. Prentice Hall, inc. New Jersey. Pp: 20-26
- Mezzalama, M., Das, B. & Prasanna, B.M., 2015. MLN Pathogen diagnosis, MLN-free seed production and safe exchange to non-endemic countries. CIMMYT Brochure. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Nault, L. R., Styer, W. P., Coffey, M. E., Gordon, D. T., Negi, L. S., & Niblett, C. L. (1978). Transmission of maize chlorotic mottle virus by chrysomelid beetles. *Phytopathology*, 68(7), 1071–1074.
- Nelson, S.,Brewbaker, J., & Hu, J. (2011). Maize chlorotic mottle. *Plant Disease*, 79(12), 1–6.
- Ordano, M. (2011). *Genética cuantitativa y estimación de Heredabilidad*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Paliwal, R., 2001. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. FAO, Roma: 9253044578, p. 392.
- Peña, F., Silva, R., & Alcalá, B. (2008). *Secuenciacion del virus SCMV-CAM6*. Centro de Investigación Y de Estudios Avanzados Del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Irapuato, (1), 6–9.
- Programa de Maíz del CIMMYT. 2004. *Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en el campo*. Cuarta edición. México, D.F.: CIMMYT.
- Salazar, S. M., & León, C. De. (2001). *Seleccion de lineas de maiz con resistencia al virus del mosaico de la caña de azucar.* , p.17. Colombia.
- Wangai, A. W., Redinbaugh, M. G., Kinyua, Z. M., Miano, D. W., Leley, P. K., Kasina,

- M., ... Jeffers, D. (2012). First report of maize chlorotic mottle virus and Maize Lethal Necrosis in Kenya. *Plant disease*, 96(10): 1582.
- Wawa, B. (2015). El Blog del CIMMYT » Nuevo proyecto para frenar la propagación de la MLN en África. Citado el 6 Febrero, 2016.
- Willan, R., Olesen, K., & Barner, H. (1993). La variación natural como base del mejoramiento genético forestal. Dinamarca: 4.
- Xianchun, X. et al., 1999. Quantitative trait loci mapping of resistance to sugarcane mosaic virus in maize. *Phytopathology*, 89(8), pp. 660–667.
- Xie, L. et al., 2011. Characterization of maize chlorotic mottle virus associated with maize lethal necrosis disease in China. *Journal of Phytopathology*, 159 (3), pp.191–193.

X. APÉNDICE

Tabla 10.1 Clasificación de Duncan Experimento MCMV

| Medias con la misma letra no son significativamente diferentes. | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|
| Duncan Agrupamiento | | | | | | | | | | Media | N | TRAT | | | | |
| | | | | | | A | | | | | 1.767 | 4 | 114 | | | |
| | | B | | | | A | | | | | 1.7585 | 4 | 179 | | | |
| | | B | | | | A | | C | | | 1.689 | 3 | 115 | | | |
| | | B | | | | A | | C | | | 1.6873 | 4 | 205 | | | |
| | | B | D | | | A | | C | | | 1.6758 | 4 | 158 | | | |
| E | B | D | | | | A | | C | | | 1.6613 | 4 | 157 | | | |
| E | B | D | | | | A | | C | | | 1.6573 | 4 | 108 | | | |
| E | B | D | | | | A | | C | | | 1.6483 | 4 | 111 | | | |
| E | B | D | | | | A | | C | | | 1.6453 | 4 | 125 | | | |
| E | B | D | | | | A | | C | F | | 1.6418 | 4 | 193 | | | |
| E | B | D | | A | G | | C | F | | | 1.6343 | 4 | 146 | | | |
| E | B | D | H | A | G | | C | F | | | 1.6303 | 4 | 110 | | | |
| E | B | I | D | H | A | G | | C | F | | 1.6258 | 4 | 129 | | | |
| E | B | I | D | H | A | G | | C | F | | 1.6203 | 4 | 103 | | | |
| E | B | I | D | H | A | G | | C | F | | 1.6183 | 4 | 112 | | | |
| E | B | I | D | H | A | G | | C | F | | 1.6118 | 4 | 130 | | | |
| E | B | I | D | H | A | G | | C | F | | 1.6088 | 4 | 202 | | | |
| E | B | I | D | H | A | G | | C | F | | 1.6003 | 4 | 198 | | | |
| E | B | I | D | H | A | G | | C | F | | 1.6003 | 4 | 195 | | | |
| E | B | I | D | H | A | G | | C | F | | 1.5998 | 4 | 199 | | | |
| E | J | B | I | D | H | A | G | | C | F | 1.591 | 4 | 118 | | | |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | F | 1.5843 | 4 | 181 | | |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | F | 1.581 | 4 | 150 | | |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | F | 1.58 | 3 | 140 | | |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | F | L | 1.5775 | 4 | 149 | |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | M | F | L | 1.573 | 4 | 102 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | M | F | L | 1.5715 | 4 | 155 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | M | F | L | 1.5645 | 4 | 133 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | M | F | L | 1.5618 | 4 | 190 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | M | F | L | 1.5608 | 4 | 170 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | M | F | L | 1.559 | 3 | 109 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | M | F | L | 1.5553 | 4 | 160 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | M | F | L | 1.5498 | 4 | 186 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | M | F | L | 1.5485 | 4 | 173 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | M | F | L | 1.5455 | 4 | 171 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|-----|
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | M | F | L | 1.5418 | 4 | 178 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | M | F | L | 1.5393 | 4 | 127 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | M | F | L | 1.5383 | 4 | 182 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | | C | M | F | L | 1.5368 | 4 | 132 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.531 | 4 | 136 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.529 | 4 | 184 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.5288 | 4 | 187 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.528 | 4 | 188 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.5265 | 4 | 138 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.5255 | 4 | 197 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.5243 | 4 | 207 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.5203 | 4 | 106 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.5183 | 4 | 134 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.515 | 4 | 145 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.5145 | 4 | 206 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.5118 | 4 | 180 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.5085 | 4 | 177 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.504 | 4 | 185 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.504 | 4 | 113 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.5023 | 4 | 183 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.5003 | 4 | 121 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.5003 | 4 | 192 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.4973 | 4 | 147 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.496 | 4 | 204 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.4958 | 4 | 152 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.4958 | 4 | 172 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.492 | 4 | 141 |
| K | E | J | B | I | D | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.4918 | 4 | 104 |
| K | E | J | B | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4795 | 4 | 201 |
| K | E | J | B | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4773 | 4 | 162 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.472 | 1 | 167 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4713 | 4 | 124 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4643 | 4 | 139 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4623 | 3 | 137 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4588 | 4 | 119 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4585 | 4 | 131 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4545 | 4 | 143 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4528 | 4 | 165 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4503 | 4 | 122 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4495 | 4 | 196 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4413 | 4 | 148 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|--------|---|-----|
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4408 | 4 | 163 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4403 | 4 | 153 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4395 | 4 | 142 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4388 | 4 | 156 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4375 | 4 | 161 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4345 | 4 | 126 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4328 | 4 | 135 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4318 | 4 | 203 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4275 | 4 | 107 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4248 | 4 | 194 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.423 | 4 | 159 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.422 | 4 | 151 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.409 | 4 | 101 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.403 | 4 | 176 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.403 | 4 | 168 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | C | M | F | L | 1.4025 | 4 | 169 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | | M | F | L | 1.3978 | 4 | 120 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | | M | F | L | 1.3935 | 4 | 175 |
| K | E | J | | I | D | H | | G | N | | M | F | L | 1.3905 | 4 | 123 |
| K | E | J | | I | | H | | G | N | | M | F | L | 1.3845 | 4 | 105 |
| K | | J | | I | | H | | G | N | | M | F | L | 1.354 | 1 | 191 |
| K | | J | | I | | H | | G | N | | M | | L | 1.3463 | 4 | 154 |
| K | | J | | I | | H | | | N | | M | | L | 1.3437 | 3 | 144 |
| K | | J | | I | | H | | | N | | M | | L | 1.3437 | 3 | 128 |
| K | | J | | I | | H | | | N | | M | | L | 1.3437 | 3 | 166 |
| K | | J | | I | | | | | N | | M | | L | 1.341 | 2 | 117 |
| K | | J | | | | | | | N | | M | | L | 1.3075 | 4 | 174 |
| K | | | | | | | | | N | | M | | L | 1.2985 | 4 | 164 |
| | | | | | | | | | N | | M | | L | 1.292 | 4 | 200 |
| | | | | | | | | | N | | M | | | 1.2878 | 4 | 189 |
| | | | | | | | | | N | | | | | 1.2495 | 4 | 116 |

N= Numero de Repeticiones por Tratamiento

Tabla 10.2 Clasificación de Duncan Experimento SCMV

| Duncan Agrupamiento SCMV | | | | | | | | | | | | | Media | N | TRAT | |
|--------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|-------|-------|------|-----|
| | | | | | | | | | | A | | | | 1.735 | 4 | 106 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-----|
| | | B | | | | | | A | | | | | | | 1.73 | 4 | 173 | | | | |
| | | B | | | | | | A | | | | | | | 1.73 | 4 | 151 | | | | |
| | | B | | | | | | A | | | C | | | | 1.72 | 4 | 118 | | | | |
| | | B | | D | | | | A | | | C | | | | 1.7 | 4 | 129 | | | | |
| E | B | | | D | | | | A | | | C | | | | 1.6925 | 4 | 182 | | | | |
| E | B | | | D | | | | A | | | C | | F | | 1.69 | 4 | 134 | | | | |
| E | B | | | D | | | | A | G | | C | | F | | 1.68 | 2 | 116 | | | | |
| E | B | | | D | | H | | A | G | | C | | F | | 1.6725 | 4 | 170 | | | | |
| E | B | I | | D | | H | | A | G | | C | | F | | 1.665 | 4 | 146 | | | | |
| E | B | I | | D | | H | | A | G | | C | | F | | 1.665 | 4 | 133 | | | | |
| E | J | B | I | | D | | H | A | G | | C | | F | | 1.66 | 4 | 160 | | | | |
| K | E | J | B | I | | D | | H | A | G | | C | | F | 1.6475 | 4 | 111 | | | | |
| K | E | J | B | I | | D | | H | A | G | | C | | F | 1.6475 | 4 | 179 | | | | |
| K | E | J | B | I | | D | | H | A | G | | C | | F | L | 1.6325 | 4 | 148 | | | |
| K | E | J | B | I | | D | | H | A | G | | C | M | F | L | 1.625 | 4 | 176 | | | |
| K | E | J | B | I | | D | | H | A | G | | C | M | F | L | 1.6225 | 4 | 199 | | | |
| K | E | J | B | I | | D | | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.61 | 4 | 150 | | | |
| K | E | J | B | I | | D | | H | A | G | N | C | M | F | L | 1.605 | 4 | 113 | | | |
| K | E | J | B | I | | D | | H | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.6025 | 4 | 161 | | |
| K | E | J | B | I | | D | | H | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.595 | 4 | 188 | | |
| K | E | J | B | I | | D | | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.5875 | 4 | 119 | |
| K | E | J | B | I | | D | | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.5825 | 4 | 158 | |
| K | E | J | B | I | | D | | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.58 | 2 | 117 | |
| K | E | J | B | I | | D | | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.58 | 4 | 190 | |
| K | E | J | B | I | | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.5775 | 4 | 207 | |
| K | E | J | B | I | | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.575 | 4 | 175 | |
| K | E | J | B | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.57 | 4 | 198 | |
| K | E | J | B | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.565 | 4 | 152 | |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.5625 | 4 | 108 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.5575 | 4 | 120 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.5475 | 4 | 102 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.545 | 4 | 195 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.5275 | 4 | 174 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.5125 | 4 | 205 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.51 | 4 | 159 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.505 | 4 | 147 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.5025 | 4 | 105 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.495 | 4 | 127 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.495 | 4 | 206 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.49 | 4 | 132 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.4825 | 4 | 135 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|-----|
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.475 | 4 | 143 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.4725 | 4 | 201 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.47 | 4 | 125 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.4675 | 4 | 110 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.465 | 4 | 145 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.46 | 4 | 138 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.46 | 4 | 181 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.4575 | 4 | 203 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.455 | 4 | 149 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.4425 | 4 | 171 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.44 | 4 | 104 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.44 | 4 | 144 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.44 | 4 | 185 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.4375 | 4 | 168 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | A | O | G | N | C | M | F | L | 1.4375 | 4 | 154 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | | O | G | N | C | M | F | L | 1.4225 | 4 | 184 |
| K | E | J | B | S | I | R | D | Q | H | P | | O | G | N | C | M | F | L | 1.4225 | 4 | 155 |
| K | E | J | | S | I | R | D | Q | H | P | | O | G | N | C | M | F | L | 1.4125 | 4 | 156 |
| K | E | J | | S | I | R | D | Q | H | P | | O | G | N | | M | F | L | 1.41 | 4 | 101 |
| K | E | J | | S | I | R | D | Q | H | P | | O | G | N | | M | F | L | 1.4075 | 4 | 153 |
| K | E | J | | S | I | R | D | Q | H | P | | O | G | N | | M | F | L | 1.4075 | 4 | 131 |
| K | E | J | | S | I | R | D | Q | H | P | | O | G | N | | M | F | L | 1.4033 | 3 | 114 |
| K | E | J | | S | I | R | D | Q | H | P | | O | G | N | | M | F | L | 1.4 | 4 | 137 |
| K | E | J | | S | I | R | D | Q | H | P | | O | G | N | | M | F | L | 1.3975 | 4 | 140 |
| K | E | J | | S | I | R | D | Q | H | P | | O | G | N | | M | F | L | 1.3975 | 4 | 192 |
| K | E | J | | S | I | R | D | Q | H | P | | O | G | N | | M | F | L | 1.3975 | 4 | 103 |
| K | E | J | | S | I | R | D | Q | H | P | | O | G | N | | M | F | L | 1.395 | 4 | 164 |
| K | E | J | | S | I | R | D | Q | H | P | | O | G | N | | M | F | L | 1.395 | 4 | 122 |
| K | E | J | | S | I | R | D | Q | H | P | | O | G | N | | M | F | L | 1.39 | 4 | 136 |
| K | E | J | | S | I | R | | Q | H | P | | O | G | N | | M | F | L | 1.3875 | 4 | 191 |
| K | E | J | | S | I | R | | Q | H | P | | O | G | N | | M | F | L | 1.385 | 4 | 165 |
| K | | J | | S | I | R | | Q | H | P | | O | G | N | | M | F | L | 1.38 | 4 | 157 |
| K | | J | | S | I | R | | Q | H | P | | O | G | N | | M | | L | 1.3775 | 4 | 130 |
| K | | J | | S | I | R | | Q | H | P | | O | | N | | M | | L | 1.3675 | 4 | 163 |
| K | | J | | S | I | R | | Q | | P | | O | | N | | M | | L | 1.36 | 4 | 200 |
| K | | J | | S | I | R | | Q | | P | | O | | N | | M | | L | 1.36 | 4 | 189 |
| K | | J | | S | I | R | | Q | | P | | O | | N | | M | | L | 1.3575 | 4 | 126 |
| K | | J | | S | I | R | | Q | | P | | O | | N | | M | | L | 1.355 | 4 | 107 |
| K | | J | | S | | R | | Q | | P | | O | | N | | M | | L | 1.35 | 4 | 202 |
| K | | J | | S | | R | | Q | | P | | O | | N | | M | | L | 1.35 | 4 | 121 |
| K | | | | S | | R | | Q | | P | | O | | N | | M | | L | 1.3475 | 4 | 178 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|---|-----|
| K | | | S | R | Q | P | O | N | M | L | 1.3475 | 4 | 169 |
| K | | | S | R | Q | P | O | N | M | L | 1.3475 | 4 | 187 |
| K | | | S | R | Q | P | O | N | M | L | 1.3375 | 4 | 180 |
| K | | | S | R | Q | P | O | N | M | L | 1.3375 | 4 | 196 |
| | | | S | R | Q | P | O | N | M | L | 1.33 | 4 | 124 |
| | | | S | R | Q | P | O | N | M | L | 1.33 | 4 | 183 |
| | | | S | R | Q | P | O | N | M | L | 1.325 | 4 | 204 |
| | | | S | R | Q | P | O | N | M | L | 1.325 | 4 | 197 |
| | | | S | R | Q | P | O | N | M | | 1.3175 | 4 | 141 |
| | | | S | R | Q | P | O | N | M | | 1.315 | 4 | 186 |
| | | | S | R | Q | P | O | N | M | | 1.315 | 4 | 172 |
| | | | S | R | Q | P | O | N | | | 1.31 | 4 | 139 |
| | | | S | R | Q | P | O | N | | | 1.31 | 4 | 194 |
| | | | S | R | Q | P | O | N | | | 1.3025 | 4 | 123 |
| | | | S | R | Q | P | O | N | | | 1.3 | 4 | 128 |
| | | | S | R | Q | P | O | | | | 1.2925 | 4 | 162 |
| | | | S | R | Q | P | | | | | 1.28 | 4 | 142 |
| | | | S | R | Q | P | | | | | 1.2775 | 4 | 193 |
| | | | S | R | Q | P | | | | | 1.2775 | 4 | 109 |
| | | | S | R | Q | | | | | | 1.2675 | 4 | 112 |
| | | | S | R | Q | | | | | | 1.2675 | 4 | 167 |
| | | | S | R | Q | | | | | | 1.2675 | 4 | 166 |
| | | | S | R | | | | | | | 1.26 | 4 | 177 |
| | | | S | | | | | | | | 1.2533 | 3 | 115 |

N= Numero de Repeticiones por Tratamiento