

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



VARIACIÓN GENOTÍPICA EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE  
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN DIFERENTES AMBIENTES

**Tesis**

Que presenta VERÓNICA GUADALUPE ROBLES SALAZAR  
como requisito parcial para obtener el Grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

Saltillo, Coahuila

Junio 2018

VARIACIÓN GENOTÍPICA EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE  
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN DIFERENTES AMBIENTES

Tesis

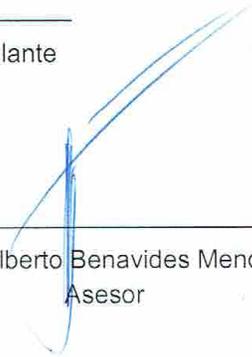
Elaborada por VERÓNICA GUADALUPE ROBLES SALAZAR como requisito parcial para  
obtener el grado de Maestro en Ciencias en Fitomejoramiento con la supervisión y  
aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Fernando Borrego Escalante  
Asesor Principal



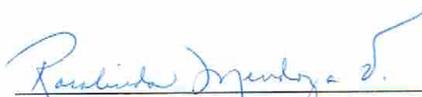
Dr. Alfonso López Benítez  
Asesor



Dr. Adalberto Benavides Mendoza  
Asesor



Dra. María Margarita Murillo Soto  
Asesor



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal  
Subdirectora de Postgrado  
UAAAN

Saltillo, Coahuila

Junio 2018

## **Agradecimientos**

A DIOS Por haberme permitido cumplir con uno de mis objetivos, brindándome salud, sabiduría y fuerzas para seguir adelante en este camino.

A mi ALMA TERRA MATER. Por haberme brindado y transmitido tantos conocimientos y sobre todo por formarme profesionalmente.

A mi Familia por siempre apoyarme en mis decisiones.

Al personal docente del Departamento de Fitomejoramiento, brindándome siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimientos.

Al Dr. Fernando Borrego Escalante, por su valiosa asesoría y apoyo para la realización de este trabajo.

A mis Co asesores por la disponibilidad y asesoría para la revisión del presente trabajo.

A los ingenieros Lulú y Alejandro por su apoyo en laboratorio y campo.

A mis amigos de posgrado, gracias por su amistad.

## Índice general

Índice de Cuadros.....	viii
Índice de Tablas.....	ix
Índice de Figuras .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	3
Objetivos .....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Producción de tomate .....	4
Calidad de fruto .....	4
Color .....	5
Licopeno .....	5
Vitamina C .....	6
Modelo de Eberhart y Russell. ....	7
Modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). ...	7
Modelo de regresión en los sitios (SREG o GGE).....	8
Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE). ....	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
Cruzamientos .....	10

Material genético .....	10
Siembra del material genético .....	12
Preparación del Terreno.....	12
Trasplante. ....	13
Fertilización de fondo. ....	13
Tutorado.....	13
Podas .....	13
Riegos .....	13
Cosecha .....	14
Toma de datos. ....	14
Color de fruto. ....	15
Tamaño de fruto .....	15
Potencial de Iones Hidrógeno (pH).....	16
Grados Brix (°Brix).....	16
Vitamina C. ....	16
Licopeno. ....	17
Rendimiento.....	18
Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE).....	18
Diseño Experimental y Modelo Estadístico .....	19
Modelo estadístico combinado .....	19
Modelo de Eberhart y Russell .....	20
Modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) ..	21
El modelo SREG (GGE biplot) .....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	23

VARIABLES DE RENDIMIENTO.....	23
VARIABLES DE CALIDAD .....	28
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD MEDIANTE EL MODELO DE EBERHART Y RUSSELL.....	33
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD MEDIANTE EL MODELO AMMI 1 PARA RENDIMIENTO.....	36
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD MEDIANTE EL MODELO AMMI 2 PARA RENDIMIENTO.....	38
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y RENDIMIENTO CON EL MÉTODO SREG O GGE.....	40
ÁREA BAJO LA CURVA DEL PROGRESO DE LA ENFERMEDAD (ABCPE) .....	42
CONCLUSIONES .....	45
REFERENCIAS .....	46

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Material genético utilizado como progenitores, establecidos en tres ambientes (cambo abierto, túnel e invernadero).....	11
Cuadro 2. Material genético utilizado como híbridos experimentales, establecidos en tres ambientes (cambo abierto, túnel e invernadero).....	11
Cuadro 3. Material genético utilizado como testigos comerciales establecidos en tres ambientes (cambo abierto, túnel e invernadero).....	12
Cuadro 4. Cantidad de nutrientes utilizados para 1000 litros de agua, en el cultivo de tomate de 0 a 75 días después del trasplante. ....	14
Cuadro 4.1. Cantidad de nutrientes utilizados para 1000 litros de agua, en el cultivo de tomate de 75 días después del trasplante a fin de cosecha.....	15
Cuadro 5. Escala de severidad de tizón tardío. ....	18
Cuadro 6. Análisis de varianza combinado (cuadrados medios) para cuatro variables de rendimiento en 21 genotipos de tomate.....	24
Cuadro 7. Comparación de medias de variables de rendimiento en tres ambientes. ....	26
Cuadro 8. Agrupación estadística de 21 genotipos evaluados en tres ambientes. ....	27
Cuadro 9. Análisis de varianza combinado (cuadrados medios) para cinco variables de calidad en 21 genotipos de tomate. ....	28
Cuadro 10. Agrupación estadística de variables de calidad del fruto en tres ambientes. ....	29
Cuadro 11. Agrupación estadística de variables de calidad del fruto de 21 genotipos evaluados en tres ambientes.....	31
Cuadro 12. Índices de estabilidad por el método Eberhart y Russell de 21 genotipos de tomate, evaluados en tres ambientes.....	34
Cuadro 13. Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de progenitores, progenie y testigos comerciales, establecidos en campo abierto.	43

## Índice de Tablas

Tabla 1. Tamaño de tomate bola. ....	16
Tabla 2. Tamaño de tomate alargado. ....	16

## Índice de Figuras

Figura 1. Relación de rendimiento y estabilidad de 21 genotipos de tomate evaluados en tres ambientes.....	35
Figura 2a. Representación gráfica del coeficiente de regresión y las desviaciones de regresión.....	36
Figura 2b. Representación gráfica del coeficiente de variación y el rendimiento. ....	36
Figura 3. Biplot AMMI 1 para 21 genotipos de tomate evaluados en tres ambientes. ....	37
Figura 4. Representación Biplot AMMI para 21 genotipos de tomate, evaluados en tres ambientes. ....	39
Figura 5. Biplot GGE de 21 genotipos de tomate evaluados en tres ambientes. ....	41

## **RESUMEN**

VARIACIÓN GENOTÍPICA EN RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTO DE  
TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN DIFERENTES AMBIENTES

**POR**

VERÓNICA GUADALUPE ROBLES SALAZAR

MAESTRO EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. FERNANDO BORREGO ESCALANTE ·ASESOR·

Saltillo, Coahuila

Junio 2018

Para la formación de nuevos genotipos de tomate con adaptación y estabilidad a través de ambientes, se requiere medir su interacción genotipo-ambiente (IGA). Modelos como el de Eberhart y Russell, el de regresión en los sitios (SREG) y el de efectos principales aditivos e interacción multiplicativo (AMMI) se utilizan para el estudio de los patrones de respuesta genotípica a través de ambientes. El objetivo de la presente investigación fue determinar los materiales genéticos más prominentes de tomate, en cuanto a características de rendimiento, contenido nutrimental, estabilidad y resistencia a *Phytophthora infestans*. El trabajo de investigación se realizó en el año 2016 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila; se evaluaron 21 genotipos de tomate establecidos en tres ambientes (campo abierto, túnel e invernadero). Las variables evaluadas fueron: rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ), peso promedio de fruto (g), diámetro ecuatorial y polar (cm), tamaño, pH, grados Brix (%), vitamina C (mg/100 g), licopeno (mg/100 g) y color. También se evaluó la susceptibilidad de los genotipos a *Phytophthora infestans*, con el área bajo la curva del progreso de la enfermedad. El diseño experimental utilizado fue un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. De acuerdo a los datos obtenidos en el análisis de varianza combinado se obtuvieron diferencias ( $P \leq 0.01$ ) para la IGA para rendimiento y para las variables de contenido nutrimental. Los genotipos respondieron favorablemente cuando fueron establecidos en invernadero en comparación con el campo abierto. El genotipo 23 obtuvo el mayor rendimiento con  $125\ t\ ha^{-1}$ . Para las variables peso promedio de fruto, diámetro ecuatorial y tamaño, destacó el genotipo 17 con 188.7 g, 7.1 cm, 3.3 (tamaño grande), respectivamente. En las variables pH y grados Brix todos los genotipos cumplieron con lo requerido para considerarse de buen sabor, obteniendo un promedio de 4.5 y 4.4%, respectivamente. Para las variables contenido de licopeno y vitamina C destacaron los genotipos 12 y 16. El modelo Eberhart y Russell no fue apropiado, ya que no se obtuvo ningún genotipo estable, pero se encontró que los genotipos 23 (Y41(Y4xR1)) y 24 (F3 x (45x47)) mostraron adaptabilidad en los tres ambientes. Los genotipos más estables fueron: 5, 18, 26, 2 y 22, según los modelos AMMI 1 y SREG. La línea Y533, la que tuvo una

menor incidencia a *Phytophthora infestans*, por lo que se recomienda utilizarla como progenitor de nuevos híbridos con el fin de proveer resistencia.

Palabras clave: Calidad, estabilidad, *Solanum lycopersicum* L., rendimiento.

**ABSTRACT**

GENETIC EFFECTS IN OVERHEAD GENOTYPES OF TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) IN THREE ENVIRONMENTS

**BY**

VERÓNICA GUADALUPE ROBLES SALAZAR

MASTER IN SCIENCES IN PLANT BREEDING  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. FERNANDO BORREGO ESCALANTE •ADVISOR•

Saltillo, Coahuila

June 2018

For the formation of new tomato genotypes, it is necessary to evaluate in different environments and measure their genotype-environment interaction (GEI). Models such as the Eberhart and Russell, the regression in the sites (SREG) and the additive main effect and multiplicative interaction (AMMI) are used for the study of genotypic response patterns across environments. The objective of this research was to determine the most prominent genetic materials of tomato, in terms of yield characteristics, nutritional content, stability and resistance to *Phytophthora infestans*. The research work was carried out in 2016 at the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro in Saltillo, Coahuila; 21 tomato genotypes established in three environments (open field, tunnel and greenhouse) were evaluated. The variables evaluated were: yield ( $t\ ha^{-1}$ ), average fruit weight (g), equatorial and polar diameter (cm), size, pH, Brix degrees (%), vitamin C (mg/100 g), lycopene (mg/100 g) and color. The susceptibility of the genotypes to *Phytophthora infestans* were also evaluated, with the area under the curve of disease progression. The experimental design used was a randomized complete block design, with three replications. According to the data obtained in the combined analysis of variance, differences were obtained ( $P \leq 0.01$ ) for the GEI for yield and for the nutritional content variables. The genotypes responded favorably when they were established in greenhouse compared to open field. Genotype 23 obtained the highest yield with  $125\ t\ ha^{-1}$ . For the variables fruit weight average, equatorial diameter and size, genotype 17 stood out with 188.7 g, 7.1 cm, 3.3 (large size), respectively. In the variables pH and Brix degrees all the genotypes fulfilled what was required to be considered of good flavor, obtaining an average of 4.5 and 4.4%, respectively. For the lycopene and vitamin C content variables, genotypes 12 and 16 stood out. The Eberhart and Russell model was not appropriate, since no stable genotype was obtained, but it was found that genotypes 23 (Y41 (Y4xR1)) and 24 (F3 x (45x47)) showed adaptability in the three environments. The most stable genotypes were: 5, 18, 26, 2 and 22, according to the AMMI 1 and SREG models. Line Y533 was the one with the

lowest incidence of *Phytophthora infestans*, so it is recommended to use as a progenitor of new hybrids in order to provide resistance.

Key words: Quality, stability, *Solanum lycopersicum* L., yield.

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de nuevos tipos y variedades, nuevos métodos de cultivo y la creciente demanda de hortalizas han incentivado la producción mundial de tomate rojo. El volumen cosechado a nivel mundial, el consumo total, así como el consumo promedio *per cápita* registraron tendencia al alza durante la década reciente (FIRA, 2016).

El consumo regular de vegetales, incluyendo el tomate, está asociado con numerosos beneficios a la salud, como la prevención de enfermedades de tipo crónico-degenerativas y cardiovasculares. Los responsables de estas propiedades en los frutos, son los compuestos antioxidantes que comprenden al licopeno, flavonoides, fenoles y vitaminas como C y E. El contenido y estabilidad de estos compuestos depende del cultivar o de la variedad utilizada, las condiciones ambientales de cultivo, el estado de maduración del fruto y los tratamientos post-cosecha (Luna y Delgado, 2014).

A nivel internacional, México se encuentra entre los principales países exportadores de esta hortaliza y tiene una participación estimada en el mercado internacional de 21%. Estadísticas del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) reflejan que en el país son destinadas a la producción de tomate más de 51 mil hectáreas, con una producción estimada en 2.8 millones de toneladas (SAGARPA, 2016).

Las cinco principales entidades productoras son: Sinaloa (551,055 t), Michoacán (81,152 t), Sonora (74,708 t), Jalisco (68,228 t), Baja California (52,096 t) y Baja California Sur (48,651 t) (SIAP, 2016).

Sin embargo, las plagas y enfermedades merman la producción y elevan los costos del mismo y una de las enfermedades más importantes la constituye el tizón tardío. Para su control a nivel mundial anualmente se invierte de uno a tres billones de dólares (Grünwald *et al.*, 2000; Judelson y Blanco, 2005; Barbosa *et al.*, 2008; Arellano *et al.*, 2013).

Reportes de técnicos y productores señalan que debido a la reducida o nula disponibilidad de variedades resistentes a *P. infestans*, para su control dependen del uso de fungicidas, elevando los costos de producción del cultivo, por lo que la resistencia genética en plantas representa una alternativa viable (Brouwer y St. Clair, 2004; Arellano *et al.*, 2013).

La formación de nuevos genotipos requiere evaluar los materiales genéticos en diferentes ambientes y medir su interacción genotipo-ambiente (G x A) la cual da una idea de la estabilidad fenotípica de los genotipos ante las fluctuaciones ambientales, y es necesario para el desarrollo de un programa de mejoramiento genético del tomate en México (Sánchez *et al.*, 2015).

Lozano *et al.*, (2015) mencionan que para obtener un genotipo más cercano a lo ideal, se pueden utilizar varios modelos para estudiar e interpretar la interacción G x A en experimentos agrícolas. Los modelos de efectos fijos lineal-bilineal, como el SREG (Crossa y Cornelius, 1997) y el de efectos principales aditivos e interacción multiplicativo (AMMI) (Gauch, 1988; Gauch y Zobel, 1997) se utilizan para el estudio de los patrones de respuesta genotípica a través de ambientes.

## OBJETIVOS E HIPÓTESIS

### Objetivos

Formar y seleccionar materiales genéticos a partir de líneas que han sido creadas y mejoradas por el programa de mejoramiento fisiotécnico de la UAAAN.

Determinar los materiales genéticos más prominentes para tres ambientes de evaluación, en cuanto a características de rendimiento, contenido nutrimental y estabilidad.

Definir qué modelo describe mejor la interacción genotipo-ambiente.

Identificar genotipos resistentes a *Phytophthora infestans*.

### Hipótesis

Es posible que en la variabilidad genética evaluada, existan genotipos experimentales que superen a los testigos comerciales en cuanto a rendimiento y de calidad de fruto.

Es posible que existan genotipos experimentales con estabilidad para los tres ambientes de evaluación.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Producción de tomate**

El tomate es un cultivo que se desarrolla en todas las entidades del país; las cinco principales son Sinaloa, San Luis Potosí, Baja California, Zacatecas y Michoacán, en conjunto, estos estados aportan el 52% del volumen nacional.

Con base en estadísticas del Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI) de la Secretaría de Economía, la SAGARPA reportó que al onceavo mes de 2016, las exportaciones de esta hortaliza alcanzaron los mil 773 millones de dólares.

Entre 2015 y 2016 se reportó un crecimiento en la producción de tomate cercano a las 200 mil toneladas, lo que significa un aumento, a tasa anual, de 7.8%, al pasar de dos millones 570 mil toneladas, a dos millones 769 mil toneladas.

Lo anterior representa un avance del 16.9%, en comparación con lo registrado en el mismo período del año anterior, cuando se obtuvieron mil 517 millones de dólares.

El tomate mexicano es exportado principalmente a Estados Unidos, Canadá y Japón, mientras que en México el consumo *per cápita* es de 13.8 kilogramos y en 2015 el valor de la producción se estimó en 20 mil 640 millones de pesos.

El tomate se encuentra disponible durante todo el año, con una mayor producción durante los meses de febrero, marzo y noviembre, cuando se cultiva el 33.7% del volumen anual. (SAGARPA, 2017).

### **Calidad de fruto**

Riga *et al.*, (2007) encontraron que la calidad del tomate depende más de la temperatura que de la radiación fotosintéticamente activa; la temperatura fue altamente correlacionada con firmeza, conductividad eléctrica, contenido de sólidos solubles, y mediana correlación con pH, peso seco y vitamina C.

## **Color**

El color de los tomates es un factor muy importante de mercadeo, ya que afecta la decisión de compra del consumidor y también es un atributo de calidad muy importante para la industria del tomate. Los carotenoides son responsables para el color de los frutos de tomate (Luna y Delgado, 2014).

El color en tomate deber ser uniforme y hay una amplia gama de matices de color entre el verde y el rojo, inducido por el contenido de licopeno. Es una importante característica de calidad, pues de este color depende su contenido en licopeno, que representa gran propiedad como colorante, así como antioxidante, que le da buena calidad al producto. El consumidor prefiere un color rojo intenso y uniforme (Aguilar *et al.*, 2005).

## **Licopeno**

Actualmente se han estudiado cultivares de tomate con diferentes coloraciones (rojos, púrpuras, naranjas, rosas y amarillos), los cuales difieren no solamente en su composición de carotenoides, sino también en su actividad antioxidante. Específicamente, los tomates amarillos presentaron bajos contenidos de licopeno y altos de luteína, además de una baja actividad antioxidante, en comparación con los frutos rosas, rojos y púrpuras; los cuales, mostraron un incremento en su actividad antioxidante relacionada, en gran parte, con su contenido de licopeno (Li *et al.*, 2013).

Se han encontrado diferencias consistentes en las concentraciones de licopeno de tomates de diversas variedades que, de acuerdo con las condiciones ambientales, como la temperatura e intensidad de luz, influyen directamente sobre la desnaturalización o acumulación de licopeno. Específicamente, los precursores del licopeno son inhibidos a temperaturas por debajo de 12°C y por encima de 32°C; el intervalo más favorable para la producción de licopeno se encuentra entre 22 y 25°C (Luna y Delgado, 2014).

Existe una gran variación en base seca de licopeno (116 hasta 368 mg/100 g) reportada en los tomatillos nativos de Oaxaca (Crisanto *et al.*, 2010), y la gran

variabilidad agro-morfológica reportada en grupos de jitomate tipo riñón, saladette y tomatillo (Carrillo y Chávez 2010; Vásquez *et al.*, 2010).

En frutos de estadio maduro los niveles máximos de carotenoides totales y licopeno se encuentran en los tejidos más externos como el exocarpo y mesocarpo, disminuyendo considerablemente la concentración de estos pigmentos en los tejidos más internos, como columela y mucílago (López *et al.*, 2003).

### **Vitamina C**

Al-Wandawi *et al.*, (1985) reportaron que el pericarpio del tomate contiene los niveles más altos de antioxidantes en comparación con la pulpa y las semillas. Algunos ejemplos de estos antioxidantes en el pericarpio son, principalmente, flavonoides, compuestos fenólicos y ácido ascórbico.

Raffo *et al.*, (2006) realizaron investigaciones para identificar el efecto de la radiación fotosintética e influencia de temperatura sobre el contenido de antioxidantes. Con sus investigaciones se concluyó que las variaciones en los compuestos antioxidantes en tomates cherry, cultivados en condiciones de hidroponía y cosechados en diferentes épocas del año, presentaron en ciertas estaciones, como el verano, una reducción significativa en el contenido de licopeno; sin embargo, se observó una acumulación relativamente alta en los niveles de otros antioxidantes como el ácido ascórbico, compuestos fenólicos y carotenoides.

Weibel *et al.*, (2000) y Heaton (2001), señalan que los cultivos orgánicos contienen un mayor contenido de vitaminas, minerales y, en general, de antioxidantes, en comparación con los sistemas de cultivo tradicionales.

Abushita *et al.*, (1997) analizan los contenidos de ácido ascórbico,  $\beta$ -caroteno y tocoferoles en tomates y mencionan que los contenidos de ácido ascórbico son más altos en frutos verdes y se reducen conforme la maduración de los frutos.

**Modelo de Eberhart y Russell.**

Eberhart y Russell (1966) desarrollaron un modelo basado en la regresión para medir estabilidad, utilizando como parámetro el coeficiente de regresión y la desviación de la regresión. El modelo define los parámetros de estabilidad que pueden ser utilizados para describir el comportamiento de una variedad en una serie de ambientes (Rodríguez *et al.*, 2014).

Aguilar *et al.*, (2008) evaluó 6 líneas y siete híbridos experimentales de tomate bola, procedentes del área de Fisiotecnia del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en tres localidades de Coahuila. Dando como resultado 3 líneas con buen rendimiento para las tres localidades.

Ligarreto *et al.*, (2015) evaluaron 13 accesiones de frijol rojo arbustivo, en cinco ambientes. El análisis de estabilidad fenotípica, se realizó con las metodologías de Eberhart y Russell, Wricke y Shukla y el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). Los análisis permitieron determinar que dos accesiones fueron las más estables, con rendimiento potencial mayor al promedio. También se detectaron dos accesiones que fueron las de mayor potencial de rendimiento, pero las más inestables, mientras que por el método AMMI, se detectó que todos los ambientes, excepto uno, aportaron significativamente a la interacción genotipo-ambiente.

**Modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI).**

Gauch *et al.*, (2006) compara los modelos de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) y efectos principales genotipo x la interacción genotipo-ambiente (GGE), sostiene que el método AMMI es superior, porque un biplot AMMI1 tiene una geometría más simple e informativa que un biplot GGE2, y el biplot AMMI2, que no tiene equivalente GGE, puede capturar sustancialmente más variación. Sin embargo también menciona que para el propósito de investigación de obtener precisión, AMMI y GGE son igualmente capaces.

Sánchez *et al.*, (2015) estimaron la interacción genotipo-ambiente y estabilidad de características de rendimiento, fisiológicas y de calidad de 25 genotipos de tomate en tres ambientes a través del modelo AMMI. El resultado del análisis AMMI indicó que solo un genotipo fue el mejor en cuanto a las variables de calidad y rendimiento, los ambientes de evaluación mostraron ser muy diferentes en su discriminación de los materiales genéticos.

Tamayo *et al.*, (2012) utilizaron el modelo AMMI como herramienta para estudiar las variables con mayor incidencia en los daños causados por roya parda en la caña de azúcar; a través de la representación biplot, permitió apreciar semejanzas y diferencias entre momentos de evaluación, número de hoja y genotipos, y visualizar además los de mayor contribución a la interacción genotipo-ambiente, mayor susceptibilidad y los más estables en el nivel de reacción de respuesta frente a la roya parda.

Alanís *et al.*, (2010) evaluaron el rendimiento de grano y la estabilidad de 44 híbridos de sorgo con los modelos de Finlay y Wilkinson (1963) y AMMI en 16 ambientes durante los años 2001 y 2002, encontrando que el modelo AMMI fue más efectivo para caracterizar el comportamiento de los genotipos de sorgo.

### **Modelo de regresión en los sitios (SREG o GGE).**

El análisis de biplot GGE proporciona una solución fácil y completa para el genotipo mediante el análisis de datos ambientales, que ha sido un desafío para los fitomejoradores, genetistas y agrónomos (Yan y Tinker, 2006).

Las limitaciones de GGE biplot son que puede explicar solo una pequeña proporción del total de GGE. Esto puede suceder cuando el efecto principal del genotipo es considerablemente menor que la interacción genotipo-ambiente, y cuando el patrón de IGA es complejo (Ding *et al.*, 2008).

Suwarto y Nasrullah (2014) mencionan que el análisis del método GGE-biplot es útil para determinar el rendimiento relativo de un genotipo en un entorno específico y comparar el rendimiento de genotipos en diferentes entornos, comparar dos genotipos en diferentes entornos e identificar genotipos de alto rendimiento en todos los entornos, el mejor genotipo y el mejor entorno.

Rojas (2009) evaluó 20 híbridos de maíz en 14 localidades del Estado de Sinaloa, empleando tres metodologías, con el objetivo de decidir cuál método es el más recomendable. Encontrando que el modelo de regresión en los sitios (SREG o GGE) fue el mejor método para clasificar genotipos en base a su rendimiento y estabilidad.

### **Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE).**

La susceptibilidad y resistencia de las plantas a los patógenos están estrechamente relacionadas, pero la cuantificación de cualquiera de ellas depende de diferentes suposiciones. La cantidad de resistencia a menudo se estima utilizando una escala ascendente correspondiente a cantidades decrecientes de enfermedad, donde los números más pequeños representan bajos niveles de resistencia (grandes cantidades de enfermedad) y el mayor número representa un aumento de los niveles de resistencia (pequeñas cantidades de enfermedad) (Yuen y Forbes, 2009).

El ABCPE es una variable que estima la cantidad de enfermedad a lo largo del cultivo. El ABCPE se expresa en porcentajes por días (es decir, la acumulación diaria del porcentaje de los valores de infección) y se interpreta directamente sin transformación. Cuanto más alto es el ABCPE, más susceptible es el clon o variedad (Forbes *et al.*, 2014).

El ABCPE no provee información del tipo de resistencia presente en los genotipos, o su potencial durabilidad. Por esta razón es recomendable examinar las curvas de progreso de la enfermedad (Andrivon, 2006).

El ABCPE puede ser calculado a partir de dos datos, pero se alcanza una mayor precisión con cada observación adicional. Sin embargo, se han observado algunos casos en los que se han obtenido valores de ABCPE muy precisos usando sólo dos datos (Jeger, 2001).

Tatarowska (*et al.*, 2011), indican que la estimación de la severidad del tizón tardío en el campo se puede hacer mediante evaluación visual de la enfermedad, estimando el área afectada en el follaje en porcentaje (Colon *et al.*, 2004) o a través de una escala de nueve grados (Pietkiewicz, 1972).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Cruzamientos

La fase de cruzamientos se llevó a cabo en el invernadero número 6 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se utilizaron 9 genotipos como progenitores (Cuadro 1). La técnica utilizada para realizar las cruzas, fue la siguiente:

1. Selección de flores: se eligieron los botones florales que aún no abrieran los sépalos y pétalos, no se eligen las flores abiertas ya que esto significa que está autofecundada.
2. Emasculación: es la eliminación de los sépalos, pétalos y anteras, esto se realiza con la ayuda de unas pinzas, las pinzas se desinfectaron en cada genotipo. Después, la flor emasculada fue cubierta con un sobre de papel glassine, esto para evitar la polinización con polen extraño.
3. Recolección de polen: se seleccionaron flores maduras y con la ayuda de un vibrador (cepillo de dientes eléctrico) y un tubo eppendorf, se frotaron las anteras de la flor y el polen se depositó en el tubo.
4. Polinización: se retiró el glassine de las flores emasculadas, se acumula el polen en la tapa del tubo y se frota en el estigma; al terminar de polinizar, la flor se volvió a cubrir con el glassine.
5. Identificación de la crusa: se colocó una etiqueta escribiendo el progenitor femenino por el progenitor masculino y la fecha.

La cosecha de los frutos provenientes de cruzas exitosas se efectuó en la etapa de madurez fisiológica; la extracción de semilla se realizó en el laboratorio de Fisiotecnia del Departamento de Fitomejoramiento.

### Material genético

Los genotipos en estudio se han obtenido a través de evaluación de progenitores en campo e invernadero y cruzamientos y derivación de líneas sobresalientes (Mendoza, 2009; Ovando, 2015).

Cuadro 1. Material genético utilizado como progenitores, establecidos en tres ambientes (campo abierto, túnel e invernadero).

Genotipo	Genealogía	Habito de crecimiento	Tipo
1	F3	Indeterminado	Bola
2	R1	Determinado	Bola
3	Y4xR1	Indeterminado	Saladette
4	Y533	Determinado	Saladette
5	S1xL1	Indeterminado	Bola
16	Y41	Indeterminado	Bola
17	K3	Indeterminado	Bola
18	L1	Indeterminado	Bola
25	45x47	Indeterminado	Bola

Cuadro 2. Material genético utilizado como híbridos experimentales, establecidos en tres ambientes (campo abierto, túnel e invernadero).

Genotipo	Genealogía	Habito de crecimiento	Tipo
22	(45x47) x R1	Indeterminado	Bola
23	Y41 x (Y4xR1)	Indeterminado	Saladette
24	F3 x (45x47)	Indeterminado	Bola
26	F3 x (Y4xR1)	Indeterminado	Saladette
27	K3 x Y41	Indeterminado	Bola
28	F3 x Y533	Indeterminado	Saladette
29	L1 x (S1xL1)	Indeterminado	Bola
30	K3 x Y533	Indeterminado	Bola

Cuadro 3. Material genético utilizado como testigos comerciales establecidos en tres ambientes (campo abierto, túnel e invernadero).

Genotipo	Genealogía	Habito de crecimiento	Tipo
12	Rio grande	Determinado	Saladette
13	Floradade	Determinado	Bola
14	Montecarlo	Indeterminado	Bola
15	El Cid	Indeterminado	Saladette

### **Siembra del material genético**

La siembra se realizó el día 20 de mayo del 2016; para los tres ambientes, los materiales fueron sembrados en charolas de 200 cavidades, las charolas fueron llenadas con sustrato peat-moss humedecido previamente, se sembraron 50 semillas de cada genotipo, después se asperjó con Biozyme TS 0.1 g por litro de agua y las charolas se apilaron unas sobre otras en la bodega y se envolvieron con plástico negro para estimular la germinación, se trasladaron a una malla sombra tres días después. Los riegos se efectuaron con base en las necesidades hídricas de la planta; el 28 de junio del 2016 se aplicaron 10 g de enraizador Magic Root en 20 lts de agua, un día después se aplicó un gramo de nitrato de potasio en un litro de agua, esto para estimular el enraizamiento, se mantuvieron hasta que presentaron las primeras hojas verdaderas y el desarrollo radicular alcanzó lo adecuado para su trasplante.

### **Preparación del Terreno.**

Esta actividad se hizo manualmente en dos ambientes (campo abierto y túnel), y consistió en remover el terreno con tractor, (barbecho, rastra, bordeadora) azadones, talaches y palas; de manera que el suelo quedara suelto y sin terrones; posteriormente se hizo el levantamiento de bordos.

Campo abierto. Se levantaron 6 bordos, con una longitud de 55 m de largo y con una distancia entre bordos de 1.20 m.

Túnel. Se levantaron 3 bordos, con una longitud de 30 m de largo y con una distancia entre bordos de 1.30 m.

Invernadero. Se utilizaron bolsas de polietileno rellenas de mezcla de suelo, estiércol, perlita, fibra de coco y grava.

### **Trasplante.**

Se llevó a cabo el día 05, 06 y 07 de julio del 2016, en los tres ambientes respectivamente. En los tres ambientes se identificó cada parcela con un número correspondiente a un genotipo y repetición.

### **Fertilización de fondo.**

En los ambientes campo abierto y túnel, se aplicó la fórmula 450-450-225-100Ca; la aplicación del nitrógeno se realizó en dos partes, la primera se realizó días antes del trasplante, la segunda aplicación se realizó 30 días después del trasplante. Los fertilizantes granulados utilizados fueron los siguientes:

Sulfato de Amonio (20.5-00-00)

Fosfato Diamónico (18-46-00)

Sulfato de Potasio (00-00-50)

Nitrato de Calcio (soluble) (15.5-00-00- 19.9 Ca)

### **Tutorado**

Los tutores se colocaron 20 días después del trasplante.

### **Podas**

Las podas fueron a un tallo para los tomates de hábito indeterminado y dos tallos para los de hábito determinado, realizándose a los 20 días después del trasplante y posteriormente cada semana, este criterio se aplicó en los tres ambientes.

### **Riegos**

Los riegos para los tres ambientes se llevaron a cabo dos veces por semana o de acuerdo a los requerimientos del cultivo.

En invernadero, como fue fertirriego se realizaron las proporciones para dos etapas de crecimiento, de acuerdo con análisis de agua, (FertiLab) fue el siguiente:

Cuadro 4. Cantidad de nutrientes utilizados para 1000 litros de agua, en el cultivo de tomate de 0 a 75 días después del trasplante.

Nitrato de calcio	36 g*	Poliquel fierro	60 ml*
Nitrato de potasio	443 g	Poliquel multi	30 ml*
Ácido fosfórico	57 ml		
Ácido nítrico	205 ml		

\*Se aplicó la misma cantidad durante todo el ciclo de cultivo.

Cuadro 4.1. Cantidad de nutrientes utilizados para 1000 litros de agua, en el cultivo de tomate de 75 días después del trasplante a fin de cosecha.

Nitrato de potasio	544 g
Ácido fosfórico	65 ml
Ácido nítrico	314 ml

### **Cosecha**

La cosecha se realizó de manera manual, se seleccionó una planta con competencia completa y esto fue igual para los tres ambientes. Los frutos se colocaron en bolsas de papel, previamente identificadas con un número correspondiente al genotipo y repetición para después llevarse al laboratorio de Fisiotecnia.

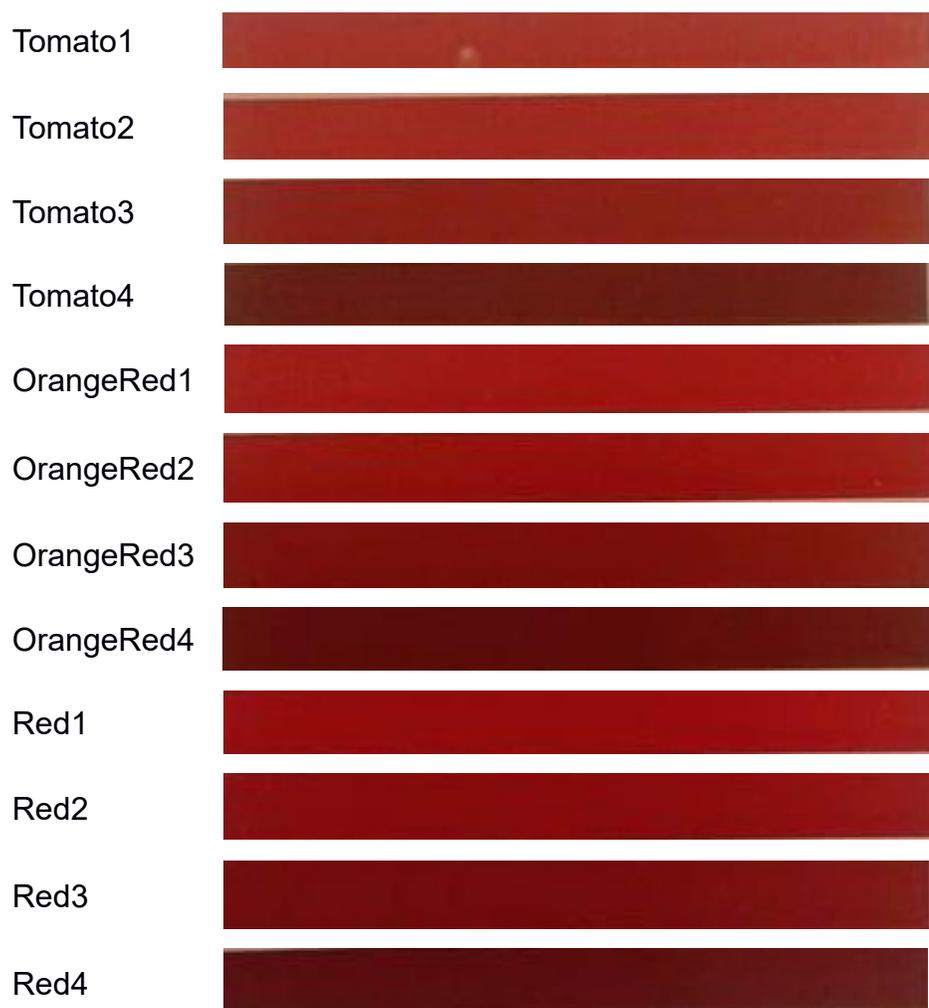
### **Toma de datos.**

- 1) Se eligieron tres frutos de cada genotipo y se registró cada uno (genotipo, repetición y número de ambiente).
- 2) Se tomó el color y tamaño (tabla 1 y 2) de cada uno de los frutos y se registraron los datos en libreta de campo, posteriormente se picaron y molieron cada uno de los tomates en sus respectivos vasos.

- 3) Cada uno de los frutos (3) de cada uno de los genotipos se colocó en un vaso de precipitado y se le asignó un número, cada genotipo tenía tres vasos y cada uno de ellos representaba a una repetición, se tenían en total tres repeticiones por material genético.

### **Color de fruto.**

Los frutos fueron clasificados en cuanto a su color en base a la carta colorimétrica.



### **Tamaño de fruto**

El tamaño de los tomates se determina con base en su diámetro ecuatorial, utilizando la norma NMX-FF-009 (Norma mexicana para diámetro de frutas,

1982). Los tomates en sus dos tipos (bola y alargado) se calibran de acuerdo con lo indicado en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Tamaño de tomate bola.

Tamaño	Diámetro mínimo (1)		Diámetro máximo (2)	
	Mm	In	Mm	in
Chico	54	(2 1/8)	58	(2 9/32)
Mediano	57	(2 1/4)	64	(2 17/32)
Grande	63	(2 1/2)	71	(2 25/32)
Extra grande	70	(2 3/4)	En adelante	

Tabla 2. Tamaño de tomate alargado.

Tamaño	Diámetro mínimo (1)		Diámetro máximo (2)	
	Mm	In	Mm	in
Chico	38	(1 1/2)	52	(2 1/16)
Mediano	51	2	60	(2 3/8)
Grande	59	(2 5/16)	71	(2 3/16)
Extra grande	70	(2 3/4)	En adelante	

- 1) Cuando el tomate en posición vertical, no puede pasar por una abertura circular del diámetro asignado.
- 2) Cuando el tomate, en cualquier posición, puede pasar por una abertura circular del diámetro asignado.

### **Potencial de Iones Hidrógeno (pH).**

Se determinó el pH con el potenciómetro (CONDUCTRONIC Modelo 10).

### **Grados Brix (°Brix).**

Se determinaron los grados Brix para cada uno de los materiales con Refractómetro portátil (ATAGO 01018).

### **Vitamina C.**

1.- De los frutos ya molidos contenidos en los vasos de precipitado, se tomó una muestra de 20 g de cada tratamiento.

2.- Se le agregaron 10 mL de ácido clorhídrico al 2 %.

3.- Se colocaron los vasos en un agitador Vortex por un tiempo de 20 minutos.

4.- Una vez agitada la muestra, se filtró el contenido en matraces Erlenmeyer agregándole 100 mL de agua destilada.

5.- Del contenido de los matraces se tomaron 10 mL y se procedió a titular con el reactivo de Thielman, hasta obtener una coloración rosa permanente, anotando los mililitros consumidos del reactivo, los cuales posteriormente fueron utilizados para la determinación del contenido de Vitamina C en cada genotipo. La ecuación utilizada para la determinación de Vitamina C es la siguiente, de acuerdo a Chechetkin *et. al.*, (1984):

$$\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ de Vitamina C} = (a \cdot 0.088 \cdot VT \cdot 100) / (VA \cdot P)$$

En donde:

a = mL gastados de Reactivo de Thielman

0.088 = mg de ácido ascórbico equivalente a 1 mL de Reactivo de Thielman

VT = Volumen Total en mL del filtrado de Vitamina C en HCl

VA = Volumen en mL de la alícuota valorada

P = Peso de la Muestra (20 g)

### **Licopeno.**

- 1) Se licuó el tomate y se extrajo 1 g de muestra, y se colocó en un tubo de ensaye. Se agregó 1 mL de buffer fosfato y se agitó.
- 2) Se le agregaron 6 mL de hexano-acetona (3:2) y se agitó bien. Se centrifugó por 5 minutos a 5000 revoluciones por minuto (rpm).
- 3) Se tomó 1 mL de la muestra y se colocó en las celdillas, identificando cada una de ellas. Se agregaron 2 mL de acetona a cada una de las celdillas.
- 4) Se tomó lectura de absorbancia a 502 nm en un espectrofotómetro (Spectronic 21).

Con la ecuación siguiente se determina el contenido de licopeno, de acuerdo con el laboratorio de Fisiotécnica de la UAAAN.

$$A_{502} > 0.217 \cdot 1/320 = 6.78 \cdot 10^{-4} \text{ mg/mL}$$

A este resultado se le multiplica el factor de dilución (2)  $> 1.36 * 10^{-3}$  mg/mL  
 El volumen del extracto fue de 3 mL, por cada 2 mL de extracto hay un gramo de tejido, por lo tanto el extracto tiene 1.5 g de tejido. La concentración de licopeno es en mg de licopeno / g de tejido dividiendo  $8.16 * 10^{-3}$  mg/mL.

Todos estos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de Fisiotecnia del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN.

### **Rendimiento.**

Para obtener el rendimiento total de cada genotipo, se multiplicó el peso promedio de frutos por la densidad de población, se manejó una densidad de 31,250 plantas por hectárea para campo abierto, 38,461 plantas por hectárea para túnel, y 37,537 plantas por hectárea para invernadero (de acuerdo con la distancia entre bordos y distancia entre plantas).

### **Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE).**

A partir del día 5 de septiembre hasta el día 28 de octubre del 2016, se evaluó la susceptibilidad de los genotipos a *Phytophthora infestans*, utilizando la siguiente metodología, cuya escala se detalla en el Cuadro 5.

**Cuadro 5. Escala de severidad de tizón tardío.**

Grado	Porcentaje tejido afectado	Síntomas
1	0%	No se observa tizón
2	25%	Mayoría plantas afectadas, 25% follaje destruido
3	50%	Parcela se ve verde, hojas inferiores muertas, 50%
4	75%	Solo hojas superiores están verdes, tallos con lesiones.
5	100%	Tallos y hojas muertos

La severidad de la enfermedad se evaluó como el porcentaje de área foliar infectada. Esta variable se registró a lo largo del ciclo junto con la fecha de cada lectura. Los datos son recolectados en cada parcela o unidad experimental.

El área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) es calculado a partir de los porcentajes estimados del área foliar enferma registrados en diferentes momentos durante la epidemia.

$$ABCPE = \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{Y_{i+1} + Y_i}{2} \right) (x_{i+1} - x_i)$$

Donde:

n= es el número de mediciones de la enfermedad en el tiempo.

x= tiempo de cada lectura.

Y= el porcentaje de follaje afectado en cada lectura.

Además se estimó la variable área relativa bajo la curva de desarrollo de la enfermedad (rABCPE), para lo cual se dividió el valor promedio de ABCPE de cada genotipo por el máximo potencial de ABCPE de cada experimento (el valor registrado para el genotipo susceptible); el valor se calculó como: número de días entre la última lectura menos número de días de la primera lectura por 100 (Fry, 1978) de tal manera que su valor no tiene unidades al ser un valor estandarizado (Arellano *et al.*, 2013).

### **Diseño Experimental y Modelo Estadístico**

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar, con tres repeticiones.

### **Modelo estadístico combinado**

Para el análisis combinado con los tres ambientes, se hizo mediante el modelo (Steel y Torrie, 1980).

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha_i * \beta_j) + \partial_{k(j)} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Observación del i-ésimo tratamiento en su k-ésima repetición en el j-ésimo ambiente.

$\mu$  = Efecto de la media general.

$\alpha_i$  = Efecto del tratamiento.

$\beta_j$  = Efecto del j-ésimo ambiente.

$\alpha_i * \beta_j$  = Efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento y el j-ésimo ambiente.

$\partial k(j)$  = Efecto de la k-ésima repetición anidada en el j-ésimo ambiente.

$\epsilon_{ij}$  = Efecto del error experimental.

Donde se encontraron diferencias significativas, se determinaron las diferencias en cada uno de ellos mediante la prueba de medias de Tukey (Steel y Torrie, 1980), cuya fórmula fue la siguiente:

$$w = q_{\alpha}(p, f_e) S_{\bar{y}}$$

Donde  $q_{\alpha}$  se obtiene de la tabla

$p = t$  es el número de tratamientos

$f_e$  = corresponde a los grados de libertad del error

$S_{\bar{y}}$  = es la raíz cuadrada de la varianza del error combinada.

### Modelo de Eberhart y Russell

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij}^2$$

Donde:

$Y_{ij}$  = es la media varietal de la i-ésima variedad en el j-ésimo ambiente.

$\mu_i$  = es la media de la i-ésima variedad sobre todos los medios ambientes.

$\beta_i$  = es el coeficiente de regresión que mide la respuesta de la i-ésima variedad al variar los ambientes.

$I_j$  = es el índice ambiental obtenido como la diferencia entre la media de todas las variedades en el ambiente j y la media general.

$\delta_{ij}^2$  = es la desviación de la línea de regresión de la i-ésima variedad en el j-ésimo ambiente.

### Modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI)

El análisis multivariado AMMI se analizó con el siguiente modelo, (Zobel, 1988):

$$Y_{ge} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_{n=1}^N \lambda_n \gamma_{gn} \delta_{en} + \theta_{ge}$$

Donde:

$Y_{ge}$  = Es el rendimiento del genotipo g, en el ambiente e.

$\mu$  = Efecto de la media general.

$\alpha_g$  = Es la desviación media del genotipo.

$\beta_e$  = Es la desviación media del ambiente.

$\lambda_n$  = Es el valor propio del componente principal (CP) n.

$\gamma_{gn}$  y  $\delta_{en}$  = Son las puntuaciones CP genotipo y ambiente para el eje CP, n.

N = Es la cantidad de ejes CP retenidos en el modelo.

$\theta_{ge}$  = Es el residual.

Para determinar la significancia de cada componente del modelo, se utilizó la prueba de Gollob (1968).

$\ddot{y} = \sum_{k=1}^n \lambda_n \gamma_{gn} \eta_{an}$  En el cual  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \dots \geq \lambda_n$  y  $\gamma_{gn} \eta_{an}$  satisfacen las restricciones  $\sum \gamma_{gn} \gamma_{gn'} = \sum \eta_{an} \eta_{an'} = 0$  para  $n \neq n'$  y  $\sum \gamma_{gn}^2 = \sum \eta_{an}^2 = 1$ .

### El modelo SREG (GGE biplot)

Cornelius *et al.*, 1996; Yan *et al.*, 2007:

$$Y_{ij} - \mu_j = \sum_{k=1}^t \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:  $Y_{ij}$  = es la media del i-ésimo cultivar en el j-ésimo medio ambiente;  $\mu_j$  = es el valor medio en el ambiente j;  $i = 1, \dots, g$ ;  $j = 1, \dots, e$ , g y e son los números de genotipos y ambientes, respectivamente; y t es la cantidad de componentes principales (CP) utilizados en el modelo, con  $t \leq \min(e, g - 1)$ . El modelo está sujeto a la restricción  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_t \geq 0$  y a las restricciones de ortonormalidad en los puntajes  $\alpha_{ik}$ , es decir,  $\sum_{i=1}^g \alpha_{ik} \alpha_{ik'} = 1$  si  $k = k'$  y  $\sum_{i=1}^g \alpha_{ik} \alpha_{ik'} = 0$  si  $k \neq k'$ .

$i = 1 = 0$  si  $k \neq k'$ , con restricciones similares en los puntajes  $\gamma_{jk}$  [definido reemplazando símbolos  $(i, g, \alpha)$  con  $(j, e, \gamma)$ ].  $i_j$  se supone NID  $(0, \sigma^2 / r)$ , donde  $r$  es el número de repeticiones dentro de un ambiente.

Los datos obtenidos se analizaron con el programa SAS V9 (2002). Para analizar la estabilidad con el modelo Eberhart y Russell, se utilizó el programa GEA-R (Pacheco *et al.*, 2016). Para la obtención de las figuras se utilizó el programa Statistica V10.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Variables de rendimiento**

De acuerdo a los datos obtenidos en el análisis de varianza combinado (Cuadro 6) se obtuvieron diferencias ( $P \leq 0.01$ ) para ambientes, genotipos e interacción genotipo-ambiente para las cuatro variables de rendimiento, lo anterior indica variabilidad entre los genotipos evaluados ya que se incluían tomates de hábito indeterminado y determinado, así como tomates tipo bola y saladette.

Con respecto a la significancia que se obtuvo en la interacción genotipo-ambiente Ferraudo y Perecin (2014) mencionan que la complejidad de ésta hace difícil para los mejoradores recomendar genotipos superiores.

Por lo tanto se utilizan modelos como el de Eberhart y Russell, AMMI y SREG, para identificar genotipos estables.

**Cuadro 6. Análisis de varianza combinado (cuadrados medios) para cuatro variables de rendimiento en 21 genotipos de tomate.**

FV	GL	RDTO¶ (t ha <sup>-1</sup> )	PPF (g)	DMPLR (cm)	DMEC (cm)	Tamaño¶
Amb	2	106.227 **	12911.830 **	6.287 **	12.517 **	0.323 **
Rep(Amb)	6	4.120	3332.502	0.195	0.473	0.020
Gen	20	7.014 **	13407.518 **	4.289 **	7.658 **	0.287 **
Amb*Gen	40	3.506 **	1743.964 **	1.038 **	1.265 **	0.070 **
Error	120	1.986	766.030	0.454	0.572	0.027
CV(%)		15.665	21.879	12.190	13.061	8.188
Media†		82.952	126.497	5.532	5.793	2.148

\*\*Nivel de probabilidad de 0.01, \*Nivel de probabilidad de 0.05, FV= Fuente de Variación, GL= Grados de Libertad, RDTO= Rendimiento, PPF= Peso promedio de frutos, DMPLR= Diámetro polar, DMEC= Diámetro ecuatorial, Amb= Ambientes Rep= Repeticiones, Gen= Genotipos, CV= Coeficiente de variación.

¶= Valores transformados  $\sqrt{x + 2}$ , †= Valores originales

Aunque los tomates crecen bien en un amplio rango de temperaturas, el amarre y cuajado es muy sensible a las altas temperaturas, lo que disminuye los niveles de sustancias parecidas a la auxina y la giberelina, especialmente en los brotes florales y las frutas en desarrollo (Kuo y Tsai, 1984). Esta escasez de auxinas y giberelinas podría reducir la producción de frutos a altas temperaturas (Sasaki *et al.*, 2005). Además, las flores pueden producir frutas de formas extrañas o caerse sin colocar ninguna fruta en absoluto (Ortiz *et al.*, 2007).

Los frutos de tipo bola fueron los que obtuvieron un mayor peso promedio de frutos, destacando el genotipo 17 con 188.67 g. Para los tomates tipo saladette el mayor peso promedio se obtuvo con el genotipo 26 (161 g). Lo cual es muy alto comparado con los registrados en tomates comerciales que van de 60 g a 95 g (Sande *et al.*, 2003).

Los diámetros ecuatorial y polar determinan el tamaño de los frutos de tomate, y en la actualidad el diámetro ecuatorial es un indicador de calidad para comercializar esta hortaliza (Urrieta *et al.*, 2012). El promedio del diámetro ecuatorial en invernadero fue de 6.19 cm, por lo tanto los frutos de mayor tamaño se observaron en invernadero (Cuadro 7). El mayor diámetro ecuatorial se obtuvo con el tomate tipo bola con 7.13 cm, por lo que era de esperarse de que este genotipo fuera el de mayor tamaño, que corresponde al genotipo 17, por otra parte para el tomate tipo saladette, el mayor diámetro fue con el genotipo 26 (6.70 cm). El genotipo con mayor diámetro ecuatorial fue el tomate tipo saladette con 7.19 cm (genotipo 3), para el tomate bola fue el genotipo 30 con 6.06 cm.

El rendimiento promedio mostró un amplio rango, de 61.72 a 124.99 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 8). El genotipo 23 obtuvo un mayor rendimiento promedio de 124.99 t ha<sup>-1</sup>. El uso de medias fenotípicas está muy extendido en los estudios de estabilidad y adaptabilidad en diferentes cultivos, pero no debe considerarse como un procedimiento óptimo para predecir los valores genotípicos, debido a la fuerte influencia ambiental (bloque, parcela, ubicación, año, etc.), que enmascara los valores genotípicos reales (Krishnamurthy *et al.*, 2015).

El ambiente afectó sustancialmente el desempeño de los genotipos de tomate (Ortiz *et al.*, 2007). Se puede observar en el Cuadro 7, que los genotipos de tomate se expresaron mejor en el ambiente invernadero o túnel, viéndose menor respuesta cuando se establecieron en campo abierto.

**Cuadro 7. Comparación de medias de variables de rendimiento en tres ambientes.**

	Rndtha (t ha <sup>-1</sup> )	PPF (g)	DMPLR (cm)	DMEC (cm)	Tamaño
Campo abierto	56.35 b	110.22 b	5.17 b	5.31 b	1.87 b
Túnel	95.07 a	132.13 a	5.75 a	5.88 a	2.10 b
Invernadero	97.44 a	137.14 a	5.68 a	6.19 a	2.48 a
Media	82.95	126.50	5.53	5.79	2.15

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, Rndtha= Rendimiento, PPF= Peso promedio de frutos, DMPLR= Diámetro polar, DMEC= Diámetro ecuatorial.

**Cuadro 8. Agrupación estadística de 21 genotipos evaluados en tres ambientes.**

Genotipo	Rndtha (t ha <sup>-1</sup> )	PPF (g)	DMEC (cm)	Tamaño
1	78.22 b	141.56 a-d	6.21 a-f	2.22 a-g
2	94.11 ab	186.78 A	7.10 A	3.22 ab
3	67.17 b	118.56 c-f	5.04 f-h	2.00 d-h
4	97.94 ab	117.89 c-f	5.62 c-h	2.44 a-f
5	82.96 ab	182.44 ab	6.94 Ab	3.11 ab
12	71.08 b	61.22 gh	4.61 g-i	1.00 h
13	83.31 ab	101.78 d-g	6.07 a-f	2.11 b-h
14	81.14 ab	135.00 b-e	5.67 b-g	1.88 d-h
15	92.09 ab	90.11 e-h	4.36 Hi	1.11 gh
16	64.85 b	43.44 h	3.66 l	1.00 h
17	58.47 b	188.67 a	7.13 a	3.33 a
18	85.74 ab	127.00 c-f	6.18 a-f	2.11 b-h
22	96.46 ab	141.89 a-d	6.38 a-e	2.33 a-f
23	124.99 a	86.78 f-h	5.18 e-h	1.44 f-h
24	101.81 ab	126.00 c-f	5.19 e-h	2.00 d-h
25	67.08 b	92.89 e-g	5.38 d-h	1.44 f-h
26	89.91 ab	161.00 a-c	6.70 a-c	3.00 a-d
27	81.93 ab	116.67 c-f	5.41 c-h	1.55 e-h
28	70.91 b	131.67 c-f	5.92 a-f	2.11 b-h
29	90.13 ab	155.67 a-c	6.59 a-d	3.00 a-d
30	61.72 b	149.44 a-c	6.31 a-f	2.66 a-e
Media	82.95	126.50	5.79	2.16

Prueba de Tukey, medias con la misma letra no son significativamente diferentes, Rndtha= Rendimiento, PPF=Peso promedio de frutos, DMPLR= Diámetro polar, DMEC= Diámetro ecuatorial.

### Variables de calidad

De acuerdo a los datos obtenidos en el Cuadro 9 para las variables pH y vitamina C, se encontraron diferencias ( $P \leq 0.01$ ) entre ambientes, genotipos y la interacción genotipo-ambiente; en la variable grados brix se encontraron diferencias ( $P \leq 0.01$ ) entre genotipos y la interacción genotipo-ambiente, en la fuente de variación ambiente no se encontró significancia para las variables color y grados brix. La ausencia de significancia en la fuente de variación ambiente en la variable grados Brix, se pudo deber a que los frutos fueron cosechados en estado verde maduro (USDA Color Stage #1) y se mantuvieron en temperatura ambiente hasta que alcanzaron el estado rojo (USDA Color Stage #6) para su evaluación.

**Cuadro 9. Análisis de varianza combinado (cuadrados medios) para cinco variables de calidad en 21 genotipos de tomate.**

FV	GL	pH	°Bx (%)	VitC (mg/100g)	Licop <sup>¶</sup> (mg/100 g)	Color
Amb	2	2.891 **	0.060	116.894 **	0.033 *	0.084
Rep(Amb)	6	0.031	0.069	7.348	0.009	0.211
Gen	20	0.253 **	0.409 **	54.378 **	0.070 **	0.317 *
Amb*Gen	40	0.223 **	0.270 **	19.219 **	0.018 **	0.484 **
Error	120	0.077	0.099	7.187	0.009	0.161
CV(%)		6.244	7.168	19.071	5.837	14.957
MEDIA <sup>†</sup>		4.471	4.404	14.056	1.649	2.687

\*\*Nivel de probabilidad de 0.01, \*Nivel de probabilidad de 0.05, FV= Fuente de variación, GL= Grados de libertad, pH= Potencial Iones Hidrógeno, °Bx= Grados Brix, VitC= Vitamina C, Licop= Licopeno; Amb= Ambientes, Rep= Repeticiones, Gen= Genotipos, CV= Coeficiente de variación.  
<sup>¶</sup> Valores transformados  $\sqrt{x + 2}$ , <sup>†</sup> Valores originales.

El ambiente que más favoreció a las cinco variables de calidad fue el invernadero (Cuadro 10) mientras que en el ambiente campo abierto fue donde se obtuvieron resultados menos favorables. Esto podría deberse a las altas temperaturas que se presentaron en campo abierto (30 °C) a comparación del invernadero donde la temperatura fue controlada (26 °C).

Riga *et al.*, (2007) encontraron que la temperatura tiene una influencia más fuerte que la radiación fotosintéticamente activa sobre la calidad del tomate. La temperatura se correlacionó fuertemente con la firmeza, la conductividad eléctrica, el contenido de sólidos solubles y los compuestos fenólicos totales, y se correlacionó débilmente con el pH, el peso seco, la acidez titulable y el contenido de vitamina C.

El color apropiado de la fruta también se ve afectado por temperaturas extremas; el licopeno y los carotenos no se sintetizan a altas temperaturas, lo que impide la coloración normal en los frutos maduros (Ortiz *et al.*, 2007).

**Cuadro 10. Agrupación estadística de variables de calidad en tres ambientes.**

	pH	°Bx (%)	VitC (mg/100g)	Licop (mg/100 g)	Color
Campo abierto	4.51 b	4.39 a	12.52 B	0.69 b	2.67 a
Túnel	4.24 c	4.38 a	15.11 A	0.83 a	2.67 a
Invernadero	4.66 a	4.44 a	14.55 A	0.70 ab	2.73 a
Media	4.47	4.39	14.04	0.74	2.69

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes; pH= Potencial Iones Hidrógeno, °Bx= Grados Brix, VitC= Vitamina C, Licop= Licopeno.

Para un sabor mejor, se requiere un contenido alto de azúcares y ácidos; un contenido alto de ácidos y bajos de azúcares produce un sabor ácido, uno alto en azúcares y bajo en ácidos dan un sabor suave, y ambos bajos dan un fruto insípido (Grierson y Kader, 1986; San Martín *et al.*, 2012).

Sánchez *et al.*, (2015); Baldwin *et al.*, (1998) indicaron que los tomates deben tener un pH entre 4 y 5 y un contenido en sólidos solubles de entre 4 y 6 grados Brix. Consideran que la relación entre los sólidos solubles y la acidez es un buen indicador para el sabor y el aroma de los tomates y son los parámetros más importantes para la industria del tomate, lo cual coincide con los resultados obtenidos (Cuadro 11 a, b), en donde se obtuvo una media de 4.47 en pH y 4.39 en grados brix. El genotipo 2 fue superior en estas variables.

Brandt *et al.*, (2006) mencionan que la biosíntesis de licopeno está influenciada por la temperatura. Si la temperatura de las frutas excede los 30 ° C, el contenido de licopeno disminuye de manera significativa. Lo cual coincide con los resultados obtenidos ya que el contenido de licopeno disminuyó en campo abierto. El genotipo 12 fue el que obtuvo un mayor contenido de licopeno 1.36 mg/100 g, superando al contenido promedio (0.74 mg/100 g) obtenido en esta evaluación.

Los atributos de calidad de fruto como color, grados Brix, índices de acidez, pH, firmeza son afectados por variaciones genotípicas, pero condiciones de crecimiento (irradiancia, estación de cultivo, nutrición, riego, temperatura, enfermedades y condiciones postcosecha) son críticos para la calidad (Brandt *et al.*, 2006; Turhan y Seniz, 2009; San Martín *et al.*, 2012).

El mayor contenido de vitamina C se obtuvo con el genotipo 16 (18.40 mg/100g), también presentó el menor tamaño, esto coincide con Dorais *et al.*, (2008) quien menciona que las frutas más pequeñas generalmente tienen un mayor contenido de vitamina C.

**Cuadro 11. Agrupación estadística de variables de calidad del fruto de 21 genotipos evaluados en tres ambientes.**

Genotipo	pH	°Bx	(%)	VitC (mg/100g)	Licop (mg/100 g)	Color
1	4.33 a-c	4.24 bc		14.58 a-e	0.62 c-e	2.77 a
2	4.29 bc	4.82 a		12.09 c-e	1.04 a-d	2.55 a
3	4.35 a-c	4.42 a-c		10.14 E	1.29 ab	2.77 a
4	4.41 a-c	4.40 a-c		10.42 E	1.18 a-c	2.88 a
5	4.42 a-c	4.82 a		11.35 De	0.84 a-e	2.55 a
12	4.51 a-c	4.59 a-c		13.43 c-e	1.36 a	2.44 b
13	4.37 a-c	4.42 a-c		13.97 a-e	0.59 c-e	2.44 b
14	4.42 a-c	4.37 a-c		14.65 a-e	0.81 a-e	2.88 a
15	4.61 a-c	4.27 bc		14.33 a-e	0.72 b-e	2.88 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes; pH= Potencial Iones Hidrógeno, °Bx= Grados Brix, VitC= Vitamina C, Licop= Licopeno

**Cuadro 11(Continuación). Agrupación estadística de variables de calidad del fruto de 21 genotipos evaluados en tres ambientes.**

Genotipo	pH	°Bx (%)	VitC (mg/100g)	Licop (mg/100 g)	Color
16	4.79 a	4.43 a-c	18.40 A	0.57 de	3.00 a
17	4.47 a-c	4.60 a-c	12.88 c-e	0.97 a-d	2.55 a
18	4.35 a-c	4.18 bc	11.91 c-e	0.76 b-e	2.66 a
22	4.48 a-c	4.62 a-c	16.33 a-c	0.36 e	2.66 a
23	4.81 a	4.17 bc	18.10 Ab	0.32 e	3.00 a
24	4.42 a-c	4.10 c	15.32 a-d	0.31 e	2.33 b
25	4.15 c	4.25 bc	16.25 a-c	0.45 de	2.66 a
26	4.72 ab	4.66 ab	16.25 a-c	0.64 c-e	2.55 a
27	4.65 ab	4.42 a-c	16.42 a-c	0.51 de	2.88 a
28	4.56 a-c	4.19 bc	15.07 a-d	0.66 c-e	2.55 a
29	4.33 a-c	4.34 a-c	10.21 E	0.63 c-e	2.66 a
30	4.48 a-c	4.17 bc	13.08 c-e	0.90 a-e	2.66 a
Media	4.47	4.39	14.04	0.74	2.69

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes; pH= Potencial Iones Hidrógeno, °Bx= Grados Brix, VitC= Vitamina C, Licop= Licopeno.

### **Análisis de estabilidad mediante el modelo de Eberhart y Russell.**

El parámetro coeficiente de regresión ( $\beta_i$ ), mide la respuesta de un genotipo al cambiar las condiciones ambientales, el parámetro desviaciones de regresión ( $S^2_{di}$ ) ofrece una medida de variabilidad interpretada como falta de estabilidad y mide la consistencia o inconsistencia de esa respuesta (Hernández y Zabala, 2009).

En la Figura 2a se puede observar el coeficiente de regresión con las desviaciones de regresión, de acuerdo a los resultados que se obtuvieron ningún genotipo es estable, sin embargo esta figura no es de gran utilidad ya que el rendimiento es una variable de gran importancia y no es proporcionada junto con los dos parámetros del modelo (coeficiente de regresión y desviaciones de regresión). Ligarreto et al., (2012) mencionan que los genotipos con mayor rendimiento por hectárea no son necesariamente estables sino adaptables a ambientes específicos, estos son: 2, 5, 22, 23, 26 y 29 (figura 2b), destacando el 23 con un rendimiento de  $124.99 \text{ t ha}^{-1}$  y un  $\beta_i$  cercano a uno (0.811).

El genotipo 27 obtuvo un  $\beta_i < 1$ , presentó adaptación a ambientes desfavorables, el cual puede ser recomendado para ambientes con algún tipo de estrés, por ejemplo temperaturas altas, los genotipos 4, 13 y 18 presentaron un  $\beta_i > 1$ , estos genotipos son más sensibles a cambios ambientales y se pueden desarrollar en ambientes favorables (figura 1).

Con respecto a las varianzas de las desviaciones de regresión  $S^2_{di}$ , en todos los genotipos fueron diferentes de cero, Rodríguez *et al.*, (2002); Orona *et al.*, (2013) obtuvieron valores similares y concluyeron que el modelo lineal no es apropiado para describir la respuesta de los genotipos en función del efecto ambiental; según este criterio, los genotipos no son estables, debido a variaciones no predecibles.

**Cuadro 12. Índices de estabilidad por el método Eberhart y Russell de 21 genotipos de tomate, evaluados en tres ambientes.**

Gtpto	Media	$\beta_i$	$S^2_{di}$	Gtpto	Media	$\beta_i$	$S^2_{di}$
1	78.215	1.156	-106.7	18	85.739	1.439	-174.8
2	94.106	0.748	-173.2	22	96.460	1.231	-114.4
3	67.169	0.995	-16.1	23	124.988	0.811	392.6
4	97.937	1.464	778.4	24	101.815	1.550	1356.6
5	82.958	1.200	-216.8	25	67.082	1.102	206.5
12	71.079	0.627	-102.7	26	89.911	0.780	-187.4
13	83.308	1.557	1099.9	27	81.932	0.306	1865.3
14	81.142	1.106	43.7	28	70.905	0.540	71.2
15	92.087	1.356	871.5	29	90.134	0.501	408.4
16	64.852	1.370	2103.1	30	61.7163	0.157	198.5
17	58.471	0.832	703.3				

Gtpto= Genotipo,  $\beta_i$ = Coeficiente de regresión,  $S^2_{di}$ = Desviaciones de regresión.

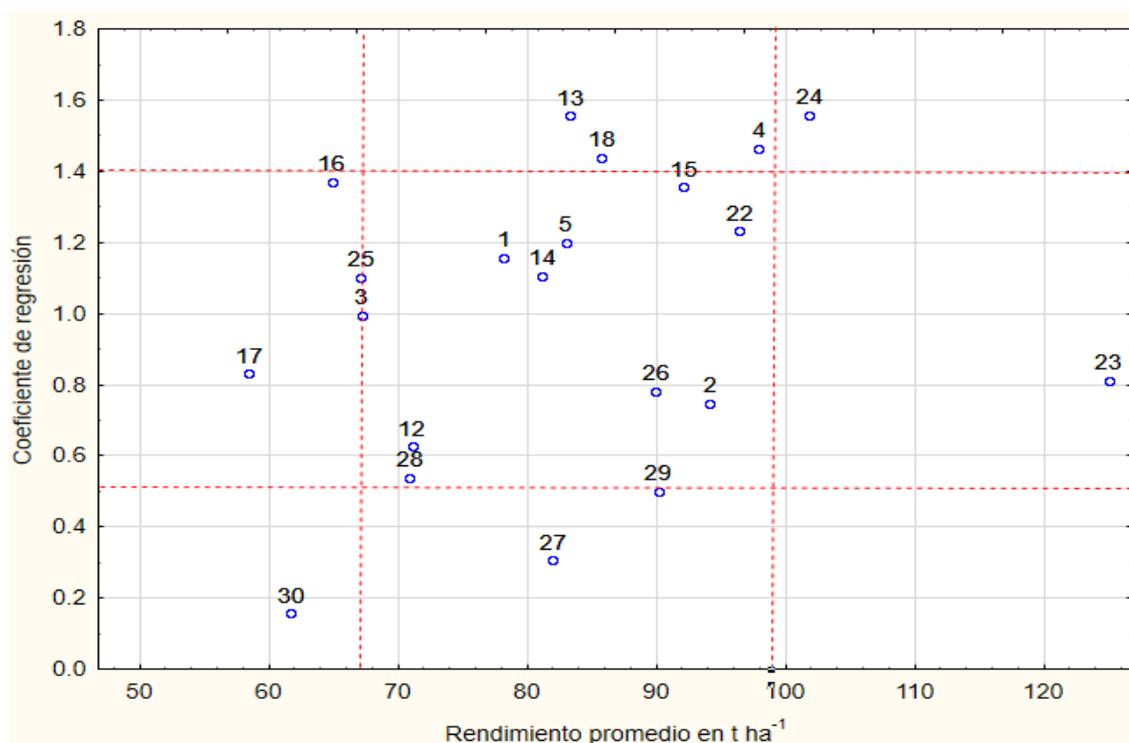
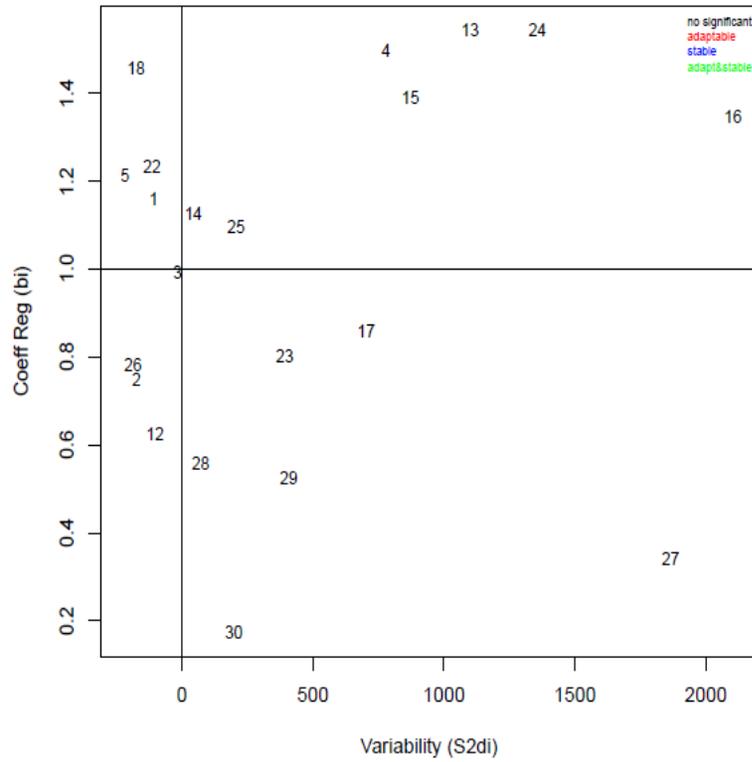


Figura 1. Relación de rendimiento y estabilidad de 21 genotipos de tomate evaluados en tres ambientes.

2a



2b

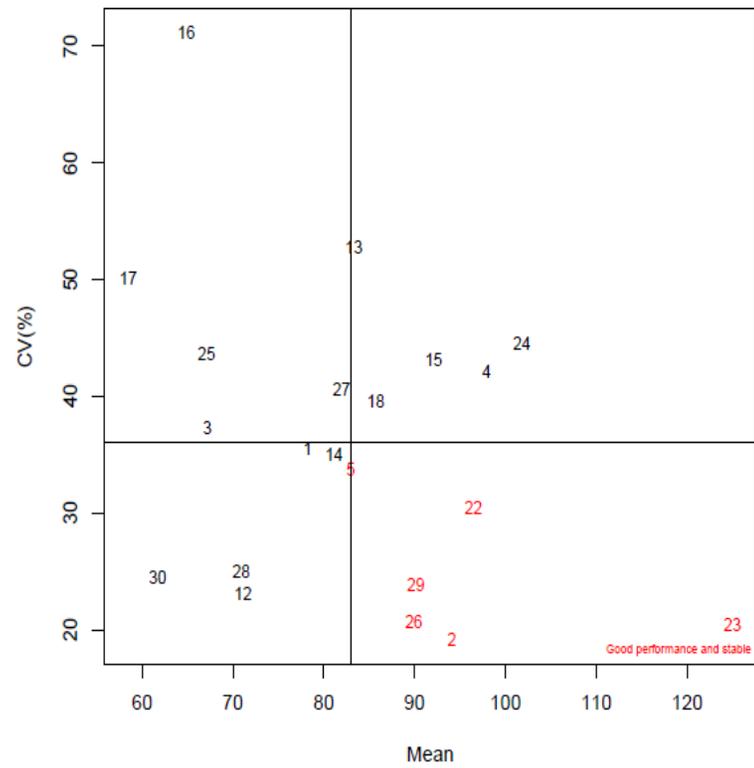


Figura 2a. Representación gráfica del coeficiente de regresión y las desviaciones de regresión.

Figura 2b. Representación gráfica del coeficiente de variación y el rendimiento.

### **Análisis de estabilidad mediante el modelo AMMI 1 para rendimiento.**

La adaptación de los genotipos convencionalmente se valora en función de su rendimiento, con dos tipos: la adaptación amplia y la específica. Para la adaptación amplia implica desarrollar una variedad con desempeño aceptable en toda la región, mientras que para la adaptación específica significa producir diferentes variedades, cada una diferenciada por un desarrollo favorable en cada subregión (Annicchiarico, 2009).

En el biplot AMMI 1, la interpretación habitual es que los desplazamientos a lo largo de la abscisa indican diferencias en los efectos principales (aditivos), mientras que los desplazamientos a lo largo de la ordenada indican diferencias en los efectos de interacción (Krishnamurthy *et al.*, 2015). La magnitud relativa y la dirección de los genotipos a lo largo del eje de abscisas y ordenadas en biplot es importante para comprender el patrón de respuesta de los genotipos en todos los entornos (Asfaw *et al.*, 2009).

Para la interpretación del análisis de componentes principales (ACP), la gráfica del componente principal 1 (PC1) con el rendimiento se divide en cuatro cuadrantes con la finalidad de facilitar su análisis: en el ángulo superior izquierdo se agrupan genotipos estables de bajo rendimiento, el ángulo superior derecho agrupa a los ideales, el ángulo inferior derecho incluye a los inestables pero de alto rendimiento, y el ángulo inferior izquierdo incluye a los inestables y de bajo rendimiento (Hassanpanah, 2010).

De acuerdo con Farshadfar y Farhadi (2014) en el modelo AMMI, los genotipos que se caracterizan por rendimientos superiores a la gran media y la puntuación de PC1 casi cero se consideran generalmente adaptables a cualquier entorno, estos genotipos son: 5, 18, 26, 2 y 22. Sin embargo, se considera que el genotipo con alto rendimiento medio y con gran valor de puntuación PC1 tiene adaptabilidad específica a los entornos, estos genotipos son el 23 y 24. Como se puede observar en la figura 3, los genotipos de adaptación amplia se caracterizan por poseer valores cercanos a cero, mientras que los de adaptación ambiental específica son los alejados del origen (Acosta *et al.*, 2012).

Annicchiarico (2009) menciona que la adaptación específica no es recomendable ante un escenario de cambio climático. En contraste, la selección y recombinación de genotipos con adaptación amplia efectivamente ha permitido incrementar el rendimiento unitario (Holland *et al.*, 2002).

Farshadfar y Farhadi (2014) encontraron que para los puntos para el medio ambiente están más dispersos que los puntos para genotipos, que indican que la variabilidad debida a los ambientes es mayor que la debida a la diferencia de genotipos, lo cual concuerda con lo obtenido en la prueba de Gollob (Cuadro 13) con los resultados obtenidos en este trabajo.

El ambiente que aparece casi en una línea perpendicular tiene medias similares y los que caen casi en línea horizontal tienen un patrón de interacción similar. Los ambientes A2 y A3 (túnel e invernadero) tienen una media de rendimiento similar.

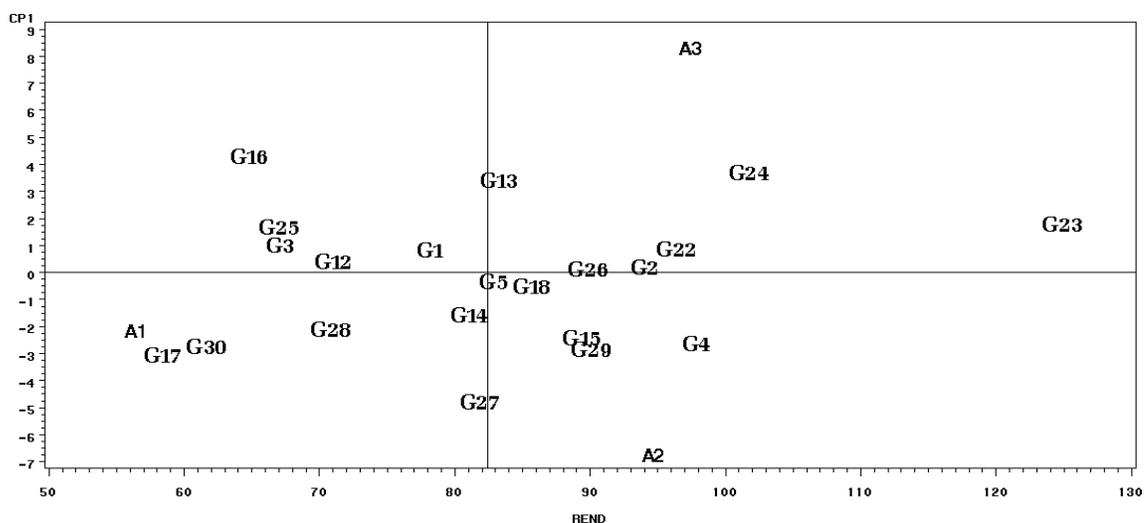


Figura 3. Biplot AMMI 1 para 21 genotipos de tomate evaluados en tres ambientes.

CP1= Componente de estabilidad; G= Genotipo; A1= campo abierto; A2= Macrotúnel; A3= Invernadero; REND= Rendimiento t ha<sup>-1</sup>.

**Análisis de estabilidad mediante el modelo AMMI 2 para rendimiento.**

De acuerdo a la prueba de Gollob (Cuadro 13) el componente principal 1 (CP1) explica el 84.50%, el componente principal 2 (CP2) explica el 15.50%, para así ambos componentes explicar el 100% de la variabilidad debida a la IGA. El 41.05% de la variación del rendimiento se atribuyó al ambiente, las fuentes de variación genotipo e IGA representaron el 27.76% y el 31.19%, respectivamente. El análisis AMMI tiene la ventaja de la ausencia de correlaciones entre los componentes principales y permite observar las diferencias entre ambientes, el grado de interacción de los genotipos con el ambiente, la estabilidad y las adaptaciones específicas de algunos genotipos a determinados ambientes (Gauch y Zobel, 1996; Gauch, 2006).

Samonte *et al.*, (2005) mencionan que un cultivar con un bajo resultado absoluto CP1 debe producir un menor efecto de interacción que el cultivar con un mayor resultado absoluto CP1 y tener una menor variación (más estabilidad) de rendimiento a través de ambientes.

En la figura 4 se muestra que los genotipos 1, 3, 22 y 25 fueron los más cercanos al origen, lo que indica su mayor estabilidad, los genotipos 4, 13, 15, 16, 18, 23, 27 y 30 son los que más aportaron a la interacción (Medina *et al.*, 2001; Lozano *et al.*, 2015).

Eeuwijk (2006) indica que un ángulo menor de 90° o mayor de 270° entre el vector de un cultivar y un vector de sitio indican que el cultivar tiene una respuesta positiva al sitio de prueba, lo cual concide con el A3 (invernadero) y los genotipos 22, 1, 7, 13 y 24, en el A2 (túnel) fueron los genotipos 14 y 17, en el A1 (campo abierto) y los genotipos 26 y 2.

Cuadro 13. Prueba de Gollob para rendimiento de 21 genotipos de tomate.

FV	SC	Porcentaje	Porcentaje acumulado	
Amb	66 495.06	41.05	41.05	**
Gen	44 961.98	27.76	68.81	**
Amb*Gen	50 515.10	31.19	100.00	**
PC1	42 685.47	84.50	84.50	**
PC2	7 829.63	15.50	100.00	

FV= Fuente de variación, SC= Suma de cuadrados, Amb= Ambientes, Gen= Genotipos, Amb\*Gen= Interacción genotipo-ambiente, PC= Componente principal.

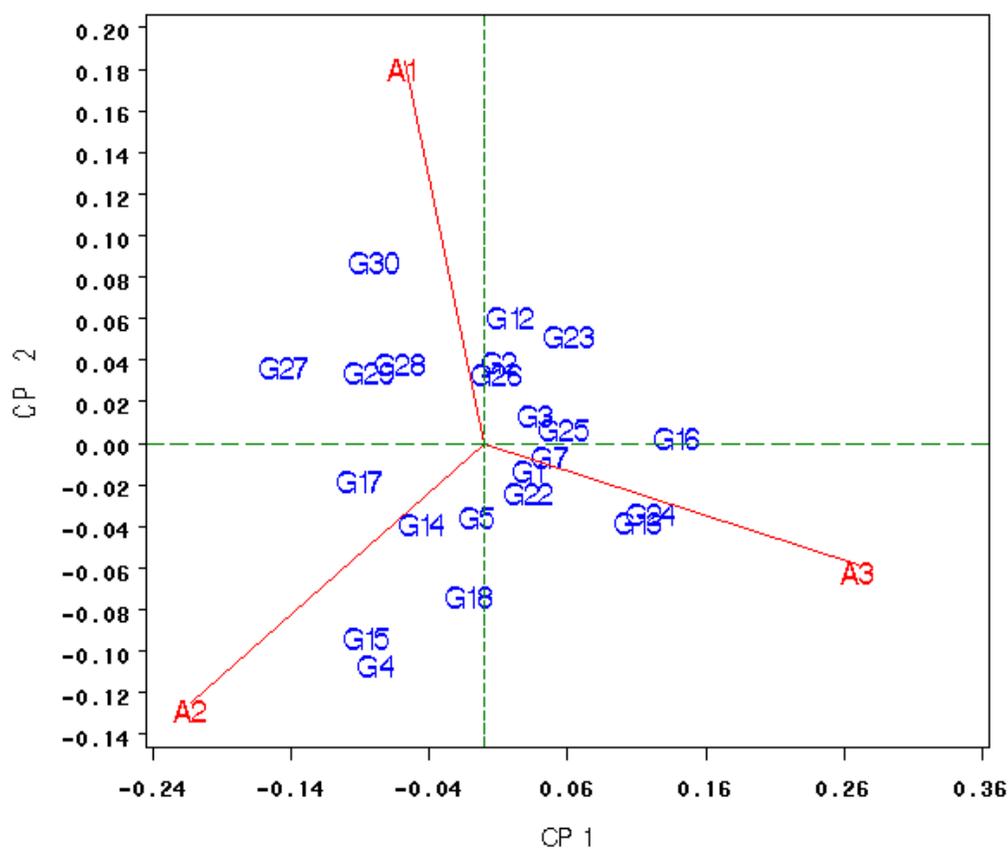


Figura 4. Representación Biplot AMMI para 21 genotipos de tomate, evaluados en tres ambientes.

CP1= Componente de estabilidad; G= Genotipo; A1= campo abierto; A2= Túnel; A3= Invernadero.

### **Análisis de estabilidad y rendimiento con el método SREG o GGE.**

La utilización del modelo SREG resulta aconsejable cuando los sitios (o ambientes) constituyen la fuente de variación más importante en relación a la contribución de los genotipos y la IGA sobre la variabilidad total, situaciones comunes en la práctica (Balzarini *et al.*, 2005).

El biplot GGE se construye a partir de los primeros dos componentes principales (CP) del modelo SREG. El primer componente, cuando se encuentra altamente correlacionada con el efecto principal del genotipo, representa la proporción del rendimiento que se debe sólo a las características del genotipo. El segundo componente representa la parte del rendimiento debida a la interacción genotipo-ambiente (Ibañez *et al.* 2006).

El polígono se forma conectando los marcadores de los genotipos que están más alejados del origen del biplot (23, 24, 16, 17, 30 y 27). Estos genotipos son los que más aportan a la interacción, es decir, los de más alto y más bajo rendimiento, el genotipo correspondiente a un vértice del polígono que esté comprendido dentro de un sector tiene el mejor rendimiento en el o en los ambientes que se encuentran dentro de ese mismo sector, Ibañez *et al.*, (2006). Los genotipos 16, 17 y 30 quedan alejados de los ambientes de evaluación, por lo que estos genotipos son los que expresan menores rendimientos a través de todos los ambientes.

El genotipo ideal resulta aquel con alta puntuación en el CP1, asociado a alto rendimiento, y puntuación cercana a 0 en el CP2 que revela buena estabilidad del material probado a través de los diferentes ambientes (Ferreira *et al.*, 2015). Estos genotipos son: 5, 18, 26, 2 y 22.

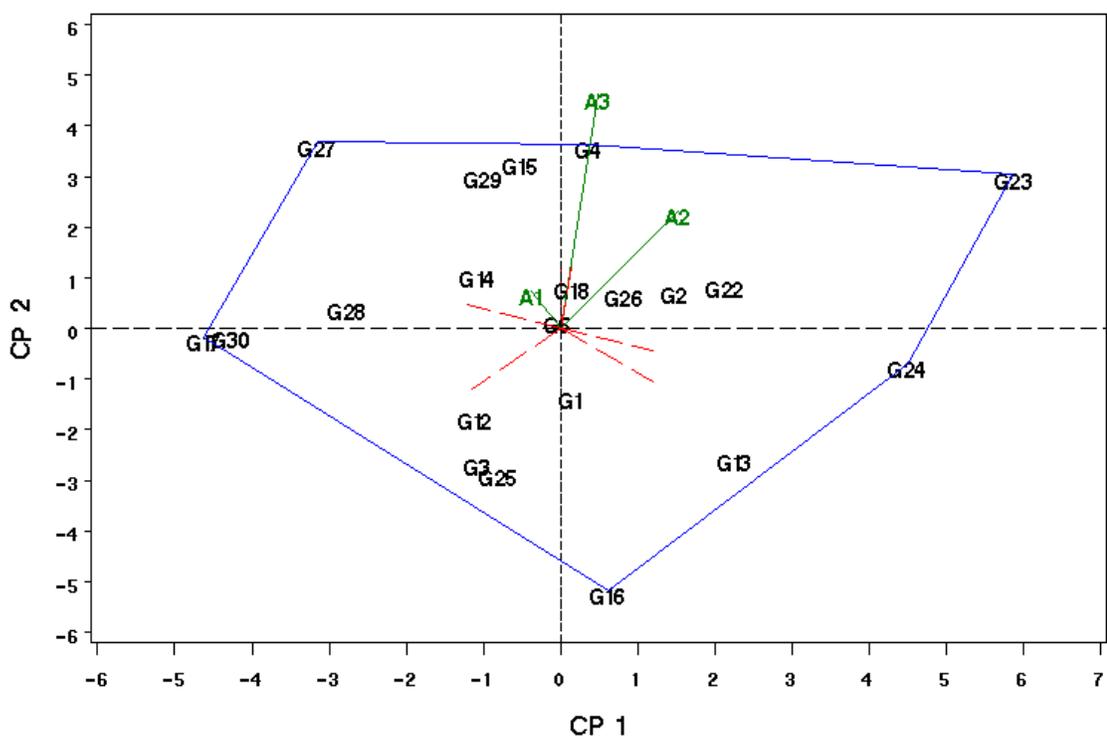


Figura 5. Biplot GGE de 21 genotipos de tomate evaluados en tres ambientes. CP1= Componente principal 1; CP2= Componente principal 2; G= Genotipo; A1= campo abierto; A2= Túnel; A3= Invernadero.

### **ÁREA BAJO LA CURVA DEL PROGRESO DE LA ENFERMEDAD (ABCPE)**

El ABCPE se ha utilizado como una medida única para cuantificar la cantidad de enfermedad en una epidemia. Como tal, combina información sobre todos los aspectos de la epidemia, incluido el inóculo, el medio ambiente y la susceptibilidad del huésped. Por lo tanto, si se va a usar para representar sólo la susceptibilidad, se necesita algún método simple para eliminar la variación de los otros factores perturbadores. El uso de rABCPE es una forma de hacer esta normalización. Variaciones específicas de ubicación en la tasa de desarrollo de la enfermedad (de diferentes condiciones ambientales o genotipos diferentes de *P. infestans*) también podría afectar a rABCPE. El cálculo de rarABCPE es una forma de corregir esta variación. Sin embargo, la escala más simple de 1 a 9 proporciona números que son más fáciles de recordar e interpretar (Yuen y Forbes, 2009).

Se encontraron seis genotipos, los cuales obtuvieron un valor de susceptibilidad de cinco, pero con diferente valor de ABCPE (Cuadro 13). Los genotipos que obtuvieron un nivel menor de incidencia fueron: L1x(S1xL1), K3xY533 con 2113 (% días); K3xY41, F3xY533 con 2188 (% días); Montecarlo y Y533 con 2273 (% días).

Gayosso *et al.* (2015) utilizando esta misma técnica, con siete genotipos de tomate de los cuales se encontraba el Y533, obtuvo una menor incidencia a *Fusarium Oxysporum* f. sp. *lycopersici*.

**Cuadro14. Área Bajo la Curva de Desarrollo de la Enfermedad (ABCDE) de progenitores, progenie y testigos comerciales, establecidos en campo abierto.**

Genotipo	Genealogía	ABCDE total (% días)	rABCDE	Valores de la escala de la susceptibilidad
1	F3	3121	0.5887	7
2	R1	2670	0.5037	6
3	Y4xR1	2670	0.5037	6
4	Y533	2273	0.4287	5
5	S1xL1	2670	0.5037	6
12	Rio grande	3211	0.6057	7
13	Floradade	3211	0.6057	7
14	Montecarlo	2273	0.4287	5
15	El Cid	3298	0.6221	7
16	Y41	4225	0.7971	9
17	K3	2810	0.5301	6
18	L1	3293	0.6221	7
22	(45x47)xR1	3658	0.6901	8
23	Y41x(Y4xR1)	3748	0.7071	8
24	F3x(45x47)	2900	0.5471	6
25	45x47	3748	0.7071	8
26	F3x(Y4xR1)	2585	0.4877	6
27	K3xY41	2188	0.4127	5
28	F3xY533	2188	0.4127	5
29	L1x(S1xL1)	2113	0.3985	5
30	K3xY533	2113	0.3985	5

El ABCPE, al ser un valor numérico, no nos explica por sí solo como ha sido el comportamiento de los genotipos durante toda la epidemia, por ello es necesario graficar la curva del progreso de la enfermedad con los datos de las evaluaciones y el tiempo de evaluación (Gayosso *et al.*, 2015).

Los genotipos con menor incidencia a *Phytophthora infestans* F3xY533 y K3xY533, ambos genotipos progenies de la línea Y533. Éste genotipo puede ser elegido para seguir un proceso de mejoramiento en donde se aproveche los genes de resistencia (Gayosso *et al.*, 2015).

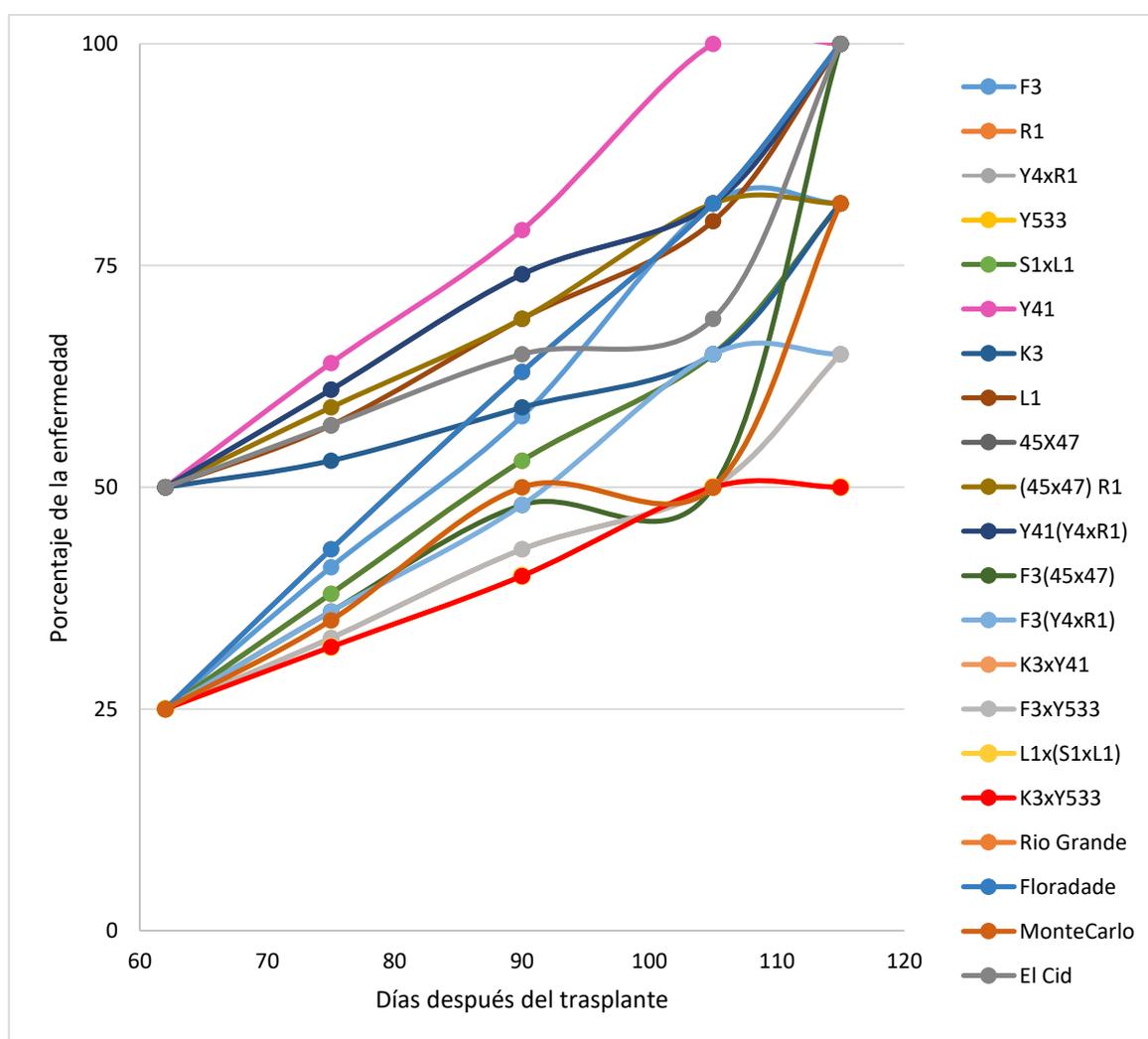


Figura 6. Curva de desarrollo de *Phytophthora infestans* en 21 genotipos de tomate.

## CONCLUSIONES

El mejor ambiente fue el invernadero pues las variables de contenido nutrimental y rendimiento fueron donde mejor se expresaron, en el ambiente campo abierto fue donde se obtuvieron resultados menos favorables.

El genotipo 23 (Y41(Y4xR1)) obtuvo el mayor rendimiento con 124.99 t ha<sup>-1</sup>. El genotipo 17 tuvo un mayor peso promedio de frutos con 188.67 gr y de tamaño grande. Para las variables de calidad contenido de licopeno y vitamina C, destacaron los genotipos 12 (Rio Grande) con 1.36 mg/100 g, y el 16 (Y41) con 18.40 mg/100 g, respectivamente.

El modelo Eberhart y Russell no fue apropiado, ya que no se obtuvo algún genotipo estable, pero sí se encontró que los genotipos 23 (Y41(Y4xR1)) y 24 (F3 x (45x47)) mostraron adaptabilidad en los tres ambientes.

El modelo AMMI 2 muestra que los genotipos 30, 27, 12, 13, 24, 15 y 4 contribuyen más a la interacción.

Los genotipos más estables fueron: 5 (S1xL1), 18 (L1), 26 (F3(Y4xR1)), 2 (R1) y 22 ((45x47) R1), según los modelos AMMI 1 y SREG.

Tanto el modelo AMMI 1 como el SREG son igual de capaces para describir la interacción genotipo-ambiente, sin embargo el AMMI 1 resulta ser más fácilmente interpretable.

La línea Y533, tuvo una menor incidencia a *Phytophthora infestans*, por lo que se recomienda utilizar como progenitor de nuevos híbridos con el fin de proveer resistencia.

## REFERENCIAS

- Abushita A. A., Hebshi E. A., Daood H. G. and Biacs P. A. (1997). Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chem.* 60:207-212.
- Acosta G. J. A., Espinoza T. E., Sánchez G. B. M., Jiménez H. Y., Salinas P. R. A., Rosales S. R., Zandate H. R. y González R. C. (2012). Adaptación del frijol tipo flor de junio a diferentes ambientes de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15: 427-438.
- Aguilar A. C. (2008). Formación y Selección de híbridos de tomate bola tolerantes a altas temperaturas y de alta eficiencia fisiotécnica en invernadero y campo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Aguilar N., García P., Medina T., Miranda L., Rodríguez G. y Hernández L. (2005). Efecto sobre el contenido de licopeno de tomate (*Lycopersicon esculentum* var. Gironda) sembrado en invernadero bajo diferentes sistemas de cultivo con y sin injerto. VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos y II Foro de Ciencias y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, Gto.
- Alanís H. W., Pecina V. Q., Zabala F. G., Montes N. G., Gámez A. J. V., Arcos G. C., García G. M. A., Montes H. S., y Alcalá S. L. (2010). Modelo de Finlay y Wilkinson vs el modelo AMMI para analizar la interacción genotipo-ambiente en sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33: 117-123.
- Andrivon D., Pelle R. and Ellisseche D. (2006). Assessing resistance types and levels to epidemic diseases from the analysis of disease progress curves: Principles and application to potato late blight. *American Journal of Potato Research*. 83:455–461.
- Annicchiarico P. (2009). Coping with and exploiting genotype-by-environment interactions. In: Ceccarelli, S., Guimarães, E.P., Weltzien, E. (eds.), Plant breeding and farmer participation. FAO, Rome, Italy. pp.519-564
- Arellano R. L. J., Rodríguez G. E., Ron P. J., Martínez R. J. L., Lozoya S. H., Sánchez M. J. y Lépiz I. R. (2013). Evaluación de resistencia a *Phytophthora infestans* en poblaciones silvestres de *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4: 753-766.
- Asfaw A., Alemayehu F., Gurum F. and Atnaf M. (2009). AMMI and SREG GGE biplot analysis for matching varieties onto soybean production environments in Ethiopia. *Academic Journals*. 4: 1322-1330.
- Baldwin E. A., Scott J. W., Malundo T. M. M., Shewfelt R. L. and Tandom K. S. (1998). Relationship between sensory and instrumental analysis for tomato flavor. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 123:900-915.

- Balzarini M., Bruno C. y Arroyo A. (2005). Análisis de Ensayos Agrícolas Multiambientales. Ejemplos en Info-Gen. UN de Córdoba, Fac. de Cs. Agropecuarias. Estadística y Biometría. 1º Ed.141 pp.
- Barbosa A. F., Henriques da S. D. J., Damiano C. C. and Gomide M. E. S. (2008). Inheritance of resistance to *Phytophthora infestans* (Peronosporales, Pythiaceae) in a new source of resistance in tomato (*Solanum* sp. (formerly *Lycopersicon* sp.), Solanales, Solanaceae). *Genetics and Molecular Biology*. 31:493-497.
- Brandt S., Pék Z., Barna E., Lugasi A. and Helyes L. (2006).Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86: 568–572.
- Brouwer D. J. and St. Clair D. A. (2004). Fine mapping of three quantitative trait loci for late blight resistance in tomato using near isogenic lines (NILs) and sub-NILs. *Theor Appl Genet.*, 108: 628-638.
- Carrillo R. J. C. y Chávez S J. L. (2010). Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33: 1-6.
- Chechetkin A. V., Vormianski V. I. y Pokusy G. G. (1984) Prácticas de bioquímica del ganado y aves de corral. Ed. 290 E. M. Moscú 55 p.
- Colon, L.T., Nielsen, B.J. and Darsow, U. (2004). Eucablight protocol-Field test for foliage blight resistance. Disponible en: [http://euroblight.net/fileadmin/euroblight/Protocols/Detached\\_Leaf\\_Test.pdf](http://euroblight.net/fileadmin/euroblight/Protocols/Detached_Leaf_Test.pdf)
- Crisanto J. A. U., Vera G. A. M., Chávez S. J. L. y Carrillo R. J. C. (2010). Calidad de frutos de tomates silvestres (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme Dunal) de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33: 7-13.
- Crossa J. and Cornelius P. L. (1997). Sites regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trial sites 295 under heterogeneity of error variances. *Crop Science*, 37: 406-415.
- Ding M., Tier B., Yan W., Wu H. X., Powell M. B. and McRae T. A. (2008). Application Of GGE Biplot Analysis To Evaluate Genotype (G), Environment (E), And G×E Interaction On *Pinus Radiata*: A Case Study.
- Dorais M., Ehret D. L. and Papadopoulos P. (2008).Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. *Phytochem Rev.*, 7:231–250.
- Eberhart S. A. and Russell W.A. (1966). Stability Parameters for Comparing Varieties. *Crop Science*, 6: 36-40.

- Eeuwijk F. V. (2006). Genotype by environment interaction. Basics and beyond. In: Lamkey, K. R. and Lee, M. (Eds.). Plant breeding: the Arnel H. International Symposium. México. 155-170 pp.
- Farshadfar E., Farhadi M. (2014). AMMI and AMMI based analysis of phenotypic stability in wheat-agropyron disomic addition lines. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 5: 548-557.
- Ferraudo G. M. and Perecin D. (2014). Mixed Model, AMMI and Eberhart-Russell Comparison via Simulation on Genotype x Environment Interaction Study in Sugarcane. *Applied Mathematics*, 5: 2107-2119.
- Ferreira V., Grassi E., Ferreira A., Di Santo H. y Castillo Paccapelo H. (2015). Interacción genotipo-ambiente y estabilidad en la producción de forraje de triticales y tricepiros. *Journal of basic and applied genetics*, 26: 27-51
- Finlay K. W. and Wilkinson A. A. (1963). The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Austr. J. Agric. Res.*, 14: 742-754.
- FIRA (2016) Panorama agroalimentario, tomate rojo. Consulta: 18 noviembre 2017. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama\\_Agroalimentario\\_Tomate\\_Rojo\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama_Agroalimentario_Tomate_Rojo_2016.pdf)
- Forbes G., Pérez W. y Andrade P. J. (2014). Procedimiento para Evaluación Estándar y Manejo de Datos de Clones Avanzados de Papa. Modulo 3: Evaluación de la resistencia en genotipos de papa a *Phytophthora infestans* bajo condiciones de campo. Guía para Colaboradores Internacionales. Lima (Perú). Centro Internacional de la Papa (CIP). 50 p.
- Fry, W. E. (1978). Quantification of general resistance of potato cultivars and fungicide effects for integrated control of potato late blight. *Phytopathology*. 68: 1650-1655.
- Gauch H. G. (1988). Model selection and validation for yield trials with interaction. *Biometrics*, 44: 705-715.
- Gauch H. G. and Zobel W. R. (1997) Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*, 37:311-326.
- Gauch H.G. (2006). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, 46: 1488-1500.
- Gauch H.G., Zobel R. W. (1996). AMMI analysis of yield trials. In: Kang M.S., Gauch H.G. (Eds.) Genotype by- environments interactions. Boca Raton, FL, CRC Press, pp. 85-122.

- Gayosso B. O. (2015). Potencial genético en tomate para rendimiento y resistencia a *Fusarium oxysporum* f sp *lycopersici* (Fol) (SACC.) Snyder y Hansen. Tesis de Maestría. Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Gollob H. F. (1968). A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. *Psychometrika*, 33: 73-115.
- Grierson D. and Kader A. A. (1986). Fruit ripening and quality. In: Atherton, J. G., and J. Rudich (eds). *The Tomato Crop. A Scientific Basis for Improvement*. Chapman and Hall (Ed.). London and New York. pp: 241-280.
- Grünwald N. J., Rubio C. O. A. and Fry W. E. (2000). Potato late-blight management in the Toluca Valley: Forecasts and resistant cultivars. *Plant Dis.* 84: 410-416.
- Hassanpanah D. (2010). Analysis of G×E Interaction by Using the Additive Main Effects and Multiplicative Interaction (AMMI) in Potato Cultivars. *International Journal Plant Breeding & Genetics*, 4: 23-29.
- Heaton S. (2001). Organic farming, food quality and human health. A review of the evidence. Editorial Soil Association report. UK. 86 pp.
- Hernández A. J. A. y Zavala G. F. (2009). Adaptación y estabilidad del rendimiento de grano de genotipos de mijo perla (*Pennisetum americanum* L. Leeke) en San Luis Potosí, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 32: 143-152.
- Holland V., Bjørnstad Å., Frey K.J., Gullord M., and Wesenberg D. M. (2002). Recurrent selection for broad adaptation affects stability of oat. *Euphytica*, 126: 265–274.
- Ibañez M. A., Cavanagh M. M., Bonamico N.C. and Di Renzo M. A. (2006). Análisis gráfico mediante biplot del comportamiento de híbridos de maíz. *RIA*, 35: 83-93.
- Jeger M. J. and Viljanen S. L. H. (2001). The use of the area under the disease-progress curve (AUDPC) to assess quantitative disease resistance in crop cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*, 102: 32–36.
- Judelson H. S. and Blanco F. A. (2005). The spores of Phytophthora: weapons of the plant destroyer. *Nature Rev. Microbiol.* 3: 47-58.
- Krishnamurthy S. L., Sharma S.K., Sharma D.K., Sharma P.C., Singh P., Mishra V.K., Burman D., Maji B., Bandyopadhyay B.K., Manda L.S., Sarangi S.K., Gautam, R.K., Singh P.K., Manohara K.K., Marandi B. C., Singh D. P., Padmavathi G., Vanve P. B., Patil K.D., Thirumeni S., Verma O. P., Khan A. H., Tiwari S., Shakila M., Ismail A. M., Gregorio G. B. and Singh R. K. (2015). Analysis of Stability and G × E interaction of Rice Genotypes across Saline and Alkaline Environments in India. *Cereal Research Communications*.

- Kuo C. G. and Tsai C. T. (1984) Alternation by high temperature of auxin and gibberellin concentrations in the floral buds, flowers, and young fruit of tomato. *Hort. Science*, 19: 870–872.
- Li H., Deng Z., Liu R., Loewen S. and Tsao R. (2013). Carotenoid compositions of coloured tomato cultivars and contribution to antioxidant activities and protection against H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-induced cell death in H9c2. *FoodChem*, 136: 878-888.
- Ligarreto G. A., Castro O. A. y Chávez B. C. (2015). Estabilidad fenotípica de una colección de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo arbustivo. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18: 109-118
- López C. G., Matas A. J., Cuartero J., Heredia A. y Romero A. R. (2003). Mancha solar en el fruto de jitomate: análisis de carotenoides y estudio histológico. X Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. Pontevedra, España. *Actas de Horticultura*. 39: 401-403.
- Lozano R. A., Santacruz V. A., San Vicente G. F., Crossa J., Burgueño J. y Molina G. J. (2015). Modelación de la interacción genotipo X ambiente en rendimiento de híbridos de maíz blanco en ambientes múltiples. *Revista fitotecnia mexicana*, 38: 337-347.
- Luna G. M. L. y Delgado A, A. (2014). Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18: 51-66.
- Medina M., Abadie T., Vilaró D. y Ceretta S. (2001). Estudio metodológico de adaptación de cultivares de maíz para silo a las condiciones de Uruguay. *Agrociencia*, 1: 23-31.
- Mendoza G. A. (2009). Selección de genotipos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) por su rendimiento y alta eficiencia fisiotécnica bajo diferentes ambientes. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Orona C. F., Medina M. J., Tucuch C. F. M., Soto R. J. M. y Almeyda L. I. H. (2013). Parámetros de estabilidad en rendimiento y adaptabilidad de 25 genotipos de arroz en Campeche, México. *Phyton*, 82: 255-261.
- Ortiz R., Crossa J., Vargas M. and Izquierdo J. (2007). Studying the effect of environmental variables on the genotype x environment interaction of tomato. *Euphytica*, 153: 119–134.
- Ovando S. G. (2015). Formación y selección de genotipos sobresalientes de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en base a características de rendimiento, calidad de fruto y adaptación. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

- Pietkiewicz, J. B. (1972). Badania odpornosci ziemniaka na zaraze ziemniaczana (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) na odcietych lisciach. *Biuletyn Instytutu Ziemiaka*, 9: 17-32.
- Raffo A., La Malfa G., Fogliano V., Maiani G. and Quaglia G. (2006). Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). *J Food Compost Ana*, 19: 11-19.
- Riga P., Anza M. and Garbisu C. (2007). Tomato quality is more dependent on temperature than on photosynthetically active radiation. *J. Sci. Agric.*, 88:158-166.
- Rodríguez P. J. E., Sahagún C. J., Villaseñor M. H. E., Molina G. J. D. y Martínez G. A. (2002). Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 25:143-151.
- Rojas G. R. (2009). Identificación de ambientes representativos para la discriminación de híbridos de maíz pre-comerciales. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- SAGARPA, 2016. Comunicado de Prensa. [En línea]. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2016/agosto/Documents/JAC0351-17.PDF> (Revisado el 16 de enero de 2018).
- SAGARPA, 2017. Comunicado de Prensa. [En línea]. Disponible en: [http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2017/febrero/Documents/JAC\\_0055\\_10.PDF](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2017/febrero/Documents/JAC_0055_10.PDF) (Revisado el 16 de enero de 2018).
- Samonte S. O. P. B., Wilson L. T., McClung A. M., Medley J. C. (2005). Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. *Crop Sci.*, 45: 2414-2424.
- San Martín H. C., Ordaz CH. V. M., Sánchez G. P., Colinas L. M. y Borges G.L. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferente granulometrías de tezontle. *Agrociencia*, 46: 243-254.
- Sánchez A. D., Borrego E. F., Zamora V. V. M., Sánchez CH. J.D. y Castillo R. F. (2015). Estimación de la interacción genotipo-ambiente en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) con el modelo AMMI. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(4): 763-778.
- Sandei L., Siviero P., Zanotti G., Cabassi A., Leoni C. (2003). Evaluation of the lycopene content in processing tomato cultivars claiming "high pigment content". *Acta Hort.*, 613: 331-331.

- Sasaki H., Yano T. and Yamasaki A. (2005). Reduction of high temperature inhibition in tomato fruit set by plant growth regulators. Biological Resources Division, Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 39: 135-138.
- SIAP, 2016 Avance de Siembras y Cosechas. Resumen nacional por estado. [En línea]. Disponible en: [http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2017/febrero/Documents/JAC\\_0055\\_10.PDF](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/2017/febrero/Documents/JAC_0055_10.PDF) <http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricolasiapgobmx/AvanceNacionalCultivo.do>
- Steel RGD, Torrie JH (1980) Principles and procedures of statistics. Ed. N. Y. McGraw-Hill 481 p.
- Suwarto and Nasrullah. (2014). Analysis of Genotype x Environment Interaction Effect and Yield Stability on Improved Rice Genotypes in Central Java Using Graphical GGE-Biplot Method. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*.197.
- Tamayo I., Puchades I. M. y Rodríguez L. I. (2012). Modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa aplicado a la evaluación de la roya parda de la caña de azúcar. *Fitosanidad*, 16(3): 129-135.
- Tatarowska B., Flis B., Zlinoch G. E. (2011). Biological Stability of Resistance to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in 22 Polish Potato Cultivars Evaluation in Field Experiments. Potato Association of America. Młochów, Poland. Pp 1 - 9.
- Turhan A. and Seniz V. (2009). Estimation of certain chemical constituents of fruits of selected tomato genotypes grown in Turkey. *Afr. J. Agric. Res*, 4: 1086-1092.
- Urrieta V., Rodríguez M. J. A., Ramírez V. M. N., Baca C. P., Ruiz P. G. A. and Cueto W. J. A. (2012). Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 18: 371-381.
- Vásquez O. R., Carrillo R. J. C. y Ramírez V. P. (2010). Evaluación morfo-agronómica de una muestra del jitomate nativo del Centro y Sureste de México. *Rev. Naturaleza y Desarrollo*, 8: 49-64.
- Weibel F. P., Bickel R., Leuthold S. and Alföldi T. (2000). Are organically grown apples tastier and healthier? A comparative field study using conventional and alternative methods to measure fruit quality. *Acta Horticulturae*, 517:417-426.
- Yan W. and Tinker N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Can. J. Plant Sci.* 86: 623-645.
- Yuen J. E. and Forbes G. A. (2009). Estimating the level of susceptibility to *Phytophthora infestans* in potato genotypes. *Phytopathology*, 99:782-786.

Zobel R. W., Wright M. J and Gauch H. G. (1988). Statistical analysis of a yield trial.  
*Agron. J.* 80: 388-399.