

EFFECTOS GENÉTICOS É INTERACCIÓN GENOTIPO POR
AMBIENTE EN TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) EN
VARIABLES FENOLÓGICAS, DE RENDIMIENTO,
FISIOTÉCNICAS Y DE CALIDAD

DAVID SÁNCHEZ ASPEYTIA

T E S I S

Presentada como requisito parcial para
obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
EN FITOMEJORAMIENTO



Universidad Autónoma Agraria

“Antonio Narro”

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre de 2008

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO “

DIRECCIÓN DE POSGRADO

EFFECTOS GENÉTICOS É INTERACCIÓN GENOTIPO POR AMBIENTE EN
TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) EN VARIABLES FENOLÓGICAS, DE
RENDIMIENTO, FISIOTÉCNICAS Y DE CALIDAD

TESIS

Por:

DAVID SÁNCHEZ ASPEYTIA

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como
requisito parcial para optar al grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal:

Dr. Fernando Borrego Escalante

Asesor:

Dr. Víctor Manuel Zamora Villa

Asesor:

Dra. Ma. Margarita Murillo Soto

Asesor:

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor:

Dr. Valentín Robledo Torres

Dr. Jerónimo Landeros Flores
Director de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Diciembre de 2008

AGRADECIMIENTOS

A mi ALMA MATER: *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN)*. Por recibirme en su seno y recibir de su personal académico los conocimientos necesarios para desarrollarme profesionalmente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT): Por todo el apoyo brindado durante mis estudios de Maestría y Doctorado.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP): En especial al **MC Gustavo Lara Guajardo**, Por darme la oportunidad de laborar en el C.E Saltillo y coadyuvar en el desarrollo de las zonas agrícolas del sureste de Coahuila.

Al Dr. Fernando Borrego Escalante: Por darme la oportunidad de incorporarme en sus proyectos de investigación, por brindarme su sincera amistad y por siempre creer en mí. Gracias Dr. Borrego que Dios bendiga a Usted y su familia.

A la Dra. Ma. Margarita Murillo Soto: Por su amistad y enorme apoyo en el laboratorio y sus sugerencias en la realización del presente trabajo.

Al Dr. Víctor Manuel Zamora Villa. Por su valiosa amistad y por su apoyo brindado en la revisión estadística de este documento, por sus atinados comentarios y sugerencias.

AL Dr. Adalberto Benavides Mendoza. Por su gran contribución en la asesoría y revisión de esta tesis, por sus consejos y sugerencias, por su amistad sincera.

Al Dr. Valentín Robledo Torres. Por sus acertados comentarios y por su enorme apoyo en la culminación del presente documento.

Al Dr. Mario E. Vázquez Badillo. Por ser mi amigo, por ser una persona de éxito y ejemplo de vida, por sus sabios consejos y enseñanzas, gracias.

A la Ing. Lourdes Hernández Hernández. Por su valioso apoyo en las pruebas de calidad realizadas en el laboratorio de Fisiotecnía, por su sincera amistad y por sus sabios consejos como profesional y como amiga, gracias Lulú.

Al Ing. Juan Manuel Cabello y Lic. Sandra López. Por su valioso apoyo en el área de sistemas computacionales.

A Collazo, Germán y Adrián. Por su enorme apoyo y disposición en los trabajos de campo, por compartir sus experiencias y alimentos conmigo, gracias por todo.

A todos mis amigos y compañeros del programa de Posgrado en Fitomejoramiento:
Carlos Lozano, Antonio Vázquez, Samuel, Víctor Parga, Gerardo Mezquitic, Armando Rodríguez, En especial para mi gran amigo **Noe Musito Ramírez** por su apoyo incondicional y su sensibilidad para con mi familia.

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía espiritual

A mi Padre: *Francisco Sánchez Pérez⁺*. Por darme la vida, por apoyarme en todo momento, gracias papá donde quiera que estés, siempre te llevaré en mi corazón.

A mi Madre: *Victoria Aspeytia Herrera*. Gracias madrecita por ser como eres, por tu apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida, por creer en mi y en mis sueños, te amo con todo mi corazón.

A mi Esposa: *Verónica Ríos Gallegos*. Por tu gran amor incondicional, por apoyarme en los buenos y malos momentos, por ser la madre de mis hijos. Tú eres y serás el amor de mi vida. Te amaré por siempre.

A mis Hijos: *José David y Mariana*. Por ser dos grandes tesoros que dios nos dió, por ser mi fuente de inspiración y de superación, por sus risas y llantos, por llenarme con sus besos y abrazos y al angelito que viene en camino, para ustedes con todo mi amor.

A mis Hermanos: *Francisco Javier, Alma Delia, Leticia y Juan Pablo*. Por compartir de niños todo lo que nuestros padres nos dieron, sobre todo el cariño y el amor, gracias por estar siempre conmigo. Con cariño para mis sobrinos y mis cuñados (as).

A mis Tíos, Tías, Primos, Sobrinos. Por ser parte de esta gran familia. En especial a mi tío Félix y Mary por todo su apoyo moral y económico, por abrir la puertas de su casa para conseguir mis metas.

A la Familia de mi Esposa. En especial a mis suegros y cuñados por permitirme ser parte de su familia.

A todas aquellas personas que de alguna u otra forma han contribuido en mi superación personal y profesional. *Muchas Gracias.*

COMPENDIO

EFFECTOS GENÉTICOS É INTERACCIÓN GENOTIPO POR AMBIENTE EN TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.) EN VARIABLES FENOLÓGICAS, DE RENDIMIENTO, FISIOTÉCNICAS Y DE CALIDAD

POR

DAVID SÁNCHEZ ASPEYTIA

DOCTOR EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. DICIEMBRE DE 2008.

DR. FERNANDO BORREGO ESCALANTE - ASESOR PRINCIPAL-

Palabras Clave: *Lycopersicon esculentum* Mill., Efectos Genéticos, Interacción Genotipo-Ambiente, Rendimiento, Fotosíntesis, Licopeno, Calidad.

Los objetivos planteados en este trabajo fueron: Determinar los efectos genéticos de 4 genotipos de tomate y sus 6 cruzas directas y estimar la interacción genotipo-ambiente (IGA) de 25 genotipos, por el método AMMI para variables fisiotécnicas, fenológicas, de rendimiento y calidad.

Los veinticinco genotipos se evaluaron en los ambientes Rancho Nuevo (campo), Providencia (invernadero) y Buenavista (campo) durante el ciclo agrícola 2006. Para el análisis de la interacción genotipo-ambiente se emplearon 25 genotipos mientras que para la determinación de los efectos genéticos se emplearon 10 genotipos: tres líneas experimentales F₉ (Z4, Q3, R1) y un híbrido comercial (Don Raúl) como progenitores y sus seis cruzas posibles directas de acuerdo a un diseño dialélico. Se evaluaron las

variables: Días a Primer Corte (DPC), Días a Ultimo Corte (DUC), Días en Corte (DC), Número de Cortes (NC) Diámetro Polar (DP), Diámetro Ecuatorial (DE), Número de Frutos (NOFRT), Peso Promedio de Fruto (PPF), Rendimiento (REND) en toneladas por hectárea, Color (COLOR), Grados Brix (BRIX), Potencial de Iones de Hidrógeno (pH), Vitamina C (VITC), Licopeno (LICOP) en miligramos en cien gramos de fruto, Temperatura de la Hoja (THOJA), Asimilación de CO₂ (FOTO), Conductancia Estomatal (CE), Resistencia Estomatal (RE), Transpiración (TRANS), Uso Eficiente del Agua Fisiológico (UEAF), Luz Incidente (DFFF), Concentración de CO₂ (CO₂), Temperatura del Ambiente (TAIR) y Humedad Relativa (HR).

Los ambientes se evaluaron mediante un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones para las características de rendimiento y fisiológicas. La unidad experimental constó de tres plantas intermedias con competencia completa. Para las variables de calidad se utilizó el mismo diseño experimental seleccionando tres frutos al azar de cada genotipo en el cuarto o quinto corte sobre los cuales se efectuaron las pruebas de calidad en laboratorio.

La información se analizó como un bloques al azar combinado sobre localidades, en las variables cuantitativas donde se detectó IGA, se realizó el análisis multivariado (AMMI) mediante el programa propuesto por Vargas y Crossa (2000), considerando los genotipos como un efecto fijo y los ambientes como efecto aleatorio. El análisis general de efectos genéticos utilizado fue el análisis II de Gardner y Eberhart (1966).

El análisis de varianza combinado mostró diferencias ($P \leq 0.05$) entre ambientes para las variables DPC, PPF y REND, esta última con un promedio de 43,71 t ha⁻¹, superior a la media nacional en el 2007, que fue de 36.54 t ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2007); entre genotipos se observó diferencias significativas para DPC y PPF, no

detectando significancia en la IGA. Para las variables de calidad hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre ambientes para BRIX, VITC y LICOP y diferencias ($P \leq 0.01$) entre genotipos y la IGA. Al realizar el análisis AMMI, con dos componentes principales se explicó cerca del 100 de la variación existente.

La línea R1 se puede recomendar por su interacción negativa y el híbrido Q3xR1 se puede recomendar si se trabaja en ambientes óptimos, ya que mostró una interacción positiva y que responde bien en ambientes controlados. Los más estables para rendimiento fueron aquellos cercanos al origen (F3, D1, Z4xD1, Z4xR1, F3xCB, Z4xL1). El híbrido experimental S1xL1 responde mejor al ambiente Providencia (PROV) y el TRxF3 en el ambiente Buenavista (UAAAN). Para VITC los ambientes PROVID y UAAAN tienden a agrupar en forma similar a los genotipos, en donde Q3 responde bien en estos dos ambientes y los más estables fueron Z4xR1, P3xF3 y F3xD1.

En el análisis de efectos genéticos, los progenitores se comportaron diferente para peso promedio de fruto; la heterosis varió en cada cruce y ambiente; en variedades por ambiente y heterosis varietal por ambiente se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) corroborando con esto que los progenitores impartieron valores diferenciales en las cruces involucradas. Para REND hubo diferencia ($P \leq 0.05$) para heterosis varietal por ambiente, indicando que la heterosis de los progenitores no fue constante a través de los ambientes.

En las variable fisiológicas no se encontró significancia en los efectos genéticos, en BRIX los progenitores se comportaron diferente en cada ambiente y la heterosis no fue estable a través de los ambientes, adicionalmente la heterosis específica por ambiente indicó que la heterosis de las cruces o ACE de las mismas fue diferente a través de los ambientes.

Hubo diferencias ($P \leq 0.05$) para heterosis total en LICOP, sugiriendo que existe suficiente potencial genético entre los progenitores estudiados, que puede explotarse en un programa de mejoramiento.

En este estudio, dada la significancia de la heterosis específica por ambiente para VITC, reveló que la heterosis de las cruzas o aptitud combinatoria específica (ACE) fue diferente a través de los ambientes, revelando con esto la importancia de los efectos no aditivos en la herencia de Vitamina C.

En los efectos varietales para días a primer corte (DPC) hubo diferencia ($P \leq 0.01$) con el progenitor Z4 con signo negativo, indicando que este progenitor se puede explotar por medio de hibridaciones para generar genotipos precoces y signo positivo para el progenitor R1, indicando que este progenitor tiene genes deseables y puede ser explotado en un programa de mejoramiento para desarrollar genotipos de tomate precoces con alto peso promedio de fruto (más de 105 gramos). En REND no hubo significancia para efectos varietales, donde los valores más altos, aunque no significativos, son los progenitores Q3 y R1, que obtuvieron los más altos rendimientos, con 53.95 y 58.63 t ha⁻¹ respectivamente.

Para la heterosis promedio, se observó significancia para VITC con valor positivo, y el estimado más alto pero no significativo fue para PPF, indicando que estas características conllevan heterosis que puede reflejarse en la realización de cruzamientos con los progenitores que presentaron valores altos de efecto varietal; así, Don Raúl puede emplearse para desarrollar materiales genéticos de alta eficiencia fotosintética, Z4 para PPF y BRIX y el progenitor Q3 para desarrollar genotipos con alto contenido de LICOP.

Los valores de los estimados para la heterosis específica, mostró diferencia para

VITC en las cruzas Don RaúlxZ4, Don RaúlxR1, Z4xQ3 y Q3xR1, indicando con esto la posibilidad de explotar los efectos de dominancia y que estas cruzas se pueden emplear como híbridos para elevar la calidad del tomate.

ABSTRACT

GENETIC EFFECTS AND GENOTYPE-ENVIRONMENT INTERACTION IN TOMATO (*Lycopersicon esculentum* Mill.) IN PHENOLOGICAL, YIELD, PHYSIOLOGICAL AND QUALITY VARIABLES

FOR

DAVID SANCHEZ ASPEYTIA

DOCTOR OF SCIENCE IN PLANT BREEDING

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. DECEMBER 2008.

DR. FERNANDO BORREGO ESCALANTE - ADVISER-

Key words: *Lycopersicon esculentum* Mill., Genetic Effects, Genotype – Environment ,
Interaction, Yield, Photosynthesis, Lycopene, Quality

The objectives raised in this study were: To determine genetic effects of four genotypes of tomato and their six direct crosses; and genotype-environment interaction (GEI) estimation of 25 genotypes by AMMI method, in Physiotechnical, Phenological, Yield and Quality variables.

Twenty-five genotypes were evaluated in Rancho Nuevo (field), Providencia (greenhouse) and Buenavista (field) environments during the 2006 agricultural cycle. For the analysis of genotype-environment interaction 25 genotypes were used, while for determining the genetic effects were used 10 genotypes, using three experimental lines in F₉ generation (Z4, Q3, R1) and a hybrid commercial (Don Raul) as parents and their

six crosses possible according to a diallel design. The following variables were evaluated: Days to First Cut (DPC), Days to Last Cut (DUC), Days in Harvest (DC) and Number of Cuts (NC), Polar Diameter (DP) Equatorial Diameter (DE), Number of Fruits (NOFRT), Average Fruit Weight (PPF), Yield (REND), Colour (COLOR), Brix degrees (BRIX), Potential of Hydrogen Ions (pH), Vitamin C (VITC), Lycopene (LICOP), Temperature of the Leaf (THOJA), CO₂ Assimilation (FOTO), Stomatal Conductance (CE), Stomatal Resistance (RE), Transpiration (TRANS), Physiological Water Use Efficiency (UEAF), Light Incident (DFFF), CO₂ Concentration (CO₂), Environment Temperature (TAIR) and Relative Humidity (HR).

In all environments was assessed using a randomized complete block design with two replications for the yield and physiological traits. The experimental unit consisted of three intermediate plants with full competition. In variables of quality are used the same experimental design selecting three fruits randomly of each genotype in the fourth or fifth cut, the quality tests were conducted in laboratory.

The information was analyzed as a randomized block combined on locations, in qualitative variables where detect IGA was carried out the analysis AMMI using the program proposed by Vargas and Crossa (2000) and genotypes were considered as a fixed effect and environments as a random effect. The general analysis of genetic effects used was the analysis II of Gardner and Eberhart (1966).

The combined analysis of variance showed differences ($P \leq 0.05$) between environments for variables DPC, PPF and REND, the latter with at average 43.71 ton ha⁻¹, Being higher than what was reported in 2007 that was 36.54 ton ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2007) between genotypes observed significant differences for DPC and PPF, no significance detecting in GEI. For the quality variables were significant

differences between environments ($P \leq 0.05$) for BRIX, VITC and LICOP and differences ($P \leq 0.01$) between genotypes and the GEI. To make the analysis AMMI, with two components explained nearly 100 percent of the variation among the 25 genotypes .

R1 line can be recommended by their negative interaction and hybrid Q3xR1 can be recommended for working in optimal environments and showed a positive interaction and that responds well in controlled environments. The most stable to yield were those close to the origin (F3, D1, Z4xD1, Z4xR1, F3xCB, Z4xL1. The experimental hybrid S1xL1 respond better to the environment Providencia (PROV) and TRxF3 in the environment Buenavista (UAAAN). For VITC, UAAAN and Providencia (PROV) environments tend to group together in a way similar to the genotypes, where Q3 responds well in both environments and were more stable Z4xR1, P3xF3 and F3xD1.

In the analysis of genetic effects, the parents behaved differently for PPF, heterosis varied at each crossing and environment, in varieties for environment and heterosis varietal for environment differences were observed ($P \leq 0.05$), corroborating this with the parents showed values differentials in the involved crosses. To yield (REND), there were differences ($P \leq 0.05$) for heterosis varietal by environment, indicating that the heterosis of the parents were not stable across environments.

In the physiological parameters, significance was not found in any of the genetic effects. In BRIX parents behaved differently in each environment and heterosis was not stable across environments, in addition to the specific environment heterosis indicated that the heterosis of crosses or ACE was the same across different environments.

There were differences ($P \leq 0.05$) for total heterosis LICOP, suggesting that there is sufficient genetic potential between the parents surveyed, which can be exploited in a breeding program.

In this study given the significance of specific heterosis by environment, for VITC reveals that the heterosis of the crosses or specific combining ability (ACE) was different between environments, revealing the importance of this non-additive effects on the inheritance of Vitamin C.

In the varietal effects for days to first cut (DPC) difference ($P \leq 0.01$) with the parent Z4 with negative sign, indicating that the parent can be exploited through hybridizations to find genetic materials early and for the parent R1 with a positive sign indicates that this parent is desirable genes and which can be exploited in a breeding program to develop early tomato genotypes with high average weight of fruit (more than 105 grams). In yield, not found significance for varietal effects, where Q3 and R1 showed 53.95 and 58.63 ton ha⁻¹ respectively.

For the average heterosis was observed significance for VITC with positive value and estimated higher but was not significant for PPF, indicating that these characteristics imply that heterosis can be reflected in the performance of crosses with the parents who was maximal effect of varietal, well Don Raul can be used to develop genetic materials of high photosynthetic efficiency, Z4 for BRIX and PPF and the parent Q3 to develop genotypes with high content of LICOP.

The values of those estimated for the specific heterosis, showed difference in VITC in the crosses Don RaulxZ4, Don RaulxR1, Z4xQ3 and Q3xR1, indicating that possibility of exploiting the effects of dominance and that these crosses can be used as hybrids to enhance the quality of tomato.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	xix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xxii
COMPENDIO.....	vii
ABSTRACT.....	xii
1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	5
1.2 Hipótesis.....	5
2.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1 Origen de la Especie.....	6
2.2 Tipos de Crecimiento.....	7
2.3 Necesidades Climáticas.....	8
2.3.1 Temperatura.....	9
2.3.2 Humedad Relativa.....	10
2.3.3 Luz.....	10
2.4 Mejoramiento Genético del Tomate.....	11
2.4.1 Importancia del Mejoramiento Genético del Tomate.....	13
2.4.2 Aspectos Fisiológicos.....	13
2.4.3 Aspectos del Rendimiento.....	16
2.4.4 Aspectos de Calidad.....	16
2.5 Análisis de Efectos Genéticos.....	19

2.6 Interacción Genotipo por Ambiente (IGA).....	24
3.-MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1 Materiales Genéticos Utilizados.....	27
3.2 Cruzamientos.....	28
3.3 Ambientes de Evaluación.....	29
3.4 Siembra.....	30
3.5 Tutorado.....	31
3.6 Podas.....	31
3.7 Riegos y Fertilización.....	31
3.8 Variables Evaluadas.....	32
3.9 Toma de Datos.....	33
3.10 Pruebas de Calidad de Frutos.....	34
3.10.1 Determinación de Sólidos Solubles °Brix y pH.....	35
3.10.2 Determinación de Vitamina C.....	35
3.10.3 Determinación de Licopeno.....	36
3.11 Diseño Experimental.....	37
3.12 Análisis Estadístico.....	37
3.12.1 Prueba de Medias.....	38
3.12.2 Análisis AMMI.....	38
3.12.3 Análisis de Efectos Genéticos.....	39
4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1 Análisis Combinado.....	41
4.1.1 Variables Fenológicas.....	41
4.1.2 Variables de Rendimiento.....	43

4.1.3 Variables Microclimáticas.....	45
4.1.4 Variables Fisiológicas.....	46
4.1.5 Variables de Calidad.....	49
4.2 Análisis de la Interacción genotipo-ambiente (IGA).....	52
4.2.1 Variable Rendimiento (REND).....	55
4.2.2 Variable Licopeno (LICOP).....	58
4.2.3 Variable Vitamina C (VITC).....	62
4.3 Efectos Genéticos.....	65
4.3.1 Variable Días a Primer corte (DPC).....	65
4.3.2 Variable Peso Promedio de Fruto (PPF).....	66
4.3.3 Variable Rendimiento (REND).....	67
4.3.4 Variable Asimilación de CO ₂ (FOTO).....	69
4.3.5 Variable Transpiración (TRANS).....	70
4.3.6 Variable Uso Eficiente de Agua Fisiológico (UEAF).....	70
4.3.7 Variable Sólidos Solubles Totales (BRIX).....	72
4.3.8 Variable Licopeno (LICOP).....	73
4.3.9 Variable Vitamina C (VITC).....	75
4.3.10 Efecto Varietal.....	75
4.3.11 Heterosis Promedio y Varietal.....	77
4.3.12 Heterosis Específica.....	77
5.- CONCLUSIONES.....	79
6.- BIBLIOGRAFÍA.....	81
7.-APÉNDICE.....	87

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 3.1 Materiales genéticos de tomate evaluados en tres ambientes del Sureste del estado de Coahuila. 2006.....	27
Cuadro 3.2. Características de los ambientes de evaluación para determinar efectos heteróticos e interacción genotipo- ambiente en tomate, 2006.....	29
Cuadro 3.3. Diseño dialélico para la determinación de efectos genéticos en tomate de acuerdo a la metodología de Gardner-Eberhart (1966).....	30
Cuadro 4.1. Cuadrados medios y significancia para variables fenológicas evaluadas en veinticinco genotipos de tomate en tres ambientes. CV, Rango y Media. 2006.....	42
Cuadro 4.2.- Cuadrados medios y significancia para variables de rendimiento evaluadas en veinticinco genotipos de tomate en tres ambientes. CV, Rango y Media. 2006.....	43
Cuadro 4.3. Cuadrados medios y significancia para variables microclimáticas evaluadas en veinticinco genotipos de tomate en tres ambientes. CV, Rango y Media. 2006.....	46
Cuadro 4.4. Cuadrados medios y significancia para variables fisiológicas evaluadas en veinticinco genotipos de tomate en tres ambientes. CV, Rango y Media. 2006.....	48
Cuadro 4.5. Cuadrados medios y significancia para variables de calidad	

evaluadas en veinticinco genotipos de tomate en tres ambientes. CV, Rango y Media. 2006.....	50
Cuadro 4.6. Cuadrados medios del análisis AMMI de los veinticinco genotipos de tomate en tres ambientes de evaluación. 2006.....	53
Cuadro 4.7. Medias y valores escalares de los componentes principales de los 25 genotipos y tres ambientes.....	55
Cuadro 4.8. Cuadrados medios de variables de rendimiento y fisiológicas bajo el modelo de Gardner y Eberhart, análisis II (1966), de cuatro progenitores y seis cruzas en tomate en tres ambientes de evaluación, 2006.....	67
Cuadro 4.9.- Rendimiento de fruto ($t\ ha^{-1}$) de progenitores y cruzas evaluados en tres ambientes, 2006.....	68
Cuadro 4.10. Cuadrados medios de variables de calidad, bajo el modelo de Gardner y Eberhart, análisis II (1966), de cuatro progenitores y seis cruzas en tomate en tres ambientes de evaluación, 2006.....	73
Cuadro 4.11. Efecto varietal (V_j) de los progenitores de tomate, evaluados en tres ambientes, 2006.....	77
Cuadro 4.12. Efecto de heterosis promedio y varietal (h_j) de genotipos de tomate empleados como progenitores, evaluados en tres ambientes, 2006.....	77
Cuadro 4.13. Valores de heterosis específica (S_{ij}) de las cruzas involucradas en un dialélico de cuatro progenitores de tomate, evaluados en tres ambientes, 2006.....	78
A.1. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para las variables	88

fenológicas de 25 genotipos de tomate en tres ambientes de evaluación.....	
A.2. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para las variables de rendimiento de 25 genotipos de tomate en tres ambientes de evaluación.....	89
A.3. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para las variables climáticas de 25 genotipos de tomate en tres ambientes de evaluación.....	90
A.4. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para las variables fisiológicas de 25 genotipos de tomate en tres ambientes de evaluación.....	91
A.5. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para las variables de calidad de 25 genotipos de tomate en tres ambientes de evaluación.....	92
A.6. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para variables fenológicas en tomate bajo tres ambientes de evaluación.....	93
A.7. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para variables de rendimiento en tomate bajo tres ambientes de evaluación.....	93
A.8. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para variables climáticas en tomate bajo tres ambientes de evaluación.....	93
A.9. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para variables fisiológicas en tomate bajo tres ambientes de evaluación.....	94
A.10. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para variables de calidad en tomate bajo tres ambientes de evaluación.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 4.1. Comportamiento medio de los genotipos en tres ambientes de evaluación para Rendimiento (REND), Licopeno (LICOP) y Vitamina C (VITC)).....	51
Figura 4.2. Distribución de los genotipos en los ambientes de evaluación para rendimiento y componente principal 1, de acuerdo al análisis AMMI.....	56
Figura 4.3. Distribución de los genotipos en los ambientes de evaluación para rendimiento entre el componente principal 1 y componente principal 2, de acuerdo al análisis AMMI.....	58
Figura 4.4. Distribución de los genotipos en los ambientes de evaluación para licopeno y el componente principal 1, de acuerdo al análisis AMMI.....	60
Figura 4.5. Distribución de los genotipos en los ambientes de evaluación para licopeno entre el componente principal 1 y componente principal 2, de acuerdo al análisis AMMI.....	62
Figura 4.6. Distribución de los genotipos en los ambientes de evaluación para Vitamina C y el componente principal 1, de acuerdo al análisis AMMI.....	63
Figura 4.7. Distribución de los genotipos de tomate en los ambientes de evaluación para vitamina C entre el componente principal 1 y el componente principal 2, de acuerdo al análisis AMMI.....	64

1.-INTRODUCCIÓN

Se considera que a nivel internacional, las hortalizas y las frutas ocupan en la actualidad el segundo lugar de los productos agropecuarios por el valor de su producción, apenas superados por los cereales. Se estima que tan solo dos hortalizas contribuyen con el 50 por ciento de la producción en el mundo: la papa y el tomate, lo cual indica el enorme valor que este último cultivo representa no solo en el comercio, sino también en el sistema alimentario mundial.

Los principales productores de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) a nivel mundial son China, Estados Unidos, Turquía, Italia, Egipto e India, quienes han producido en los últimos 10 años el 70 por ciento de la producción mundial.

El tomate rojo mexicano es una de las especies agrícolas cultivadas que genera más divisas para el país, ya que cerca del 30 por ciento de la producción nacional se exporta y en los últimos diez años las exportaciones se han incrementado en un 67 por ciento, principalmente a los Estados Unidos (Hernández *et al.*, 2004). Cifras del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) indican que en el año 2007 el total de la superficie sembrada en México fue de 60,712 hectáreas, con un volumen de producción de 2 218 999 toneladas y un rendimiento promedio de 36.54 t

ha⁻¹.

Hernández (2004), citando al INEGI menciona que en el año 2000 el tomate mexicano aportó 12.8 por ciento del valor de las exportaciones agropecuarias (3,655.2 millones de dólares) y 25.4 por ciento del valor de las exportaciones de legumbres y hortalizas frescas.

Los principales estados con la mayor producción de tomate son Sinaloa, Baja California, Sonora, Michoacán y San Luis Potosí.

Para la región noreste de nuestro país, el cultivo de tomate representa una alternativa agrícola bajo condiciones semiáridas, dado que existe una superficie potencial de 150 000 hectáreas, lo anterior basado en información histórica de climas y suelos de la región lagunera (Villa *et al.*, 2001), actualmente se siembran en la región lagunera cerca de 900 hectáreas de tomate. En la región de Ramos Arizpe, Coah. la superficie de este cultivo se ha incrementado en los últimos años (SIAP-SAGARPA, 2007), además de que existe una demanda que crece día a día, por la alta rentabilidad del cultivo.

En México, como en otras partes del mundo, se consume el tomate fresco, pero también es utilizado como producto industrializado para elaborar concentrados, pastas, salsas, purés, jugos, etc., gracias a los avances tecnológicos para su procesamiento y a las modificaciones en los gustos y costumbres de las nuevas generaciones, lo que exige calidad en cuanto a su distribución y venta en fresco, determinando y condicionando mercados específicos de consumo.

En la actualidad el uso y manejo del cultivo de tomate ha sido de gran impacto a nivel nacional é internacional debido a las propiedades nutraceuticas y a su uso en la alimentación humana; en nuestro país se ha incrementado su explotación comercial bajo condiciones de campo, invernadero y casas sombra.

Grijalba-Contreras *et al.* (2004), mencionan que la producción de vegetales en México bajo condiciones de invernadero se ha incrementado durante los últimos años, indicando que el área bajo cubierta es de 1,250 hectáreas, sobresaliendo el cultivo de tomate con el 70 por ciento respecto a todos los vegetales cultivados en México.

Sin embargo la mayoría de las variedades e híbridos presentes en el mercado son generados en su mayoría por empresas semilleras que han desarrollado sus variedades en otras condiciones agroecológicas y que en condiciones de alta temperatura presentan problemas de cuajado y baja calidad de los frutos.

Los tomates han sido considerados tradicionalmente como hortalizas con un valor nutritivo medio; sin embargo su consumo *per cápita* durante todo un año (cerca de 30 kg) hace que sea un cultivo hortícola interesante en México desde el punto de vista nutritivo. En este contexto, el incremento del contenido de vitamina C y licopeno se presenta como un objetivo de mejoramiento genético prometedor, ya que estas sustancias desempeñan un papel importante en la prevención de enfermedades degenerativas, cánceres, desordenes neurológicos y de la vista. Sin embargo, la evolución y selección de fuentes de variabilidad y de genotipos elite en generaciones segregantes se ve dificultada enormemente por la elevada influencia que el ambiente

tiene en la acumulación de vitamina C y licopeno en tomate (Dumas *et al.*, 2003). Por ello, es necesario determinar las condiciones de experimentación que minimicen esta influencia del ambiente en la acumulación de vitamina C y licopeno en tomate.

El conocimiento de la heterosis y la habilidad combinatoria de materiales genéticos es esencial para lograr diversos objetivos en un programa de mejoramiento tales como: Desarrollar híbridos y variedades, incrementar variabilidad genética y evitar erosión genética. La comprensión de las bases genéticas de variación de caracteres bajo condiciones de clima semiárido es de gran importancia; Así mismo en la formación de nuevos genotipos se requiere evaluar materiales genéticos en diferentes ambientes y medir su interacción genotipo-ambiente (IGA), la cual da una idea del potencial de adaptación de los genotipos ante las fluctuaciones ambientales y es necesario para el desarrollo de un buen programa de mejoramiento.

1.1 Objetivos

Por lo anteriormente mencionado, los objetivos planteados en este trabajo fueron:

- a).- Determinar los efectos genéticos de 4 genotipos de tomate y sus cruzas directas, en tres ambientes, en variables fisiotécnicas, fenológicas, de rendimiento y calidad.

- b).- Estimar la interacción genotipo-ambiente (IGA), por el método multivariado AMMI de 25 genotipos de tomate en tres ambientes bajo variables fisiotécnicas, fenológicas, de rendimiento y calidad.

1.2 Hipótesis

Los genotipos evaluados en tres ambientes presentan diferencias en sus efectos genéticos de variables fenológicas, fisiológicas, de rendimiento y calidad y en la magnitud de su interacción genotipo por ambiente.

2.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen de la Especie

El tomate es nativo de la parte sur del continente americano, principalmente de los países de Perú y Ecuador, un progenitor silvestre que crece en estas latitudes es el tomate cereza (*Lycopersicon. esculentum* var. *cerasiforme*), aunque los tomates fueron probablemente domesticados en México.

Se menciona como sinónimo a *Solanum lycopersicum* L. Para la forma silvestre, SIIT (Sistema Integrado de Información Taxonómica) de CONABIO, que es la versión en español del ITIS (Integrated Taxonomic Information System) utilizan el nombre *Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme* (Dunal) Spooner, J. Anderson & R.K. Jansen; GRIN (Germplasm Resources Information Network) usa *Lycopersicon esculentum* Mill. var. *cerasiforme* (Dunal) A. Gray. Todavía no hay una clasificación generalmente aceptada para la variación dentro de la especie; la forma silvestre también a veces se clasifica como *Lycopersicon esculentum* var. *leptophyllum* (Dunal) D'Arcy. (CONABIO, 2005).

Actualmente se utilizan los nombres de *Lycopersicon esculentum* Mill. como sinónimo de *Solanum lycopersicum* L. y la diferencia estriba en el taxónomo que las clasificó.

Las especies silvestres se han revelado como recursos genéticos extremadamente ricos en variabilidad. Todos los genes de resistencia a enfermedades y plagas así como las fuentes de adaptación a los diferentes estreses provienen de las especies silvestres.

Algunas especies silvestres de *Lycopersicon* son autofértiles, otras son autocompatibles, algunas son autógamas, otras alógamas.

2.2 Tipos de Crecimiento

De acuerdo con Rodríguez *et al.* (2006). Por su hábito de crecimiento, los genotipos de tomate pueden ser de:

1.- Crecimiento Indeterminado. El tallo producido a partir de la penúltima yema empuja a la inflorescencia Terminal hacia fuera, de tal manera que el tallo lateral parece continuación del tallo principal que le dio origen. Estos cultivares son ideales para su establecimiento en invernaderos. Sus características principales son:

- a).- Ramificación débil
- b).- Floración y maduración distribuidas en un largo periodo
- c).- Hábito rastrero
- d).- Requiere de podas
- e).- Producción preferentemente en invernaderos
- f).- Requiere de conducción (tutorado)
- g).- Cosecha manual
- h).- Tomate para consumo en fresco

2.- Crecimiento Determinado. Las variedades de crecimiento determinado tienen forma de arbusto; las ramas laterales son de crecimiento limitado y la producción se obtiene en un periodo relativamente corto. Esta característica es importante porque permite concentrar la cosecha en un periodo determinado según sea la necesidad del mercado. En general las variedades de tomate de crecimiento determinado inician su floración entre 50 y 60 días después de ser sembrados. Sus principales características son:

- a).- Fuerte tendencia a la ramificación
- b).- Floración y maduración de frutos concentrada
- c).- Hábito arbustivo
- d).- No se efectúa poda
- e).- Producción en campo
- f).- Sin Conducción (tutorado)
- g).- Con posibilidad de cosecha mecánica
- h).- Tomate para la industria o de doble propósito

2.3 Necesidades Climáticas

El clima no es estático, ya que presenta fluctuaciones cíclicas anuales y de mayor periodicidad, así como variaciones ocasionales debidas a fenómenos naturales. Las características climáticas de una zona deben analizarse en relación con las necesidades de las plantas que se intentan cultivar, en el caso del tomate los factores climáticos que mas se deben tomar en cuenta son:

2.3.1 Temperatura

El tomate requiere climas templados a calidos, no soportan heladas, la temperatura en el ambiente para su óptimo desarrollo debe ser de de 21 a 24 °C, temperaturas menores de 15 °C y mayores de 35 °C pueden ocasionar un retraso en el crecimiento, en condiciones de alta temperatura (>35°C) por un determinado tiempo antes de la floración, ocasiona poco amarre de fruto debido a los daños ocasionados a los granos de polen y al embrión en general. La maduración y coloración del fruto son influenciados por la temperatura, así que, temperaturas menores a 10 °C y superiores a los 30 originan tonalidades amarillentas o retraso en las etapas fenológicas (Rodríguez, 2006).

Un daño muy serio por altas temperaturas (30 a 40 °C) es que la respiración se hace mas intensa, y la fotosíntesis decrece, de modo que una planta no puede vivir continuamente a 40 °C pues la planta consume mas azúcar de la que elabora (Rojas-Garcidueñas, 1984).

Polley (2002), menciona en un estudio sobre las implicaciones del cambio climático y atmosférico sobre el rendimiento y uso eficiente del agua de los cultivos, que los efectos de la temperatura en el rendimiento son complejos y que las respuestas de los cultivos a incrementos de temperatura dependen de la interacción con el CO₂. Altas temperaturas reducen la ganancia neta de carbono en plantas C₃ por incremento de la fotorespiración.

Moreira *et al.* (2003), mencionan que las variedades comerciales de tomate para consumo en fresco, sometidos a altas temperaturas presentan problemas tanto de amarre como de calidad de fruto. La poca producción de frutos bajo estas condiciones se atribuye a la baja producción, liberación y viabilidad del polen, así como a un pobre desarrollo del tubo polínico.

2.3.2 Humedad Relativa

La humedad relativa óptima oscila entre 60 a 80 por ciento, valores más altos favorecen el desarrollo de enfermedades en el follaje y agrietamiento del fruto, así como dificulta la fecundación debido a que el polen se compacta y aborta parte de las flores. El agrietamiento del fruto tiene su origen en un exceso de humedad después de un período de estrés hídrico (Rodríguez, 2006).

2.3.3 Luz

La luz solar es de suma importancia en el desarrollo del cultivo ya que la producción de biomasa esta determinada por la cantidad de radiación incidente durante el periodo de crecimiento del cultivo y de la eficiencia de radiación interceptada depende completamente el proceso de fotosíntesis (Gutiérrez, 2005).

Mc Avoy y Janes (1989), señalan en un estudio sobre la actividad fotosintética de plantas de tomate relacionada con la edad de la cobertura vegetal y el desarrollo del fruto, que para lograr mayor ganancia en peso en frutos de tomate, es necesario que la planta este bien iluminada, desde la formación de fruto hasta el estado de verde maduro,

así mismo mencionan que cuando se incrementa de 710 a 1083 mol m⁻² de luz se incrementa en forma proporcional el rendimiento y el número de frutos por planta de 414 a 560 gramos.

2.4 Mejoramiento Genético del Tomate

El cultivo de tomate es un modelo de mejoras espectaculares en producción y en otras características logradas por hibridación, aunada a una inteligente manipulación de métodos de cultivo. Los testimonios más antiguos sobre los esfuerzos para seleccionar los mejores genotipos se remontan a trabajos realizados en Europa a mediados del siglo XIX.

Una variedad ideal de tomate debería responder a las siguientes características: crecimiento indeterminado, entrenudos cortos y buena aptitud para amarre de fruto o formación de frutos partenocárpicos (gen pat2). La planta debería producir racimos regulares de 6 a 8 flores con frutos de tamaño mediano y de 3 a 5 lóculos (80 a 120 g), de color uniformemente rojo, sabrosos, compactos, aptos para el almacenaje, resistentes al transporte. La variedad debe tener una maduración uniforme y ser resistente al daño por sol y al agrietado (FAO, 2002).

Sería interesante el conseguir otro tipo que, presentando las mismas características, fuese de crecimiento semideterminado o determinado.

El uso de híbridos F₁ de tomate resultan muy interesantes en invernadero, ya que

permiten por una parte producciones más tempranas y abundantes y por otra parte facilitan la introducción bastante rápida de resistencias a distintas enfermedades, dado que los genes más importantes son de tipo dominante.

Aunque el rendimiento y la calidad resultan ser los primeros objetivos en el mejoramiento del tomate, estas características están determinadas por una serie de componentes estructurales y funcionales y de componentes fisiológicos y bioquímicos que requieren ser entendidos para observar la importancia de estos y poder enfocar el mejoramiento hacia las características adecuadas. (Murillo *et al.*, 2003).

La labor del fitomejorador consiste en desarrollar variedades mejoradas fácilmente identificables, que consistentemente se desempeñen mejor que las variedades existentes. Las características que afectan la aceptación de una variedad por parte de los agricultores incluyen el alto rendimiento, la resistencia a plagas y enfermedades, las características agronómicas, la calidad y actualmente las propiedades nutraceuticas.

Para el mejoramiento de la calidad de los frutos en lo que se refiere al aspecto nutricional de tomate, se trata en primer lugar de seleccionar cultivares muy especializados adaptados a las diversas zonas de producción y por medio de la biotecnología, mejorar los contenidos de vitamina C, Licopeno y β -caroteno que en especies silvestres como *L. cheesmanii* y *L. hirsutum* existen genes que se expresan y se pueden realizar cruzamientos con la especie cultivada *L. esculentum* (Collins *et al.*, 2006).

2.4.1 Importancia del Mejoramiento Genético del Tomate

La formación de nuevas variedades e híbridos vegetales es una actividad de enorme trascendencia para el desarrollo agrario y económico de la sociedad. Gracias a ella, es posible resolver un gran número de problemas agrícolas, cuya importancia aumenta año tras año: calidad del producto y sus propiedades nutracéuticas, rendimientos, resistencia a enfermedades, así como a condiciones adversas, tamaño, forma y colores entre otros. Según datos de la FAO, el incremento de la producción agrícola en el mundo entre 1950-1990 puede evaluarse en más de un 140 %. Pues bien, al menos el 50 % de este incremento puede atribuirse, sin lugar a dudas, a un solo factor, las nuevas variedades e híbridos vegetales (Villarreal, 1999).

La formación de híbridos F₁ son de importancia en el cultivo de tomate por un cierto número de ventajas que presentan con relación a las variedades ya establecidas: Manifiestan efectos de heterosis, hasta de 40 por ciento en relación al mejor progenitor; permiten acumular muy rápidamente cualidades como precocidad, forma y tamaño del fruto así como de resistencia a enfermedades del cultivo (Tirilly y Bourgeois, 2002)

2.4.2 Aspectos Fisiológicos

Borrego (2001), en un estudio para determinación fisiotécnica de eficiencia en el desarrollo y rendimiento de genotipos de papa, tomate y melón para agricultura sustentable en zonas semiáridas, encontró que entre los atributos de rendimiento y su relación con las variables fisiológicas hubo diferencias ($p < 0.05$) en correlaciones

simples entre las variables de frutos por parcela y fotosíntesis así como con el uso eficiente del agua fisiológico, indicando que los genotipos con mayor actividad fotosintética, y con mejor uso eficiente del agua, tuvieron mayor número de frutos y mejor rendimiento.

Polley (2002), establece que el rendimiento se ve afectado por la disponibilidad de agua y por la eficiencia en el uso de ésta, estos dos parámetros se ven afectados a su vez por la concentración de CO₂ en la atmósfera y un incremento de la temperatura. A nivel del mesófilo, un incremento proporcional en la concentración de CO₂ generalmente obtiene un incremento relativo similar en la eficiencia de la transpiración. El incremento de la transpiración resulta en un incremento de la fotosíntesis y un decremento de la conductancia estomatal. Por otro lado, el aumento de la temperatura merma el rendimiento, pero mejora el uso eficiente del agua en una alta concentración de CO₂. Incrementos de CO₂ repercutirán en incrementos del uso eficiente del agua, principalmente por incrementos de la fotosíntesis y del crecimiento de la planta.

Gutiérrez *et al.* (2005), mencionan que la variabilidad genética en la tasa de fotosíntesis entre genotipos de trigo y de otros cultivos es de interés para los fisiólogos y fitomejoradores, porque puede servir como un indicador directo de alto rendimiento, demuestran que la tasa de fotosíntesis está asociada al rendimiento de grano en ambientes mayores a 1600 $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiación y que este parámetro es altamente heredable en generaciones filiales de F₅ a F₇.

Wolf *et al.* (1990), en un estudio del efecto de las altas temperaturas sobre la fotosíntesis en papa, encontraron que altas temperaturas (40-42 °C) causaron una disminución en la fotosíntesis neta, principalmente en el mesófilo, además, encontraron que la temperatura está asociada con un decremento de la resistencia estomática, un incremento de la transpiración y una gran diferencia de temperatura entre el aire y la hoja en el cultivo de papa.

Camejo *et al.* (2005), estudiaron los efectos de la alta temperatura en la actividad fotosintética de 2 cultivares de tomate con diferente susceptibilidad al calor, encontrando que el tratamiento de calor (45 °C por 2 horas) causó importantes reducciones en la tasa de fotosíntesis neta en las plantas de tomate Campbell-28 debido a componentes no estomatales, no siendo así en plantas de tomate de la variedad Nagcarlang, mencionando que esta reducción en la tasa de asimilación de CO₂ observada en Campbell-28 fue generada por afectaciones en el ciclo de Calvin y también en la funcionalidad del fotosistema II.

Rojas-Garcidueñas (2003), menciona que la transpiración ocurre principalmente por los estomas, la apertura de estos depende de la concentración intercelular del CO₂ y de la luz de la manera siguiente:

- 1.- La luz activa el proceso de fotosíntesis en las células oclusivas del estoma que poseen cloroplastos.
- 2.- En el proceso se genera gran cantidad de adenosin-trifosfato (ATP), esta molécula activa el intercambio de iones H⁺ procedentes de la respiración mediada por iones K⁺; luego aumenta la concentración molar y rompe el equilibrio osmótico de las células del

estoma, lo cual permite que el agua fluya a las células estomáticas, abriendo los orificios

2.4.3 Aspectos del Rendimiento

Bazan *et al.* (2005), en una evaluación de cinco genotipos de tomate en condiciones de invernadero, encontraron que el cultivar Yaqui mostró el más alto rendimiento de fruto (37.5 t ha^{-1}) y el de más altura (68.8 cm), así también la mayor cantidad de frutos por planta (91) sobre los otros genotipos evaluados.

Macias-Duarte *et al.* (2005), evaluaron 14 genotipos de tomate “saladette” bajo condiciones de campo, indicando que en el norte de México es posible obtener altos rendimientos y calidad en tomate “saladette” en los ciclos de primavera e invierno bajo condiciones de campo, los resultados obtenidos muestran valores de 69.7 a 74.8 t ha^{-1} sobresaliendo los cultivares Yaqui y Azteca.

Carrillo *et al.* (2003), mencionan que por cada 33.8 kilogramos de fruto fresco de tomate se requiere un metro cúbico de agua utilizando densidades de plantación de 4 o 5 plantas por metro cuadrado, siendo esto muy importante para las zonas de escasez de agua como lo es el noreste de nuestro país.

2.4.4 Aspectos de Calidad

El desarrollo del color rojo durante la maduración se debe principalmente a la síntesis de varios pigmentos carotenoides, en tomate particularmente el licopeno. La

temperatura óptima de maduración que asegura buena calidad nutricional es de 20 ° C. A esta temperatura el desarrollo del color es óptimo y la retención de vitamina C es alta. Los tomates son sensibles a muchas alteraciones que se pueden originar por prácticas de manejo (Collins *et al.*, 2006).

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

La biosíntesis de licopeno es afectada por condiciones ambientales; si la temperatura de la fruta excede los 30 °C, la síntesis de licopeno es inhibida. Radiación directa en los frutos de mas o menos 2990 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por 1.5 a 4 horas es perjudicial para los frutos (Brandt *et al.*, 2005).

Dumas *et al.* (2003), en una revisión sobre los efectos de factores ambientales y técnicas agrícolas en el contenido de antioxidantes en tomates, mencionan que el ambiente tiene una gran influencia en el contenido de licopeno, temperaturas debajo de 12 °C inhiben la biosíntesis del licopeno y arriba de 32 °C detienen este proceso, además de que el contenido de licopeno se puede deber a factores genéticos, así como a técnicas agrícolas empleadas en el proceso de producción.

Mikkelsen (2005), en una revisión sobre el sabor del tomate y la nutrición de la planta, menciona que el sabor está determinado en su gran mayoría por la cantidad de

azúcar (principalmente fructosa y glucosa), por el contenido de ácidos orgánicos (principalmente málico, cítrico y la acidez total) y la composición de compuestos volátiles, indica que en general se ha encontrado que el gusto humano relaciona el sabor con los sólidos altamente solubles y con la relación sólidos solubles/acidez titulable. Por lo que contenidos altos de azúcar y ácidos generan un efecto favorable en el sabor.

Anza *et al.* (2006), evaluaron 5 variedades de tomate para determinar los efectos en la calidad nutricional y organoléptica y su relación con la estación de crecimiento, encontrando que altos valores de vitamina C, compuestos fenólicos y antioxidantes hidrofílicos fueron mas altos en primavera que en otoño, el contenido de sólidos solubles totales no vario en los ciclos de evaluación. En general las variedades evaluadas mostraron más calidad en el ciclo de primavera en los parámetros evaluados.

Wu and Kubota, (2005), encontraron que la conductividad eléctrica en una solución nutritiva para tomate hidropónico tiene efectos en el contenido de Licopeno, °Brix y degradación de la clorofila, indican que el licopeno mostró 29 % mas contenido en altas concentraciones de sales (2.3 a 4.5 dS m⁻¹) que en el testigo y 12% mas sólidos solubles totales en comparación con el tratamiento testigo.

Tsao and Humatoun, (2005), en una revisión sobre el papel antioxidante de fotoquímicos en diversos alimentos, concluyen que los antioxidantes pueden ayudar a prevenir diversas enfermedades degenerativas como el cáncer, diabetes, enfermedades cardiovasculares etc. Las cuales se consideran estar asociadas con los radicales libres y las especies reactivas al oxígeno (EROS), Mencionando que la vitamina E, C,

polifenólicos, licopeno y β -caroteno pueden trabajar en conjunto para incrementar su actividad antioxidante.

Guichard *et al.* (2001), en una revisión sobre la calidad del fruto de tomate y su relación con los flujos del agua y carbono, mencionan que las variaciones en la concentración de materia seca y azúcares están correlacionadas con las condiciones climáticas y que estas concentraciones se incrementan con altas radiaciones, así mismo indican una relación entre la presencia de la pudrición apical y las condiciones de estrés osmótico e hídrico que puede ser explicado por la variación en el transporte del calcio del xilema al fruto.

Kamis *et al.* (2004), investigaron los efectos de la maduración y su relación con algunos compuestos bioquímicos en la variedad de tomate Nadaffretra, encontrando diferencias en el contenido de carbohidratos y ácidos orgánicos debidos probablemente al incremento de la respiración y metabolismo respectivamente, el incremento de la reducción de proteínas se debió a la acumulación de enzimas en la maduración, mientras la vitamina C fue muy baja manifestándose una pobre calidad en los cuatro estados de maduración evaluados.

2.5 Análisis de Efectos Genéticos

Una de las técnicas bioestadísticas disponibles en el mejoramiento de plantas para la evaluación y caracterización de la variabilidad genética existente en cultivos hortícolas es la de los diseños dialélicos (Singh y Paroda, 1984).

Los diseños dialélicos han mostrado ser buenos métodos para la estimación de los efectos genéticos (Singh y Singh, 1983).

Tsaftaris *et al.* (1999), mencionan que aunque las bases genéticas de la heterosis aun se desconocen, los fitomejoradores han hecho amplio uso de este fenómeno. Los agricultores prefieren híbridos F_1 no solo por sus altos rendimientos sino también por ser mas estables en diferentes localidades y años. Los híbridos F_1 , tienen éxito a través de diferentes tipos de estrés impuestos en diferentes localidades y/o años, superando a las líneas homocigóticas en la estabilidad del desarrollo.

Moreira *et al.* (2003), en un estudio sobre la heterosis y habilidad combinatoria en 5 progenitores y sus 10 cruzas de tomate con adaptación a altas temperaturas, encontraron que los híbridos superaron a los progenitores para el rendimiento de frutos de tamaño grande y mediano sugiriendo la presencia de efectos no aditivos, mencionan que la presencia de heterosis en híbridos de tomate está asociada con un incremento de la biomasa de la planta y por ende de la producción de frutos.

Weerasinghe *et al.* (2004), en su investigación sobre la producción de híbridos de tomate para las condiciones áridas de Sri Lanka, utilizaron análisis de habilidad combinatoria, heterosis, mencionan que el análisis de varianza reveló la existencia de variabilidad genética entre los genotipos evaluados y que la habilidad combinatoria general fue significativa para todos los caracteres y la habilidad combinatoria específica fue significativa para todos los caracteres excepto para la longitud de raíz, indicando la

importancia de los efectos aditivos y de dominancia en este trabajo, mencionan también que la varianza de dominancia fue mayor que la varianza aditiva indican la posibilidad de producir híbridos superiores de tomate para las condiciones áridas de Sri Lanka.

Bhatt *et al.* (2001), en un estudio sobre heterosis y habilidad combinatoria de genotipos de tomate sobre el contenido de vitamina C y sólidos solubles a 1700 msnm, encontraron que la predominancia de los efectos no aditivos juegan un gran papel en la herencia de la vitamina C y sólidos solubles en estas altitudes.

Conti *et al.* (1988), en un estudio sobre la herencia de las características de calidad en tomate industrial, mencionan que los efectos aditivos, de dominancia y los efectos epistáticos aditivo x aditivo fueron evidentes para pH, color y sólidos solubles totales. También determinaron la heredabilidad en generaciones F₂ y F₃ encontrando que los bajos coeficientes de heredabilidad observados sugieren lo inadecuado de la selección individual en generaciones tempranas.

Hannan *et al.* (2007), al realizar un estudio sobre 10 progenitores y sus 45 cruzas posibles de genotipos de tomate en Bangladesh para analizar la heterosis de los componentes de rendimiento, encontraron diferencias altamente significativas entre genotipos para todas las características de rendimiento evaluadas, heterosis positiva altamente significativa fue encontrada para número de frutos por planta, peso promedio por planta y días a primer corte, de estos resultados tres híbridos fueron seleccionados por su alto comportamiento heterótico.

Espitia *et al.* (2006), mencionan que Gardner y Eberhart propusieron varios métodos de análisis, siendo el más utilizado el análisis II. Esta metodología puede aplicarse desde grupos parentales totalmente homocigotos ($F=1$) hasta aquellos sin ningún grado de endogamia ($F=0$). Típicamente requiere de la evaluación de los progenitores y los cruzamientos F1 directos. Este método considera sólo modelos fijos, y por lo tanto, no tiene sentido aplicarlo para la estimación de componentes de varianza genética (modelos aleatorios).

Gardner y Eberhart, (1966), mencionan que si las líneas o variedades representan un grupo fijo, las estimaciones genéticas proporcionan datos sobre un grupo específico de progenitores y sus cruzas posibles, así mismo indican que las estimaciones de los componentes de varianza podrían tener poco valor debido a que no hay una población base a la cual se podría aplicar estas estimaciones, refieren también que el análisis de varianza del método 2, modelo 1 de Griffing es el mismo que el análisis II de su modelo.

Teixeira *et al.* (1997), evaluaron 5 variedades de tomate y sus 10 cruzas posibles directas en Brasil para 10 características morfológicas y 5 relacionadas con la calidad de los frutos, por el método de Gardner y Eberhart, encontrando suficiente variabilidad entre los progenitores para la mayoría de las características evaluadas, indicando una situación favorable de aplicación para un programa de mejoramiento genético.

De la Rosa *et al.* (2006), en un estudio sobre los efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados a el bajío mexicano, encontraron para rendimiento de grano mediante el modelo II de Gardner y Eberhart que

la existencia de significancia de heterosis por ambiente indica que la heterosis cambio a través de los ambientes y que la descomposición de los cuadrados medios de la heterosis muestra que la heterosis específica por ambiente contribuyo mas a la heterosis quedando en segundo termino la heterosis varietal por ambiente, y por ultimo la heterosis promedio por ambiente que no mostró significancia estadística infiriendo que tiende a mantenerse estable a través de los ambientes, así mismo mencionan que la significancia de la heterosis varietal por ambiente indica que la heterosis de los progenitores no fue estable a través de los ambientes, pero no fue muy alta debido a que varios de los progenitores están emparentados.

Preciado *et al.* (2005), investigando los componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical, comentan que el modelo de Gardner y Eberhart puede ser útil para obtener mayor conocimiento de la variación genética y aptitud combinatoria mediante los parámetros relacionados con la heterosis promedio, heterosis varietal y heterosis específica a partir de los cuales es posible detectar y seleccionar con un mayor grado de seguridad, tanto los genotipos mas idóneos por mejorar, como la metodología mas adecuada para realizar dicho mejoramiento, así mismo mencionan que bajo el supuesto de que el factor variedad representa la parte aditiva y la cruza la no aditiva, se puede interpretar que tanto en las variedades como en las cruza estudiadas existen considerables efectos aditivos y no aditivos que pueden ser explotados tanto por esquemas de selección recurrente, como recurrente reciproca y de hibridación para capitalizar ambos efectos en las poblaciones de maíz.

Murray *et al.* (2003), mencionan que el análisis II del modelo de Gardner y Eberhart evalúa n progenitores y sus $n(n-1)/2$ cruzas, la variación entre la población (entradas) es particionada en variedades (progenitores) y heterosis. Este análisis ha demostrado ser confiable para maximizar el comportamiento de las variedades y la expresión de heterosis de sus cruzas. Los parámetros aditivos y de dominancia no pueden ser estimados debido a que están enmascarados dentro del parámetro variedad, así mismo indican que este análisis hace la partición de la heterosis en heterosis promedio, varietal y específica.

2.6 Interacción Genotipo por Ambiente (IGA)

La formación de nuevos genotipos con amplio rango de adaptación requiere evaluar los materiales genéticos en diferentes ambientes y medir su interacción genotipo-ambiente (IGA), la cual da una idea de la estabilidad fenotípica de los genotipos ante las fluctuaciones ambientales y es necesario para el desarrollo de un buen programa de mejoramiento.

Existen varios métodos para medir la interacción genotipo ambiente, destacando el empleado por Eberhart y Russell (1966) que se basa principalmente en el análisis de regresión para conocer la estabilidad de genotipos en diversos ambientes.

Los modelos estadísticos empleados para el análisis de la IGA tienen en común la suposición de la aditividad de los efectos que la componen. Todos los modelos son también lineales en sus parámetros, lo que significa que las diferencias genéticas y

ambientales contribuyen independientemente, unas de otras, para la variación fenotípica.

En los últimos años se han desarrollado nuevas metodologías multivariadas que permiten no solo describir la interacción genotipo-ambiente sino también profundizar en la naturaleza de la interacción, entre ellas destaca el modelo AMMI (additive main effects and multiplicative interaction) por su gran capacidad para interpretar un gran número de genotipos en varios ambientes, este método es actualmente de los más usados ya que consideran a los genotipos y ambientes como efectos aditivos y lineales permitiendo su estudio por medio de un análisis de varianza (ANVA), mientras que la IGA es de efectos multiplicativos que pueden ser analizados por medio de un análisis de componentes principales (Crossa *et al.*, 1990).

Ortiz é Izquierdo (1994), evaluaron nueve variedades y seis híbridos de tomate en 20 países de Latinoamérica para rendimiento comercial y peso promedio de fruto, encontrando diferencias significativas en la interacción genotipo ambiente, indicando que los genotipos tienen diferente respuesta productiva entre ambientes.

Cuartero y Cubero (1982), evaluaron 12 variedades de tomate y sus híbridos en España, encontrando que los híbridos presentaron más estabilidad y alto rendimiento que sus progenitores en diferentes ambientes.

Ortiz *et al.* (2007), mencionan que la interacción genotipo ambiente afecta el rendimiento comercial y peso promedio de fruto de variedades é híbridos de tomate, ellos utilizaron la regresión factorial (RF) y la regresión de los cuadrados medios

parciales (RCMP), herramientas poderosas actuales para analizar la interacción genotipo-ambiente en cultivos de tomate evaluados en multiambientes.

González *et al.* (2007), compararon tres métodos para estimar la estabilidad del rendimiento en nueve variedades de algodón, encontrando que el modelo AMMI fue el mejor, ya que permitió asociar la respuesta de las variedades más rendidoras en ambientes específicos y resultó ser más informativo y sencillo de interpretar.

3.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales Genéticos Empleados

El material genético que se empleó en esta investigación fueron: 25 materiales genéticos siendo siete líneas F9 y diecisiete híbridos experimentales y un híbrido comercial como testigo y como progenitor (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Materiales genéticos de tomate evaluados en tres ambientes del sureste del estado de Coahuila, 2006.

Genotipo	Descripción	Genotipo	Descripción	Genotipo	Descripción
1.- F3 x D1	Híbrido Experimental	10.- TR x F3	Híbrido comercial x Línea F9	19.- R1	Línea F9
2.- Z4 x R1	Híbrido Experimental	11.- Z4 x SXXI	Línea F9 x Híbrido comercial	20.- U2	Línea F9
3.- Z4 x L1	Híbrido Experimental	12.- F3 x CB	Línea L9x Híbrido comercial	21.- L1	Línea F9
4.- Z4 x U2	Híbrido Experimental	13.- DR x R1	Híbrido comercial x Línea F9	22.- Q3	Línea F9
5.- S1 x L1	Híbrido Experimental	14.- DR x Z4	Híbrido comercial x Línea F9	23.- DR	Híbrido comercial
6.- P3 x F3	Híbrido Experimental	15.- DR x Q3	Híbrido comercial x Línea F9	24.- TR x L1	Híbrido comercial X Línea F9
7.- Q3 x R1	Híbrido Experimental	16.- F3	Línea F9	25.- WS x F3	Híbrido comercial x Línea F9
8.- Z4 x D 1	Híbrido Experimental	17.- D1	Línea F9		
9.- Z4 x Q3	Híbrido Experimental	18.- Z4	Línea F9		

La generación de los híbridos experimentales se llevó a cabo en el año 2005, provenientes de cruzamientos dirigidos entre líneas experimentales con híbridos

comerciales y entre híbridos comerciales. La procedencia de las líneas experimentales es resultado de mas de 10 años de investigación, las cuales son sobresalientes en características fenológicas, fisiotécnicas, calidad y tolerancia a diferentes enfermedades, procedentes de cruza iniciales de los materiales Shady Lady, Bonita, Montecarlo, Celebrity , Sunny y Tequila F1 (Ramos, 2000; Borrego, 2001; Sánchez, 2003).

3.2 Cruzamientos

La obtención de los híbridos se realizó de acuerdo a las siguientes etapas:

- 1.- Se seleccionaron flores femeninas antes de la dehiscencia y con el apoyo de unas pinzas finas se eliminaron las anteras cuidando de no dañar el pistilo.
- 2.- De una flor con producción de polen, se extrajo el polen en una caja petri, cuidando de no contaminarla con polen extraño, para evitar contaminación se requirió lavado de manos con alcohol, después de cada extracción de polen.
- 3.- Con el polen colectado se cubrió el estigma, protegiendo la flor polinizada con un papel encerado y se colocó una etiqueta con los datos de la cruza realizada.

3.3 Ambientes de Evaluación

Los veinticinco materiales genéticos se evaluaron en tres ambientes (Cuadro 3.2) durante el ciclo agrícola 2006. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2007) estos ambientes se encuentran en una zona de condiciones semiáridas, con bajas precipitaciones y con temperaturas medias anuales de 18-20°C.

Cuadro 3.2. Características de los ambientes de evaluación para determinar efectos heteróticos e interacción genotipo- ambiente en tomate, 2006.

Ambiente	Evaluación	Coordenadas geográficas	Altitud (msnm)	Precipitación media (mm)	Temperatura P-V. (°C) *
A.-Rancho Nuevo	Campo	25° 31' 53" latitud N 101° 00' 50" longitud W	1473	350	34.7
B.-Providencia	Invernadero	25° 13' 60 latitud N 101° 10' 0 longitud W	1866	350	31.6
C.-Buenavista	Campo	25° 22' latitud N 101° 00' longitud W	1742	400	37.3

* Datos del Fotosintetómetro portátil Li-6200, realizados en una medición durante la etapa fenológica de fructificación.

Para el análisis de la interacción genotipo-ambiente se emplearon los 25 genotipos en los tres ambientes, y para determinar los efectos genéticos se emplearon 10 genotipos, utilizando tres líneas experimentales en generación filial F₉ (Z4, Q3, R1) y un híbrido comercial (Don Raúl) como progenitores y sus seis cruzas posibles directas de acuerdo a un diseño dialélico, que involucró a los progenitores y cruzas directas (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Diseño dialélico para la determinación de efectos genéticos en tomate de acuerdo a la metodología de Gardner-Eberhart (1966).

Genotipo	Don Raúl (1)	Z4 (2)	Q3 (3)	R1 (4)
Don Raúl (1)	Don Raúl x Don Raúl 1x1	Don Raúl x Z4 1x2	Don Raúl x Q3 1x3	Don Raúl x R1 1x4
Z4 (2)		Z4 X Z4 2x2	Z4 X Q3 2x3	Z4 X R1 2x4
Q3 (3)			Q3 X Q3 3x3	Q3 X R1 3x4
R1 (4)				R1XR1 4x4

3.4 Siembra

La siembra se realizó el 20 de Enero de 2006 para las localidades Rancho Nuevo y Providencia, mientras que para Buenavista fue el 16 de Febrero de 2006, en charolas de poliestireno de 200 cavidades rellenas de sustrato orgánico (peat-moss), el transplante se realizó el día 16 de Marzo en Rancho Nuevo, 23 de Marzo en Providencia y 04 de Abril de 2006 en Buenavista, se emplearon tres lotes de terreno en Buenavista de 6 m. de ancho por 30 m. de largo cada uno, en cada lote se hicieron 4 camas de 28 m. de largo y una distancia de 1.30 m. entre camas, en Providencia se utilizaron 5 camas con “bolis” rellenos de fibra de coco, colocando 8 plantas por “bolis”, en Rancho Nuevo, las camas se levantaron mecánicamente a una distancia de 1.80 m entre camas y una longitud de 200 m, los materiales se establecieron en 7 camas; en las localidades de campo se empleó acolchado y sistema de fertirriego por cintilla y en el invernadero el sistema fue hidropónico.

3.5 Tutorado

El tutorado se realizó a los 20 días después del trasplante, cuando las plantas tenían una altura mínima de 30 cm. En Buenavista se colocaron tubos de metal en la parte media de la cama coincidiendo con la hilera de plantas, la separación entre tubos fue de 2 m., en los que se fue colocando dos hilos de plástico (rafia) a 20 cm. de altura para evitar el contacto de las partes aéreas de las plantas con el suelo. En Providencia, consistió en amarrar hilos de plástico a la estructura del invernadero por la que se fueron guiando las plantas. En Rancho Nuevo, se colocaron tutores de madera a una distancia de 3 m. entre cada uno y 3 niveles de hilos de plástico colocados en forma horizontal a lo largo de los surcos.

3.6 Podas

Las podas se realizaron a los 20 días después del trasplante, continuándolas cada 15 días en las localidades hasta la finalización del ciclo de cultivo en tomates indeterminados y en tomates determinados sólo hasta el comienzo del período de fructificación.

3.7 Riegos y Fertilización

El riego se llevó a cabo 2 veces por semana al inicio del ciclo, aumentándose a tres veces conforme el cultivo iba desarrollándose.

La fertilización fue mediante la fórmula 400-400-200-100 Ca. en Buenavista, la aplicación del nitrógeno se hizo en dos partes, la primera durante la formación de las camas antes del transplante aplicando en banda a una profundidad de 15 cm. con la dosis 200-400-200-100, la segunda aplicación se realizó 40 días después del transplante de la misma forma que la primera con la dosis 200-00-00-00.

Las fuentes que se utilizaron para el ambiente Buenavista fueron:

Sulfato de Amonio (20.5-00-00).

Fosfato Diamónico (18-46-00).

Sulfato de Potasio (00-00-50).

Nitrato de Calcio (15.5-00-00-19.9).

En Rancho Nuevo y Providencia la dosificación de los nutrientes y el agua se llevó a cabo de acuerdo a las normas técnicas de cada empresa, “Magaña’s Ranch” para Rancho Nuevo e “Invernaderos Santa María” para Providencia.

3.8 Variables Evaluadas

Variables Fenológicas: Días a Primer Corte (DPC), Días a Ultimo Corte (DUC), Días en Corte (DC) en días (d) y Número de Cortes (NC) en Número (No)

Variables de Rendimiento (cuantitativas): Diámetro Polar (DP) en centímetros (cm), Diámetro Ecuatorial (DE) en centímetros (cm), Número de Frutos (NOFRT), Peso Promedio de Fruto (PPF) en gramos (g), Rendimiento (REND) en toneladas por hectárea ($t\ ha^{-1}$).

Variables de Rendimiento (cualitativas): Color (COLOR), Grados Brix (BRIX) en por ciento (%), Potencial de Iones de Hidrógeno (pH), Vitamina C (VITC) en miligramos en cien gramos de fruto (mg/100g) y Licopeno (LICOP) en miligramos en cien gramos de fruto (mg/100g).

Variables Fisiológicas: Temperatura de la Hoja (THOJA) en grados centígrados (°C), Asimilación de CO₂ (FOTO) en micromoles de CO₂ fijados por metro cuadrado de hoja por segundo ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Conductancia Estomatal (CE) en $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, Resistencia estomacal (RE) en $\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$, Transpiración (TRANS) en moles de agua evaporada por metro cuadrado de hoja por segundo ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y Uso Eficiente del Agua Fisiológico (UEAF) en $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por $10 \text{ L H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Variables Microclimáticas: Luz Incidente (DFFF) en $\mu\text{mol de Fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, Concentración de CO₂ (CO2) en ppm, Temperatura del Ambiente (TAIR) en °C y Humedad Relativa (HR) en %.

3.9 Toma de Datos

Para los días a primer corte se realizó un conteo de días a partir de la fecha de transplante y el inicio de cosecha de cada uno de los genotipos, y así determinar su precocidad, para determinar los genotipos más precoces o tardíos se contaron los días al último corte y días en corte así como el número de cortes

Después del último corte, se procedió a obtener el rendimiento total de cada genotipo, esto se obtuvo sumando el peso de cada una de las cosechas realizadas. El peso total que se obtuvo se dividió entre el número de plantas cosechadas, en este caso fueron tres, obteniéndose así el rendimiento de cada planta. Para obtener el rendimiento en toneladas por hectárea, se multiplicó el rendimiento por planta por la densidad de plantación. El peso promedio de fruto se obtuvo dividiendo el peso total obtenido entre el número de frutos cosechados.

Para las variables fisiológicas se utilizó un equipo LI-6200 (LICOR, Nebraska, Lincoln, USA) que mide el intercambio del CO₂ de la atmósfera con el área foliar del cultivo, y la tasa de transpiración. La eficiencia en el uso de agua fisiológico se determinó por la relación molar entre la asimilación de CO₂ y la transpiración, tomando estos datos cuando el cultivo se encontraba en la etapa fenológica de fructificación, seleccionando una planta al azar, en el tercio medio del follaje.

3.10 Pruebas de Calidad de Frutos

Entre el cuarto y quinto corte se seleccionaron tres frutos al azar de cada genotipo. Los frutos se etiquetaron y se colocaron en bolsas de papel para su maduración completa. Una vez que presentaron una maduración uniforme se realizaron las pruebas de calidad de fruto, para determinar pH, Grados Brix, vitamina C y Licopeno, bajo la siguiente metodología.

3.10.1 Determinación de Sólidos Solubles (BRIX) y pH

- Se molió cada fruto en un vaso de precipitado y con el Refractómetro Portátil (ATAGO 01018) se determinó Grados Brix, colocando una pequeña muestra en el área de lectura.
- De la misma muestra se determinó el pH con el potenciómetro Conductronic modelo 10.

3.10.2 Determinación de Vitamina C

- Se pesaron 20 gramos de muestra de fruto molido de cada genotipo, y se le agregaron 10 ml de ácido clorhídrico al 2 %.
- La mezcla de cada vaso se llevó a un agitador Vortex por un tiempo de 15 minutos.
- Una vez agitada la muestra, se filtró el contenido en matraces Erlenmeyer de 500 ml. de capacidad,
- De esta muestra se tomaron 5 ml. y se aforó a 100 ml. con agua destilada.
- Por último, se procedió a titular con el reactivo de Thielman, hasta obtener la coloración rosa permanente, tomando la cantidad de reactivo utilizado. La ecuación que se utilizó para determinar Vitamina C es la propuesta por Chechetkin *et al.* (1984):

$$X = \frac{(a)(0.088)(100)(100)}{(b)(c)}$$

En donde:

X = Contenido de Vitamina C en mg por 100 g fruto.

0.088 = Miligramos de ácido ascórbico equivalente a 1 ml. de reactivo Thielman.

a = ml. del reactivo de Thielman gastados.

b = Volumen en ml. de la alicuota valorada.

100 = Volumen en ml. del filtrado de Vitamina C en HCl.

c = Peso de la muestra.

3.10.3 Determinación de Licopeno

- Se licuó el tomate y se extrajo 3 gramos. de muestra, y se colocó en un tubo de ensaye.
- Se agregó 3 ml de buffer fosfato y se agitó por 15 minutos.
- Se eliminó el excedente de muestra (3 ml) y se colocó en tubo de ensaye al que se le agregó 6 ml de hexano-acetona (3:2) y se agitó bien.
- Se centrifugó por 5 minutos a 5000 revoluciones por minuto (rpm).
- Se tomó 1 ml de la muestra y se colocó en las celdillas, identificando cada una de ellas.
- Se agregó 2 ml de acetona a cada una de las celdillas.
- Se leyeron a 502 nm de absorvancia en un espectrofotómetro (Spectronic 21).

(Davis *et al.*, 2003)

3.11 Diseño Experimental

El diseño experimental que se utilizó en las tres localidades de evaluación correspondió a un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones para las características de rendimiento y fisiológicas, la unidad experimental constó de tres plantas intermedias con competencia completa. Para las variables de calidad se utilizó el mismo diseño experimental seleccionando tres frutos al azar de cada genotipo en el cuarto o quinto corte sobre los cuales se efectuaron las pruebas de calidad en laboratorio.

3.12.- Análisis Estadístico

El análisis estadístico se efectuó como un análisis combinado sobre localidades, se consideró a los genotipos como un efecto fijo y a los ambientes como efecto aleatorio. Cuyo modelo se representa como:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + R_j (A_i) + G_k + A_i G_k + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor observado del k -ésimo genotipo en la j -ésima repetición anidada en el i -ésimo ambiente

μ = Efecto de la media general

A_i = Efecto del i -ésimo ambiente

$R_j(A_i)$ = Efecto de la j-ésima repetición anidada en el i-ésimo ambiente

G_k = Efecto del k-ésimo genotipo

$A_i G_k$ = Efecto de la interacción del i-ésimo ambiente del k-ésimo genotipo

E_{ijk} = Efecto del error experimental

3.12.1 Prueba de Medias

La prueba de comparación de medias se realizó para genotipos y ambientes de acuerdo con la prueba de Tukey al nivel de probabilidad al 0.05 por ciento.

3.12.2 Análisis AMMI

El análisis multivariado AMMI se analizó mediante el programa propuesto por Vargas y Crossa (2000), el cual parte del siguiente modelo, según Zobel *et al.* (1988).

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + R_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Valor observado del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente

μ = Media general

g_i = Media del i-ésimo genotipo menos la media general

a_j = media del j-ésimo ambiente menos la media general

λ_k = Raíz cuadrada del valor característico del k-ésimo eje del análisis de componentes principales (ACP)_k

$\alpha_{ik} \gamma_{jk}$ = Calificaciones del ACP para el k-ésimo eje del i-ésimo genotipo y el j-ésimo ambiente

R_{ij} = Residual del modelo

3.12.3 Análisis de Efectos Genéticos

El análisis general de efectos genéticos utilizado fue el análisis II de Gardner y Eberhart (1966). En este análisis el modelo de los híbridos o poblaciones (Y_j o $Y_{j'}$) y las cruzas ($Y_{jj'}$) se expresan de la manera siguiente:

$$Y_j = \mu v + v_j$$

$$Y_{j'} = \mu v + v_{j'}$$

$$Y_{jj'} = \mu v + 1/2 (v_j + v_{j'}) + h_{jj'}$$

Donde:

μv = Media de los padres.

v_j y $v_{j'}$ = Efecto de los híbridos j y j'

$h_{jj'}$ = Efecto de la heterosis correspondiente a la cruce j y j'

El efecto de heterosis fue subdividido de la manera siguiente:

$$h_{jj'} = h + h_j + h_{j'} + s_{jj'}$$

Donde:

h = heterosis promedio.

h_j = heterosis varietal contribuida por la variedad j

$h_{j'}$ = heterosis varietal contribuida por la variedad j'

$s_{jj'}$ = efecto de la heterosis específica correspondiente a la cruce j y j'

Por lo que el análisis combinado a través de la ambientes se representa de la forma siguiente:

$$Y_{jj'ik} = \mu + A_i + r_k(A_i) + g_j + v_j + h + h_j + h_{j'} + s_{jj'} + v_j \cdot A_i + h \cdot A_i + h_j \cdot A_i + h_{j'} \cdot A_i + s_{jj'} \cdot A_i + e_{ijk}$$

Todos estos análisis fueron realizados en el programa SAS 8.12 (SAS Institute) para el caso del análisis de interacción genotipo-ambiente se utilizaron las rutinas empleadas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, Vargas y Crossa, 2000) y para el análisis de efectos genéticos se emplearon las rutinas del programa DIALLEL-SAS05 (Zhang *et al.*, 2005), las gráficas se realizaron empleando el programa estadístico Statistica 6.1 (Statistica Soft).

4.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis Combinado

4.1.1 Variables Fenológicas

En el cuadro 4.1 se presentan los resultados del análisis combinado de las variables fenológicas, observando diferencias ($P \leq 0.05$) para genotipos solo en los días a primer corte (DPC), indicando que los genotipos se comportaron en forma diferente a través de los tres ambientes de evaluación, permitiendo identificar a los genotipos precoces.

Entre ambientes se encontró diferencia ($P \leq 0.01$) para todas las variables fenológicas, indicando que los ambientes tuvieron un efecto diferencial sobre las variables fenológicas, mostrando que los ambientes de evaluación fueron diferentes dadas las características de producción (campo e invernadero) en los cuales se desarrollo el presente trabajo.

En la interacción genotipo por ambiente no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las variables fenológicas lo que nos indica que los genotipos se comportaron en forma similar en los tres ambientes de evaluación.

Cuadro 4.1. Cuadrados medios y significancia para variables fenológicas evaluadas en veinticinco genotipos de tomate en tres ambientes. CV, Rango y Media. 2006.

FV	GL	DPC	DUC	DC	NC
Amb	2	4022.8**	3219.6**	3940.18**	236.77**
Rep(Amb)	2	64.62	2.66	16.64	0.009
Gen	24	135.7*	11.67	166.21	0.98
GenxAmb	48	116.07	13.89	119.67	0.77
Error	72	62.92	13.32	86.85	0.60
CV		11.12	3.04	19.13	11.21
Media		71.28	119.98	48.69	6.93
Máximo		82.50	121.33	56.83	7.50
Mínimo		63.66	117.50	37.16	6.16

*,** Significativo a 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad respectivamente.

De acuerdo a la prueba de medias (cuadro AP 7.1) se observó que el genotipo mas precoz fue el WSxF3 (63.6 días a primer corte) y el mas tardío fue la línea experimental R1 (82.5 días), en los días a último corte (DUC) los genotipos fueron iguales estadísticamente, reflejando que en el número de cortes (NC) en promedio fuera de 7 y el genotipo con mayor número de cortes fue WSxF3 (7.5).

Guerra *et al.* (1999) encontraron que el cultivar Floradade tuvo el mas alto rendimiento (2.7 kg./m²) y 66 días a primer corte (DPC), recomendándolo para su producción en campo por su habito determinado y su uso para la industria procesadora, Montecarlo lo recomiendan para su explotación en invernaderos debido a su habito indeterminado y buen rendimiento, permitiendo mas cortes por planta, con 70.5 días en corte (DC).

4.1.2 Variables de Rendimiento

En el cuadro 4.2 se muestra que, para las variables número de frutos (NOFRT), diámetro polar (DP), diámetro Ecuatorial (DE) y peso promedio de fruto (PPF) hubo diferencias ($P \leq 0.01$), indicando variabilidad presente entre los genotipos, no reportando significancia para el rendimiento (REND). Todas las variables mostraron diferencias ($P \leq 0.05$) para la fuente de variación ambientes (AMB) excepto NOFRT la cual mostró diferencias ($P \leq 0.01$) y es que las principales causas de variación entre ambientes se debe a lo contrastante de las condiciones a las cuales se sometió a los genotipos (campo é invernadero), coincidiendo estos resultados con lo encontrado por Cuarteto y Cubero (1982).

Cuadro 4.2.- Cuadrados medios y significancia para variables de rendimiento evaluadas en veinticinco genotipos de tomate en tres ambientes. CV, Rango y Media. 2006.

FV	GL	NOFRT	DP	DE	PPF	REND
Amb	2	3883.22**	11.75*	15.17*	49547.67*	17548.29*
Rep(Amb)	2	18.05	0.32	0.90	11413.9**	503.97
Gen	24	66.68**	0.89**	1.80**	5022.85**	339.56
GenxAmb	48	23.03	0.44	0.58*	964.41	230.94
Error	72	17.69	0.26	0.31	671.03	268.75
CV		29.82	8.98	9.99	23.18	37.50
Media		14.10	5.68	5.65	111.74	43.71
Máximo		24.01	6.34	6.47	160.07	58.63
Mínimo		9.33	4.94	4.55	60.22	31.24

*,** Significativo a 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad respectivamente.

La ausencia de diferencias significativas en el rendimiento de los genotipos probablemente se debió al tamaño de muestra, ya que el número de repeticiones en este trabajo fue de dos. Kuehl (2001) menciona que el número de repeticiones generalmente

deberá aumentarse cuando; la varianza y el coeficiente de variación (CV), aumentan y el tamaño de la diferencia entre dos medias disminuye, además de que en la partición de la suma de cuadrados la mayor parte se concentro en los ambientes, por lo que en trabajos futuros se deberá incrementar el número de repeticiones para que el error experimental disminuya y que los coeficientes de variación no sean tan altos. Altos coeficientes de variación indican un error experimental alto (variación) en el experimento. (Guerra *et al.*,1999).

En la interacción genotipo por ambiente (IGA) no se encontró significancia en la mayoría de las variables de rendimiento, excepto en el diámetro ecuatorial (DE) que mostró diferencia ($P \leq 0.05$) indicando que los frutos presentaron formas diversas a través de los ambientes y es que en la evaluación se contemplaron genotipos que presentan frutos redondos, alargados, acorazonados. En general podemos afirmar que al no existir diferencias en la interacción genotipo por ambiente los genotipos se comportaron de manera similar en los ambientes de evaluación para las variables de rendimiento, esto es debido a que en general los ambientes de evaluación no tuvieron un efecto en la IGA, Cuarteto y Cubero (1982) no encontraron diferencias significativas en la interacción genotipo por ambiente en el rendimiento total de 12 genotipos de tomate evaluados en cuatro ambientes, mencionando que el uso de invernadero y campo abierto no tuvieron un efecto diferencial en la interacción.

En la prueba de medias (cuadro A.2) el mejor genotipo para NOFRT fue Don Raúl (DR) con 24 frutos en promedio, para DP y DE (6.3 y 6.4 respectivamente) el mejor genotipo fue F3, la relación DP-DE nos indica que la forma de cada genotipo

siendo para este material una forma redonda, diámetros mas bajos en DE indica que los genotipos son de una forma tipo Saladette. Para PPF el mejor genotipo fue el hibrido experimental S1xL1 con 160 g en promedio, seguido por las líneas F3 y R1 (139.8 y 143.4 g respectivamente), para REND el mejor genotipo fue el R1 con 58.6 t ha⁻¹ así como los genotipos Q3 y S1xL1 (53.9 y 56.7 t ha⁻¹ respectivamente), el mejor ambiente para REND fue Providencia con 64.9 t ha⁻¹ (cuadro A.7), El rendimiento promedio fue de 43,71 t ha⁻¹, siendo superior a lo reportado en el 2007 que fue de 36.54 t ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2007).

4.1.3 Variables Microclimáticas

Para las variables microclimáticas dadas por el equipo LI-6200, podemos observar en el Cuadro 4.3 que únicamente para temperatura del aire (TAIR) se presentaron diferencias ($P \leq 0.05$) entre ambientes, indicando la variabilidad de los ambientes en los cuales se evaluaron los genotipos, la media de la temperatura en este trabajo fue alta (34.6 °C). Entre ambientes (AMB) solo se presentaron diferencias ($P \leq 0.05$) en la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (DFFF) y humedad relativa (HR), estas diferencias, se deben probablemente a que en el ambiente Providencia por las condiciones de invernadero (menor entrada de luz ,498.5 $\mu\text{mol de fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) y alta humedad relativa (40.5 %) fueran determinantes sobre los otros ambientes, como se observa en el cuadro A.P. 7.8. Un daño por altas temperaturas (30 a 40 °C) es que la respiración se hace mas intensa, y la fotosíntesis decrece, de modo que una planta sometida a mas de 40 °C no se desarrolla pues su consumo de energía es alto (Rojas-Garcidueñas, 1984).

Cuadro 4.3. Cuadrados medios y significancia para variables microclimáticas evaluadas en veinticinco genotipos de tomate en tres ambientes. CV, Rango y Media. 2006.

FV	GL	DFFF	TAIR	CO2	HR
Amb	2	20820344*	412.29*	36629.46	7747.60*
Rep(Amb)	2	1491423.4*	111.83**	147866.24**	78.40
Gen	24	162332.6	2.66	2581.92	45.50
GenxAmb	48	18740.2	1.46	4401.67	73.82
Error	72	120394	1.11	3994.89	55.30
CV		29.22	3.04	16.92	23.35
Media		1235	34.60	373.36	31.83
Máximo		1493	35.01	415.53	37.67
mínimo		897	31.43	336.28	27.91

*,** Significativo a 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad respectivamente

No hubo significancia estadística para esta variables en la interacción genotipo por ambiente suponiendo con esto que los genotipos se comportaron en forma similar en las áreas donde se establecieron.

Ortiz *et al.* (2007) analizaron genotipos de tomate en multiambientes, encontrando que para rendimiento comercial, las variedades son favorecidas por los ambientes en condiciones de altas temperaturas durante el desarrollo del cultivo y que los híbridos responden bien en ambientes con alto pH del suelo.

4.1.4 Variables Fisiológicas

De acuerdo al análisis de varianza combinado sobre las variables fisiológicas, se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) entre GEN para la variable Temperatura de la hoja

(THOJA) y es que de acuerdo a su tipo de crecimiento los genotipos varían su temperatura de acuerdo a su cobertura foliar. Entre AMB se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) para resistencia estomática (RE) y conductancia estomática (CE), indicando que las condiciones climáticas como radiación, humedad relativa tuvieron un efecto en la apertura y cierre de los estomas para eficientar su metabolismo. (Cuadro 4.4), siendo esto de gran importancia ya que los estomas juegan un papel importante en los flujos transpiratorios y en la asimilación de CO_2 , factores que determinan una eficiente fotosíntesis (Rojas-Garcidueñas, 2003).

La falta de significancia de la fotosíntesis y uso eficiente de agua fisiológico se debió probablemente al alto coeficiente de variación, influenciado por el hecho de que la toma de datos con el aparato de fotosíntesis se realizó en una sola ocasión en la etapa fenológica de fructificación y en la parte media de las plantas, siendo estos procesos continuos durante el día y en el cual se involucran diversos factores externos e internos, por lo que se deberá realizar en trabajos posteriores una metodología que permita comparar todos estos procesos fisiológicos a lo largo del día y en diferentes etapas fenológicas y con un mayor número de repeticiones para disminuir la variación existente.

No se mostró diferencia en la IGA para ninguna de las variables fisiológicas por lo que se dedujo que los ambientes en general no mostraron diferencial alguno entre los genotipos evaluados.

Cuadro 4.4. Cuadrados medios y significancia para variables fisiológicas evaluadas en veinticinco genotipos de tomate en tres ambientes. CV, Rango y Media. 2006.

FV	GL	THOJA	FOTO	RE	CE	TRANS	UEAF
Amb	2	783.89	154.03	39.46*	10.65*	255.81	12.92
Rep(Amb)	2	105.88**	298.57*	0.29	0.26	142.33**	35.07*
Gen	24	5.06*	47.73	1.06	0.25	8.19	2.87
GenxAmb	48	4.40	57.34	1.46	0.34	15.88	2.65
Error	72	2.85	52.64	0.65	0.38	9.88	3.22
CV		5.06	72.08	53.27	57.41	28.72	79.62
Media		33.41	10.06	1.52	1.08	10.92	2.25
Máximo		35.01	15.93	2.41	1.48	13.51	3.51
mínimo		31.43	4.99	0.87	0.69	8.37	0.95

*, ** Significativo a 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad respectivamente.

A pesar de no encontrar diferencias significativas en las variables fisiológicas, estas son de gran importancia en el desarrollo y en la producción de biomasa del cultivo, ya que el rendimiento está en función de los procesos fisiológicos, sin embargo es necesario decir que existen factores externos é internos que regulan en mayor o menor grado el proceso fotosintético, de los factores externos están la temperatura, humedad relativa, radiación solar, y en los internos se encuentran la actividad de la enzima Rubisco, contenido de clorofila etc., tal como lo indica Gutiérrez (2005).

En el cuadro A.9 se pudo ver que el ambiente con mayor asimilación neta (FOTO) fue Rancho Nuevo ($11.7 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), pero también el de mayor TRANS ($13.4 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) lo que se refleja en un menor valor de UEAF y esto se debió a las condiciones climáticas que prevalecieron en este ambiente de alta temperatura ($34.7 \text{ }^\circ\text{C}$) y baja humedad relativa (37.9%).

Las condiciones climáticas afectan de manera sustancial el proceso fisiológico de la planta y esto tiene un efecto en el rendimiento total, en este trabajo la temperatura promedio durante el desarrollo del cultivo fue de 34.5 °C. Allen y Rudich (1978) indican que las altas temperaturas (más de 34 °C) provocan daños en la flor y por ende en el número de frutos cuajados, así como en la calidad de los frutos. Ortiz *et al*, (2007) mencionan que es posible seleccionar genotipos estables de tomate, pero se requiere materiales genéticos de avanzado desarrollo en un programa de mejoramiento, evaluados en diversas temporadas para identificar genotipos estables con alto rendimiento.

4.1.5 Variables de Calidad

En el Cuadro 4.5 se presentan las variables de calidad con la significancia encontrada en sus fuentes de variación del análisis combinado, se pueden observar diferencias ($P \leq 0.05$) para casi todas las variables en la fuente de variación ambientes (AMB), excepto en COLOR. Entre genotipos (GEN) se observan diferencias ($P \leq 0.01$) para todas las variables de calidad, indicando que los genotipos se comportaron en forma diferente en cuanto a sus contenidos nutraceuticos.

Respecto a la interacción genotipo por ambiente (IGA) las variables Color del fruto (COLOR), pH (pH), Sólidos solubles (BRIX), Licopeno (LICOP) y Vitamina C (VITC) resultaron altamente significativas, la media de pH fue de 4.47, y el contenido total de sólidos solubles fue de 4.63 lo que coincide con los resultados de Baldwin *et al*. (1998), que indicaron que los tomates deben tener un contenido en sólidos solubles de

entre 4 y 6 grados Brix y un pH entre 4 y 5, así mismo consideran que la relación entre los sólidos solubles y la acidez son un buen indicador para el sabor y el aroma de los tomates y son los parámetros más importantes para la industria del tomate.

Con respecto al contenido de licopeno y vitamina C se puede observar que la media fue de 5.18 mg/100g y 15.86 mg/100 g respectivamente, las cantidades máximas de licopeno fueron de 11.88 mg/100g en el híbrido experimental Q3xR1 y para la cantidad de Vitamina C el máximo contenido fue de 18.5 mg/100g en la línea F3 (Cuadro A.5), el resultado muestra que el efecto de los diversos factores que se presentaron en las tres localidades influyo de manera directa en la expresión de estos caracteres, coincidiendo con Dumas *et al.*(2003) que mencionan que las condiciones de producción, temperatura, luz, fertilización, salinidad e irrigación afectan el desarrollo de estos antioxidantes en plantas de tomate .

Cuadro 4.5. Cuadrados medios y significancia para variables de calidad evaluadas en veinticinco genotipos de tomate en tres ambientes. CV, Rango y Media. 2006.

FV	GL	COLOR	pH	BRIX	LICOP	VITC
Amb	2	0.72	0.17*	2.38*	660.85*	20.20*
Rep(Amb)	2	0.48	0.013	0.16	35.22	3.56
Gen	24	0.95**	0.034**	1.29**	33.79**	21.92**
GenxAmb	48	0.59**	0.023**	0.96**	22.29**	20.55**
Error	72	0.21	0.004	0.21	13.55	7.15
CV		19.29	1.48	9.97	71.02	16.86
Media		2.40	4.47	4.63	5.18	15.85
Máximo		2.88	4.58	5.26	11.88	18.53
mínimo		1.77	4.34	3.81	2.67	12.69

*,** Significativo a 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad respectivamente.

En la Figura 4.1 se observa el comportamiento del rendimiento y dos variables de calidad como lo son el licopeno y la vitamina C, mostrando los genotipos que sobresalen en estas variables, siendo para rendimiento Q3xR1 y Z4xQ3, para licopeno Q3xR1 y R1 y para vitamina C Z4xQ3, F3 y DRxR1.

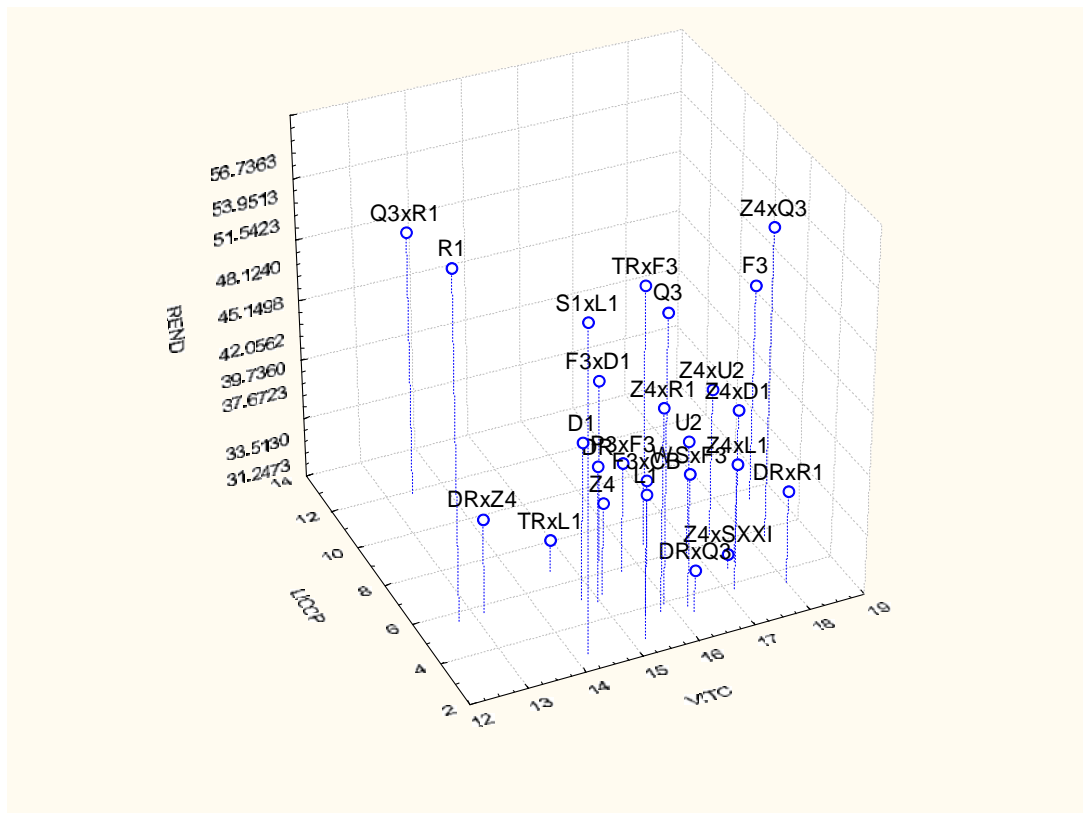


Figura 4.1. Comportamiento medio de los genotipos en tres ambientes de evaluación para Rendimiento (REND), Licopeno (LICOP) y Vitamina C (VITC).

Se realizó un análisis exploratorio de componentes principales, el cual permite reducir la dimensionalidad de los datos de un gran número de variables, reduciéndolas en dos o tres componentes principales que expliquen mas del 75 por ciento de la variación existente (Broschat, 1979) en este trabajo; cinco componentes explicaron el

74.75 por ciento de la variación existente, con un valor característico de 1.29 en donde las variables que mas contribuyeron a explicar la mayoría de la variación, fueron: DPC, PPF, REND, FOTO, TRANS, UEAF, BRIX, LICOP y VITC. Guerra *et al.* (1999) mencionan que la transpiración, Numero de días a cosecha, Numero de frutos por planta y fotosíntesis fueron los componentes mas importantes del rendimiento en tomate, ya que mostraron efectos directos positivos y altos, mostrando mejores correlaciones con el rendimiento, recomendando estos parámetros como posibles criterios de selección en un programa de mejoramiento para obtener variedades de tomate tolerantes a altas temperaturas.

De estas nueve variables solo se presentaron diferencias significativas para la IGA en pH, BRIX, LICOP y VITC realizando el análisis de la IGA por el modelo AMMI de las variables BRIX, LICOP y VITC, además del REND por ser esta la variable mas importante en cualquier programa de mejoramiento y que muchos de los factores externos e internos influyen de manera especial sobre el rendimiento final del cultivo de tomate.

4.2 Análisis de la Interacción Genotipo por Ambiente (IGA)

Al realizar el análisis AMMI, se encontró que solo dos componentes principales explican cerca del 100 por ciento de la variación existente entre los 25 genotipos evaluados para BRIX, LICOP y VITC, siendo significativos ($p < 0.01$) para los dos componentes principales (Cuadro 4.6). Crossa *et al.* (1990) mencionan que el modelo AMMI es de gran utilidad cuando los valores del primer componente muestran valores

cercanos o mayores al 60 por ciento de la variación, indicando que el modelo explica con precisión la IGA de cada genotipo y de los ambientes evaluados.

Cuadro 4.6. Cuadrados medios del análisis AMMI de los veinticinco genotipos de tomate en tres ambientes de evaluación. 2006.

FV	GL	BRIX	VITC	LICOP	REND
Genotipos x Ambiente	48	0.96**	20.55**	22.29*	
CP1	25	2.62**	53.56**	65.67**	
CP2	23	1.82**	41.87**	37.18**	
Error Experimental	144	0.21	7.15	13.55	

*,** Significativo a 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad respectivamente.

Parga *et al.* (2005) en el cultivo de papa, mencionan que el AMMI normalmente explica mayor cantidad de variación con dos o tres componentes principales que aquella que explica el análisis de varianza en su fuente de variación correspondiente. Los resultados en el presente estudio indican que solo el primer componente (CP1) explica el 60.95, 58.16 y 65.75 de la variación existente de la suma de cuadrados de la interacción de las variables BRIX, VITC y LICOP respectivamente, coincidiendo con Cornelius (1993) que indicó que el modelo AMMI es aplicable cuando el primer componente captura mas del 60 por ciento de la variación existente, para la variable rendimiento (REND) se observó que el primer componente explicó el 60.5 por ciento de la varianza, aunque esta variable no mostró significancia en la IGA, es de las mas importantes en un programa de mejoramiento ya que los productores buscan en primer lugar genotipos con buen potencial de rendimiento aunado a otras características de interés como calidad, resistencia a factores bióticos y abióticos, etc.

En el Cuadro 4.7 se resumen los valores escalares de los componentes principales y la media para cada ambiente y genotipo, el signo y la magnitud del valor indican la interacción y el sentido de la misma, observando el rendimiento en toneladas por hectárea mostrando que los progenitores que obtuvieron el mayor rendimiento fueron: R1 y Q3 (58.6 y 53.9 t ha⁻¹ respectivamente) así como los híbridos S1xL1, Q3xR1. Z4xQ3, TRxF3 que mostraron rendimientos mayores a 50 t ha⁻¹ (Cuadro A.2), en lo que respecta a los ambientes el de mayor rendimiento fue Providencia con 64.95 t ha⁻¹ (Cuadro A.7) a pesar de que en este trabajo el rendimiento no fue estadísticamente significativo para la IGA, los valores que muestra son de suma importancia para ser utilizados en un programa de mejoramiento para las condiciones del norte de México, Cuarteto y Cubero (1982) no encontraron diferencias significativas en el rendimiento total para la interacción genotipo-ambiente de 12 variedades de tomate y sus híbridos, mencionando que algunos de ellos pueden ser promisorios genotipos con valor comercial para la zona de Málaga, España.

En este cuadro podemos observar la media de los ambientes en donde Providencia mostró el mas alto rendimiento (64.95 t ha⁻¹) seguido de UAAAN (36.65 t ha⁻¹) y por ultimo Rancho Nuevo con 29.54 t ha⁻¹.

González (2007), menciona que el modelo AMMI es un modelo de gran utilidad ya que permite asociar la respuesta de la variedades mas rendidoras en ambientes específicos. Por otra parte resulta ser mas informativo y mas sencillo de interpretar que otros modelos.

Cuadro 4.7. Medias y valores escalares de los componentes principales de los 25 genotipos y tres ambientes, para REND, BRIX, VITC y LICOP.

Genotipo	REND	CP1	CP2	BRIX	CP1	CP2	VITC	CP1	CP2	LICOP	CP1	CP2
1.- F3 x D1	45.14	-0.95	-1.10	4.84	0.53	0.47	15.47	0.12	-0.34	6.58	2.06	-0.79
2.- Z4 x R1	46.91	-1.85	-0.08	4.46	0.04	0.26	15.78	-0.51	-0.15	3.64	0.35	-0.20
3.- Z4 x L1	40.47	-0.41	-0.39	4.46	-0.09	-0.48	17.15	-1.16	0.45	3.77	-0.15	-0.29
4.- Z4 x U2	42.32	1.54	-1.12	4.52	0.79	0.16	17.45	-0.61	-0.56	6.40	-0.55	1.29
5.- S1 x L1	56.73	1.90	-2.63	3.81	-0.18	-0.39	14.23	0.68	-0.15	2.74	-0.31	-0.19
6.- P3 x F3	39.20	0.82	0.45	5.00	0.27	-0.35	15.68	-0.06	1.67	5.81	-0.59	-0.23
7.- Q3 x R1	51.99	3.94	0.12	4.52	0.39	-0.69	13.44	-0.28	1.48	11.88	1.17	2.23
8.- Z4 x D 1	42.78	0.22	-0.74	5.20	-0.13	-0.42	17.49	-1.71	-0.62	4.93	-1.11	0.79
9.- Z4 x Q3	55.59	-0.54	-1.10	4.08	0.35	0.04	18.27	-0.45	0.41	5.69	0.42	-0.30
10.- TR x F3	51.54	-2.25	-2.37	4.49	-0.20	-0.03	16.34	0.40	-0.04	6.77	1.12	0.23
11.- Z4 x SXXI	31.24	-1.14	1.87	4.59	-0.49	-0.12	17.30	0.57	0.39	4.71	-0.14	-0.35
12.- F3 x CB	41.26	-0.36	0.21	4.37	-0.08	0.32	15.51	0.56	0.35	3.68	-0.27	-0.29
13.- DR x R1	37.69	0.77	0.42	5.18	0.08	-0.02	17.99	-0.81	-0.17	3.44	-0.29	-0.32
14.- DR x Z4	37.88	-0.92	1.14	4.67	-0.29	0.12	13.18	0.26	1.03	5.67	0.81	-0.34
15.- DR x Q3	33.51	0.07	0.91	4.70	-0.30	0.61	16.27	0.68	-0.24	3.26	-0.10	-0.29
16.- F3	48.12	0.80	0.16	4.52	-0.22	0.18	18.53	1.20	-0.50	7.53	0.65	0.60
17.- D1	43.17	-0.07	0.48	4.20	0.57	-0.10	14.76	-0.69	-1.10	5.06	1.00	-0.38
18.- Z4	37.67	0.41	1.38	5.09	-0.80	-0.10	15.12	0.48	-0.29	5.07	-0.18	-0.03
19.- R1	58.63	-4.19	0.65	4.98	-0.12	0.19	12.70	-0.21	0.74	5.57	-1.02	0.66
20.- U2	39.73	-0.87	-1.02	5.27	0.25	-0.04	16.84	0.65	-0.94	5.74	-0.48	-0.73
21.- L1	42.05	-0.79	0.62	4.63	-0.32	-0.10	15.22	1.31	0.29	2.67	-0.63	-0.03
22.- Q3	53.95	1.71	0.20	4.13	-0.15	-0.11	15.91	-1.24	-0.13	3.92	-0.49	-0.42
23.- DR	41.40	2.94	1.13	5.00	-0.17	0.43	14.97	0.38	-0.40	4.79	-0.54	-0.81
24.- TR x L1	32.69	-1.34	0.41	4.88	0.11	-0.20	14.62	0.02	-0.26	6.66	0.47	0.11
25.- WS x F3	41.06	0.59	0.41	4.29	0.18	0.36	16.24	0.42	-0.91	3.58	-1.20	0.07
A.- RANCNVO	29.54	-0.11	4.37	4.52	-1.00	-0.91	15.72	-1.00	2.64	8.56	3.19	-0.18
B.-PROV	64.95	5.91	-2.13	4.84	-0.38	1.23	15.42	2.98	-0.52	2.97	-1.77	-2.26
C.-UAAAN	36.65	-5.81	-2.24	4.55	1.38	-0.32	16.43	-1.98	-2.12	4.02	-1.41	2.43

4.2.1 Variable Rendimiento (REND)

En la Figura 4.2 se observó que los ambientes mostraron diferente potencial de rendimiento, el mas alto fue Providencia (PROVID) que mostró una alta sensibilidad para discriminar a los genotipos, lo anterior, por la longitud total de su vector, los ambientes Rancho Nuevo (RCHNVO) y Buenavista (UAAAN) mostraron una tendencia al agrupamiento, indicando que discriminan en forma similar a los genotipos, de acuerdo a esta figura se recomendarían los ambientes PROVID y UAAAN para llevar a cabo discriminaciones de genotipos debido a la longitud de sus vectores y por ser de signos

contrarios.

En cuanto a los genotipos se observó que las líneas F3, R1 y Q3 así como los híbridos experimentales F3xD1, Z4xR1, TRxF3, Z4xQ3, Q3xR1 y S1xL1 mostraron rendimientos mayores a la media general (43.7 t ha^{-1}) y los genotipos F3xD1, D1, L1 y Z4xD1 son los mas estables por estar cerca del origen.

Para ambientes contrastantes la línea R1 se puede recomendar por su interacción negativa y el híbrido Q3xR1 se puede recomendar si se trabaja en ambientes óptimos ya que mostró una interacción positiva y que responde bien en ambientes cerrados (PROVID).

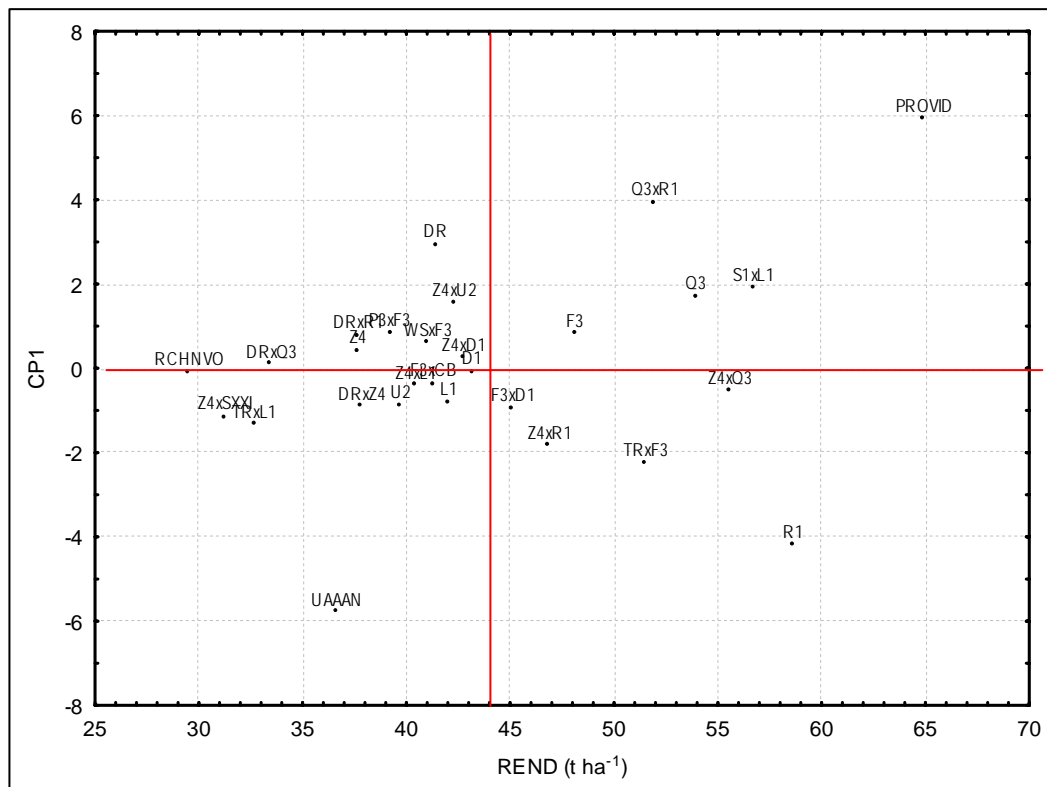


Figura 4.2. Distribución de los genotipos en los ambientes de evaluación para rendimiento (t ha^{-1}) y componente principal 1 (CP1), de acuerdo al análisis AMMI.

En la Figura 4.3 se observó que los ambientes mostraron diferente sensibilidad en la clasificación de los genotipos y por su dirección muestran interacción cruzada todos ellos con ángulos mayores de 90°, el ambiente UAAAN mostró interacción negativa con discriminación de genotipos y el ambiente PROVID mostró interacción positiva con menor poder de discriminar genotipos.

Los 25 genotipos mostraron diferente respuesta a la interacción considerándose los más estables aquellos cercanos al origen (F3, D1, Z4xD1, Z4xR1, F3xCB, Z4xL1) coincidiendo con (Cossa *et al*, 1990; Vargas y Cossa, 2000).

Las líneas progenitoras interaccionan bien con el ambiente Rancho Nuevo, esto como resultado de las diferentes evaluaciones que se han hecho en el programa de mejoramiento de la UAAAN para buscar materiales genéticos con tolerancia a altas temperaturas, el híbrido experimental S1xL1 responde mejor al ambiente Providencia (PROV) y el TRxF3 en el ambiente UAAAN, en general podemos decir que el ambiente de Rancho Nuevo es el que tiende a agrupar a la mayoría de los genotipos, pero el que muestra mayor potencial de rendimiento es Providencia, esto debido a su forma de producción (Invernadero).

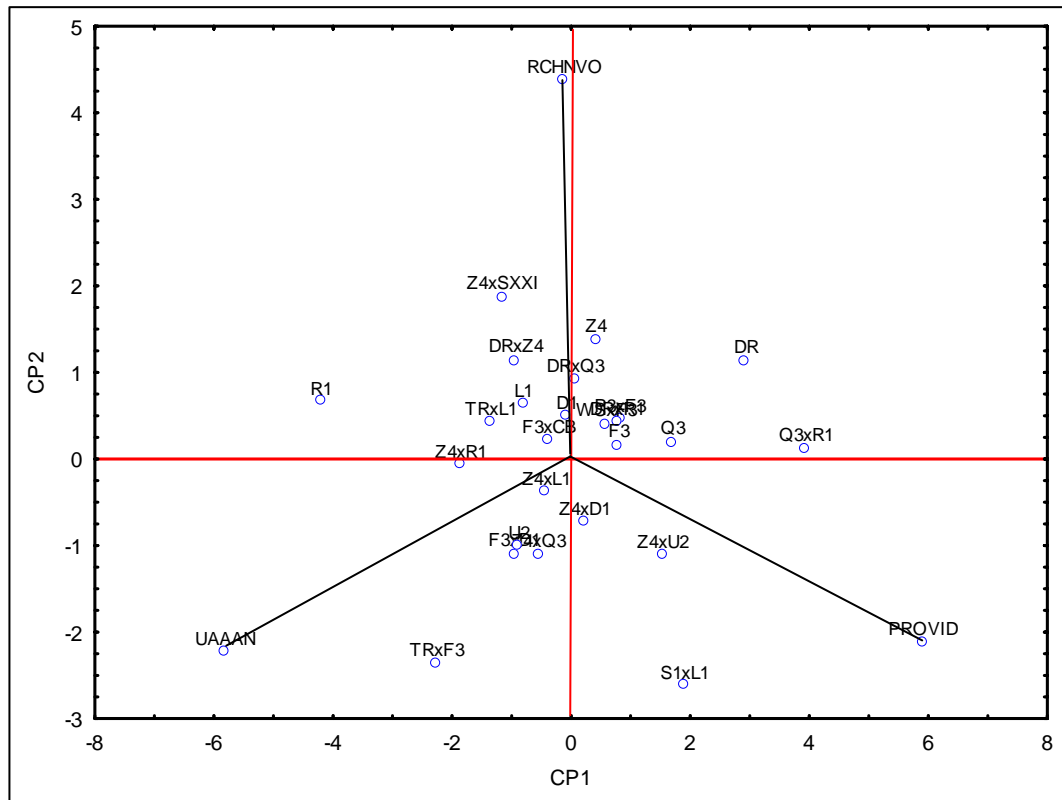


Figura 4.3. Distribución de los genotipos en los ambientes de evaluación para rendimiento entre el componente principal 1 (CP1) y componente principal 2 (CP2), de acuerdo al análisis AMMI.

4.2.2 Variable Licopeno (LICOP)

En la Figura 4.4 se representan los valores del contenido de Licopeno en donde el mejor ambiente fue Rancho Nuevo con un contenido de 8.56 mg en 100 g de fruto y el híbrido Q3xR1 es el que presentó el mayor valor con 11.88 mg en 100 g de fruto, diez genotipos presentan valores mayores a la media general (5.18 mg en 100 g de fruto) y es que la síntesis de este importante carotenoide es afectada por las condiciones ambientales a las cuales se somete al cultivo (Dumas *et al.*, 2003; Brandt *et al.*, 2005), el contenido reportado de licopeno en tomates maduros es de 10 a 150 mg por kilogramo de fruto (Collins *et al.*, 2006).

Providencia mostró los valores mas bajos de licopeno y esto se puede deber a que al momento de realizar los análisis en laboratorio para determinar el contenido de licopeno, las muestras traídas del invernadero correspondían a plantas que estaban sometidas a estrés, ya que en el invernadero se presentaron diversas anomalías como enfermedades por virus y hongos principalmente, también contribuyó que al establecer el experimento en este ambiente, los contenedores con el sustrato de fibra de coco “bolis” los habían utilizado en cuando menos dos ciclos anteriores. Collins *et al.* (2006) mencionan que las condiciones de producción, así como la temperatura, luz, nutrición mineral, salinidad y la irrigación así como la sanidad en general afectan el contenido de licopeno en la planta.

UAAAN y PROVID tienden a agrupar de manera similar a los genotipos cuyos valores son menores a la media de licopeno obtenida en este trabajo, el hibrido WSxF3 responde bien en el ambiente UAAAN.

Por lo cual será necesario seguir evaluando a estos materiales genéticos bajo diferentes formas de producción y diferentes ambientes a fin de que los genes involucrados en la expresión del licopeno y rendimiento se vayan fijando y que el efecto del ambiente se minimice para así lograr materiales genéticos que se adapten a diferentes ambientes y con altos contenidos de compuestos nutritivos y alimenticios en éste cultivo.

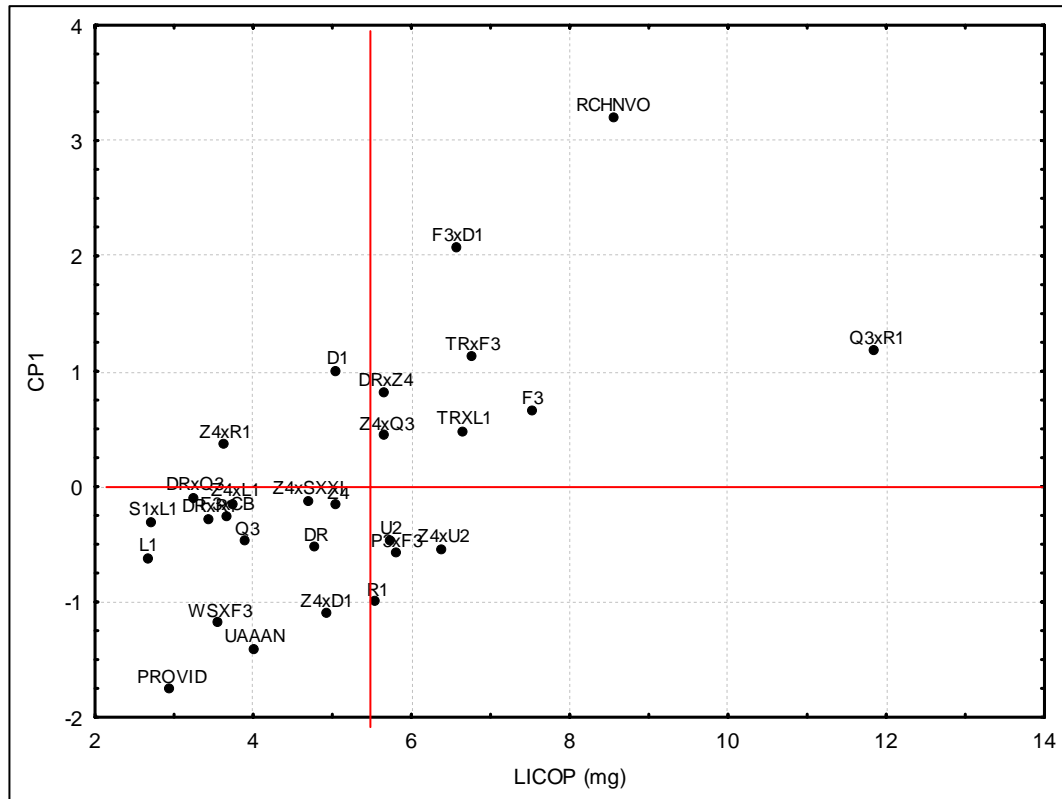


Figura 4.4. Distribución de los genotipos en los ambientes de evaluación para licopeno (mg) y el componente principal 1 (CP1), de acuerdo al análisis AMMI.

En la Figura 4.5 se aprecia que los ambientes UAAAN y PROVID tienden a agrupar similarmente a los genotipos, debido a que el ángulo formado entre ellos es menor a 90° , el ambiente RCHNVO es el más sensible en la discriminación de los genotipos para contenido de licopeno ya que está lejano del origen, en cuanto a los genotipos los menos estables son Q3xR1, F3xD1, Z4xU2, WSXF3, R1, F3 y TRxF3 por estar separados del origen, el genotipo Q3xR1 responde mejor al ambiente UAAAN y el F3xD1 tiene mejor respuesta al ambiente RCHNVO, para PROVID los genotipos DR y U2 responden bien en este ambiente.

Los genotipos más estables fueron TRxL1, Z4xR1, Z4xQ3, Z4, S1xLI y Q3, Parga *et al.* (2005) mencionan que la IGA se evalúa en genotipos sobresalientes con el propósito de seleccionar aquellos con una menor interacción en la región de interés y cuya respuesta en rendimiento se incremente conforme mejoran las condiciones del cultivo

De acuerdo a lo que el mejorador busca se pueden seleccionar genotipos que presenten estabilidad para uno o varios ambientes, en este caso el Z4, L1 y Q3 mostraron interacciones pequeñas y negativas siendo los ideales para continuar con un programa de selección de materiales genéticos prometedores y es que la presencia de la IGA es de suma importancia para los fitomejoradores, debido a que interacciones muy grandes pueden reducir la ganancia de la selección (Rea y de Souza, 2002).

Parga *et al.* (2005) mencionan en un análisis de interacción genotipo por ambiente en papa, que los clones 91-10-1, 91-25-4 y 91-9-3 fueron los mas estables según la metodología AMMI, mostrando ser superiores en potencial de rendimiento a los testigos comerciales Alpha y Atlantic, concluyendo que estos son la mejor opción disponible para los productores.

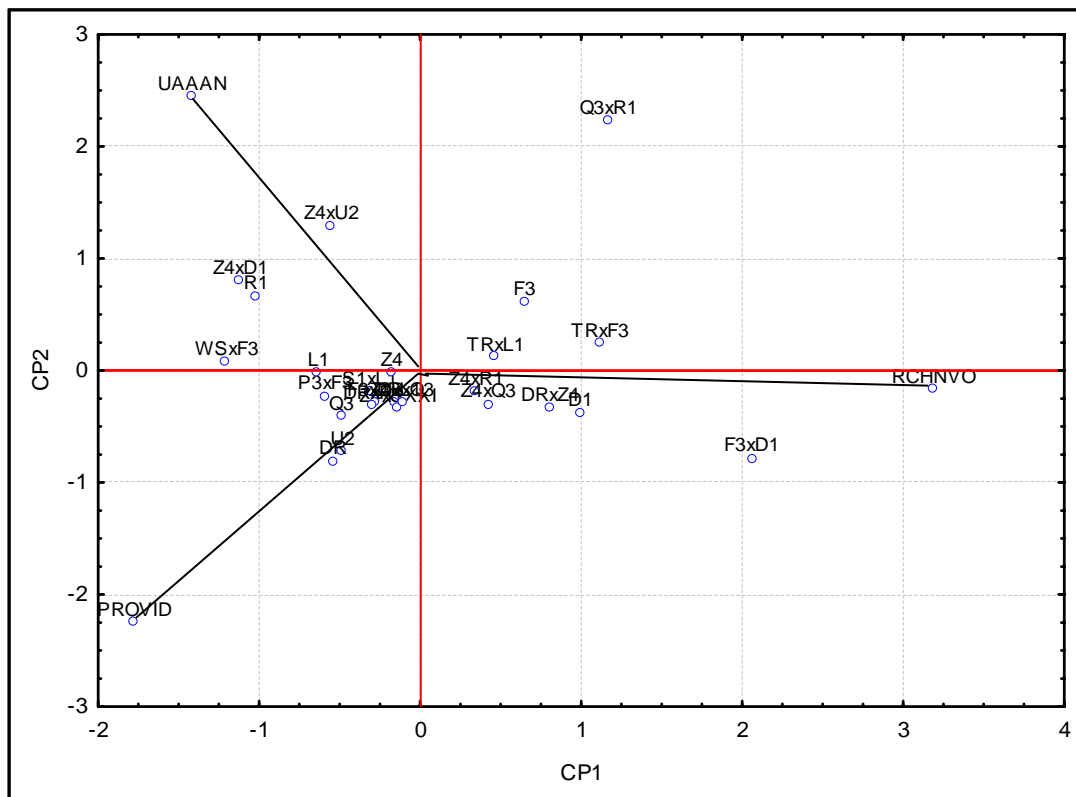


Figura 4.5. Distribución de los genotipos en los ambientes de evaluación para licopeno entre el componente principal 1 (CP1) y componente principal 2 (CP2), de acuerdo al análisis AMMI.

4.2.3 Variable Vitamina C (VITC)

En la figura 4.6 se puede apreciar que los genotipos F3, Z4xQ3, Z4xU2, DRxD1, Z4xD1 y Z4xL1 presentaron los mayores valores de Vitamina C por arriba de 17 mg en 100 g de fruto, se reporta que el contenido de vitamina C en tomates maduros es de 23 mg) (Nuez, 1995). La exposición de los tomates a la luz favorece la acumulación de vitamina C. (Dumas *et al*, 2003) ya que la vitamina C es un metabolito de bajo peso molecular sintetizado de la glucosa en plantas y animales, en células de plantas esta vitamina tiene una función antioxidante que reduce las especies reactivas al oxígeno

(EROs) y que esta presente en los cloroplastos (Anza *et al*, 2006). La literatura ha reportado que en estado verde maduro los tomates de invernadero presentan un contenido menor de ácido L-ascórbico que los cultivados en campo abierto debido a la menor intensidad de luz, los ambientes presentan un comportamiento similar con el contenido de vitamina C (15.42 a 16.43 mg en 100 g de fruto), los ambientes PROVID y UAAAN tiende a agrupar en forma similar a los genotipos, en donde Q3 responde bien en estos dos ambientes y los más estables fueron Z4xR1, P3xF3 y F3xD1.

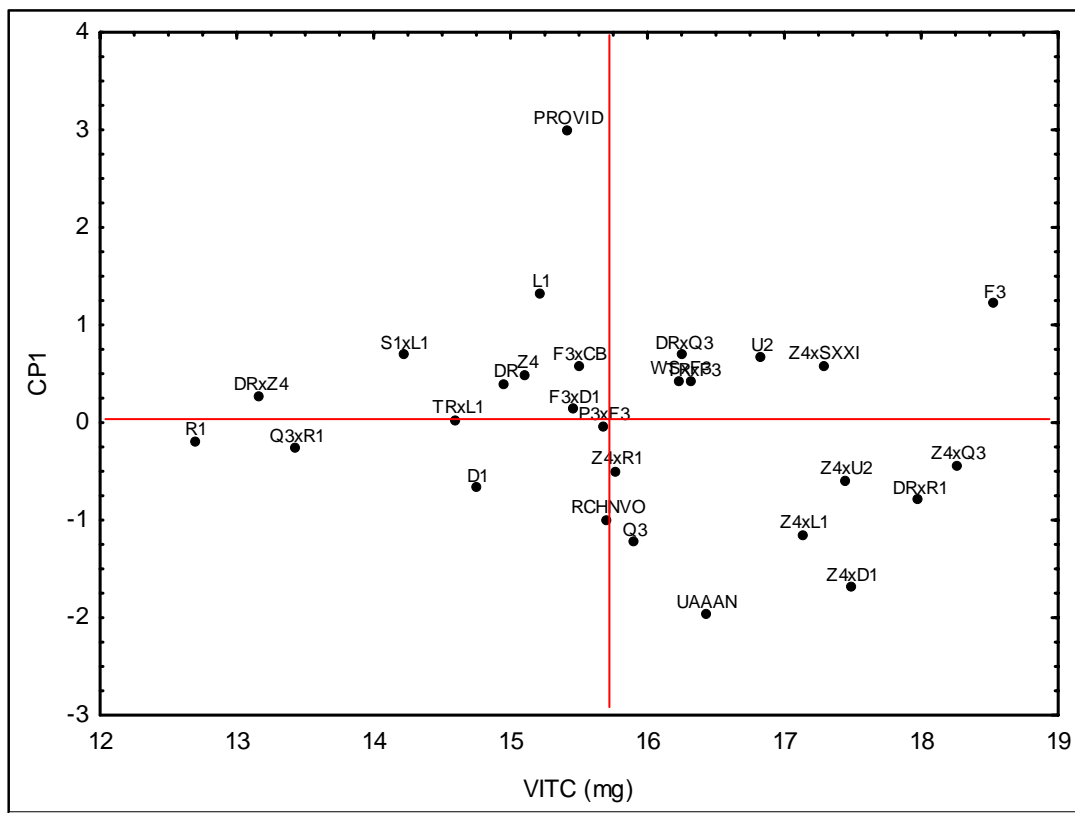


Figura 4.6. Distribución de los genotipos en los ambientes de evaluación para Vitamina C (mg) y el componente principal 1 (CP1), de acuerdo al análisis AMMI.

En la Figura 4.7, observamos que los ambientes tienden a ordenar de manera diferente a los genotipos, al igual que para las otras características la mayoría de los genotipos son estables, los genotipos P3xF3 y Q3xR1 responden bien en el ambiente Rancho Nuevo, el F3 y L1 se comportan mejor en el ambiente Providencia y el D1 y Z4xD1 tienen un mejor comportamiento en el ambiente UAAAN.

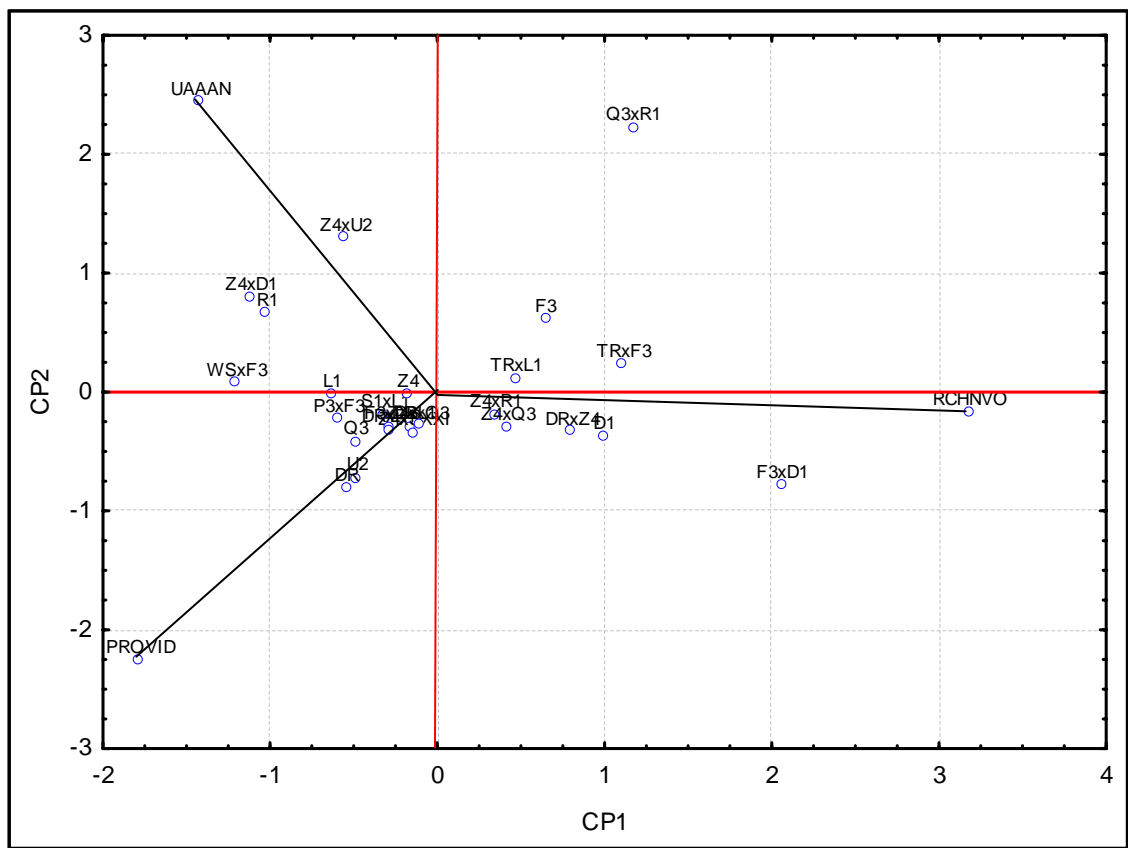


Figura 4.7. Distribución de los genotipos de tomate en los ambientes de evaluación para vitamina C entre el componente principal 1 (CP1) y el componente principal 2 (CP2), de acuerdo al análisis AMMI.

4.3 Efectos Genéticos

En este análisis se utilizaron las 9 variables que mas contribuyeron en el análisis preliminar de componentes principales por ser las que mas aportaron a expresar la variación existente en el presente trabajo, empleando para tal fin el análisis II de Gardner y Eberhart (1966).

4.3.1 Días a Primer Corte (DPC)

Para la variable días a primer corte (DPC) se encontró diferencias ($P \leq 0.05$) en ambientes (Cuadro 4.8), indicando que los ambientes de evaluación fueron diferentes entre si, esto nos permitió identificar mediante la prueba de medias (Cuadro A.6) que el ambiente UAAAN mostró ser determinante en la precocidad de los genotipos (65.8 días a primer corte), el mas tardío fue Rancho Nuevo con 81.6 días y el genotipo mas precoz fue WSxF3 con 63.6 días a primer corte (Cuadro A.1).

Diferencias ($P \leq 0.05$) fueron encontradas entre genotipos indicando la variabilidad existente entre el grupo de materiales evaluados, estos resultados coinciden con lo descrito por De la Rosa, *et al.* (2006) y Preciado (2005).

En la partición de las sumas de cuadrados para variedades y heterosis se encontró diferencias ($P \leq 0.05$) en variedades por ambiente infiriendo sobre la importancia de la evaluación de genotipos prometedores para una región en particular, en la heterosis promedio por ambiente se observo diferencia ($P \leq 0.05$) indicando que la heterosis

promedio fue diferente en cada ambiente.

4.3.2 Peso Promedio de Fruto (PPF)

Se encontró diferencias ($P \leq 0.01$) entre ambientes para peso promedio de fruto (PPF) lo que indica que las condiciones ambientales de cada localidad fueron diferentes, para los genotipos hubo diferencias ($P \leq 0.01$) indicándonos con esto que los genotipos se comportaron diferente y que los híbridos difirieron en su comportamiento debido a la diversidad genética de los progenitores (Cuadro 4.8), con estos resultados es posible la identificación de cruzas con potencial agronómico, coincidiendo estos resultados con los encontrados por Hannan *et al*, (2007).

En la fuente de variación variedades se observó diferencias ($P \leq 0.01$) percibiendo con esto que las líneas progenitoras se comportaron diferente para peso promedio de fruto, así mismo se observó diferencia ($P \leq 0.05$) para heterosis total indicando que la heterosis varió en cada crusa y ambiente, en variedades por ambiente y heterosis varietal por ambiente se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) corroborando con esto que los progenitores impartieron valores diferenciales en las cruzas involucradas

Moreira *et al*, (2003) mencionan que la aptitud combinatoria permite obtener híbridos que superen a los progenitores para tamaño de fruto y rendimiento en tomate y que esta condición ofrece un potencial de desarrollo de materiales genéticos en un programa de mejoramiento en tomate orientado a la producción de frutos para consumo en fresco é industrial.

Cuadro 4.8. Cuadrados medios de variables de rendimiento y fisiológicas bajo el modelo de Gardner y Eberhart, análisis II (1966), de cuatro progenitores y seis cruzas en tomate en tres ambientes de evaluación, 2006.

Fuentes de variación	gl	DPC	PPF	REND	FOTO	TRANS	UEAF
Ambientes	2	520.61*	11743.25**	7039.45**	53.51	71.53*	6.23
Rep(Ambientes)	3	46.55	1138.16	10.64	39.06	37.10	4.17
Genotipos	9	364.72*	5106.19**	487.21*	41.36	6.18	3.43
Variedades	3	939.34	13092.95**	854.87	19.50	4.76	3.29
Heterosis total	6	77.40	1112.81*	303.38	47.74	7.96	3.50
Heterosis promedio	1	14.80	193.00	228.30	7.50	0.0062	2.01
Heterosis Varietal	3	115.08	1609.88	441.92	78.20	11.13	5.25
Heterosis Especifica	2	52.19	827.12	133.12	21.01	7.55	1.61
Variedades x Ambiente	6	353.56*	711.53*	446.40	49.72	5.84	1.47
Heterosis x Ambiente	12	120.79	168.62	257.77	66.26	29.82*	1.69
Heterosis Promedio x Ambiente	2	631.61*	31.32	25.31	53.06	6.68	4.60
Heterosis Varietal x Ambiente	6	118.94	621.72*	585.49*	129.76	55.67	2.74
Heterosis Especifica x Ambiente	4	33.36	220.79	214.86	13.22	5.53	1.92
Error	27	167.77	244.02	225.73	75.84	9.18	3.80

*,** Significativo a 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad respectivamente. DPC.- días a primer corte, PPF.- peso promedio de fruto, REND.- rendimiento por hectárea, FOTO.- fotosíntesis, TRANS.- transpiración, UEAF.- uso eficiente de agua fisiológico.

4.3.3 Variable Rendimiento (REND)

En rendimiento se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.01$) en ambientes mostrando que las zonas de evaluación fueron diferentes, en genotipos se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) indicando que los genotipos (4 progenitores y sus 6 cruzas directas) mostraron ser diferentes entre si, en la partición de la suma de cuadrados para heterosis solo se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para heterosis varietal por ambiente, indicando que la heterosis de los progenitores no fueron estables a través

de los ambientes, coincidiendo lo anterior con De la Rosa *et al.*, (2006). Espitia *et al.*, (2006) indican que la significancia de los cuadrados medios asociados a los efectos de variedades y heterosis muestra que las líneas progenitoras no constituyen un grupo genéticamente homogéneo y que existe manifestación de heterosis en sus cruzamientos.

En el cuadro 4.9 observamos el comportamiento de los genotipos involucrados en el análisis para rendimiento de fruto expresado en toneladas por hectárea y en el cual nueve superaron a la media nacional de 35 t ha⁻¹ y solo la cruza Don RaúlxQ3 no alcanzó la media nacional. Bazan *et al.*, (2005), evaluaron cinco genotipos de tomate en condiciones de invernadero, encontrando que el cultivar Yaqui mostró el mas alto rendimiento de fruto (37.5 t ha⁻¹) y el de mas altura (68.8 cm).

Los progenitores Q3 y R1 así como las cruzas Z4xQ3 y Q3xR1 lograron más de 50 t ha⁻¹, esto concuerda con Moreira *et al.* (2003) que encontraron que los híbridos superaron a los progenitores para características de rendimiento en el cultivo de tomate sometidos a altas temperaturas.

Cuadro 4.9. Rendimiento de fruto (t ha⁻¹) de progenitores y cruzas evaluados en tres ambiente. 2006.

Genotipo	Don Raúl	Z4	Q3	R1
Don Raúl	41.40	37.88	33.51	37.69
Z4		37.67	55.59	46.91
Q3			53.95	51.99
R1				58.63

4.3.4 Variable Asimilación de CO₂ (FOTO)

En esta variable no se encontró significancia en ninguna de las fuentes de variación indicando con esto que los genotipos en general se comportaron en forma similar para esta característica, no pudiendo determinar si hubo efecto de heterosis, lo anterior probablemente se debió a que solo se realizó una toma de datos con el equipo LI-COR en la etapa fenológica de fructificación y en un solo estrato de la planta seleccionada, por lo que en trabajos posteriores se deberá determinar realizar tres o cuatro tomas de datos a lo largo del día, en dos o tres estratos de varias plantas para que el muestreo sea de absoluta confiabilidad y se puedan determinar variaciones en la asimilación de CO₂, de acuerdo a la prueba de medias (Cuadro A.4) los híbridos experimentales TRxL1 y Z4xQ3 mostraron los más altos valores en la asimilación de CO₂ (15.9 y 13.2 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente), en el ambiente Rancho Nuevo se observó la mayor asimilación de CO₂ (11.7 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) seguido de Providencia con un valor de 10.2 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a pesar de que en este ambiente hubo menor radiación fotosintéticamente activa (498.5 $\mu\text{mol de fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) contra 1508 $\mu\text{mol de fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ que mostró Rancho Nuevo, con la diferencia de que en Providencia el contenido de CO₂ fue de 400.7 ppm (Cuadro A.8) siendo superior a los otros dos ambientes, mostrando también menor temperatura. Wolf *et al.* (1990), encontraron que altas temperaturas (40-42 °C) causaron una disminución en la fotosíntesis neta en el cultivo de papa.

Gutiérrez *et al.* (2005), mencionan que la variabilidad genética en la tasa de fotosíntesis entre genotipos de trigo y de otros cultivos es de interés para los fisiólogos

y fitomejoradores, porque puede servir como un indicador directo de alto rendimiento, demostrando que la tasa de fotosíntesis está asociada al rendimiento de grano en ambientes mayores a $1600 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiación y que este parámetro es altamente heredable en generaciones filiales de F₅ a F₇.

4.3.5 Variable Transpiración (TRANS)

Para esta variable solo se encontró diferencias ($P \leq 0.05$) en ambientes indicando las diferencias entre ellos, las condiciones climáticas fueron diferentes entre ambientes. Polley (2002) menciona que un incremento proporcional en la concentración de CO₂ generalmente obtiene un incremento relativo similar en la eficiencia de la transpiración. El incremento de la transpiración resulta en un incremento de la fotosíntesis y un decremento de la conductancia estomatal.

En la heterosis por ambiente se encontró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) indicando que la heterosis no es estable a través de los ambientes. Weerasinghe *et al*, 2004, encontraron que varios híbridos de tomate mostraron heterosis alta para la tasa de fotosíntesis neta ($30 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en promedio) que mostraron mas de 50 por ciento de heterosis

4.3.6 Variable Uso Eficiente de Agua Fisiológico (UEAF)

No hubo diferencias significativas en ninguna de las fuentes de variación para esta variable indicándonos que los ambientes y genotipos no mostraron diferencia

alguna. Borrego (2001), en un estudio para determinación fisiotécnica de eficiencia en el desarrollo y rendimiento de genotipos de papa, tomate y melón para agricultura sustentable en zonas semiáridas, encontró que entre los atributos de rendimiento y su relación con las variables fisiológicas hubo significancia ($p < 0.05$) en correlaciones simples entre las variables de frutos por parcela y fotosíntesis así como con el uso eficiente del agua fisiológico, indicando que los genotipos con mayor actividad fotosintética, y con mejor uso eficiente del agua, tuvieron mayor número de frutos y mejor rendimiento.

Los mejores genotipos para UEAF fueron TRxL1 y Z4x SXXI con valores de 3.5 y 3.4 $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por 10 L $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente (Cuadro A.4), para ambientes, Providencia mostró ser mas eficiente en el uso de agua con 2.8 $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por 10 L $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Cuadro A.9) es bien sabido que el uso de invernaderos conjuntamente con riegos localizados ayudan a obtener mejores rendimientos con la menor cantidad de insumos posibles.

Polley (2002), menciona que el uso eficiente del agua mejora en una alta concentración de CO_2 y que los Incrementos de CO_2 repercutirán en incrementos del uso eficiente del agua, principalmente por incrementos de la fotosíntesis y del crecimiento de la planta.

4.3.7 Variable Sólidos Solubles Totales (BRIX)

En el análisis de varianza para las variables de calidad (Cuadro 4.10) se encontró diferencias ($P \leq 0.01$) en ambientes y genotipos para la característica de sólidos solubles totales (BRIX). En particular el efecto significativo en genotipos indica que los genotipos involucrados en el presente trabajo se comportaron diferentes y que existe la suficiente variabilidad genética para estas características que permitirá identificar materiales genéticos con potencial de calidad para la industria del tomate que permita generar híbridos o variedades para el mercado nacional é internacional. Deberá cuidarse sin embargo el aspecto de que las condiciones ambientales influyen ampliamente en la expresión y contenido de sólidos solubles, vitamina C y licopeno (Dumas et al, 2003, Collins et al, 2006).

En variedades por ambiente hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) indicando que los progenitores se comportaron diferentes en cada ambiente, en las interacciones de la heterosis con los ambientes, se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) para heterosis por ambiente, heterosis promedio por ambiente, heterosis varietal por ambiente y heterosis específica por ambiente indicando que la heterosis no fue estable a través de los ambientes, en la heterosis específica por ambiente estas diferencias revelan que la heterosis de las cruzas o ACE de las mismas es diferente a través de los ambientes.

Cuadro 4.10. Cuadrados medios de variables de calidad, bajo el modelo de Gardner y Eberhart, análisis II (1966), de cuatro progenitores y seis cruzas en tomate en tres ambientes de evaluación, 2006.

Fuentes de variación	gl	BRIX	LICOP	VITC
Ambientes	2	2.69**	21.38**	25.82*
Rep(Ambientes)	6	0.17	0.94	5.69
Genotipos	9	1.34**	13.01**	32.11**
Variedades	3	2.58	1.10	13.37
Heterosis total	6	0.72	19.48*	40.35*
Heterosis promedio	1	0.86	99.65*	30.68
Heterosis Varietal	3	1.14	5.70	4.63
Heterosis Especifica	2	0.01	0.21	96.54
Variedades x Ambiente	6	0.95*	7.24*	14.68*
Heterosis x Ambiente	12	0.54*	1.81	10.56*
Heterosis Promedio x Ambiente	2	1.40*	4.54	6.14
Heterosis Varietal x Ambiente	6	0.75*	4.47	11.41*
Heterosis Especifica x Ambiente	4	1.22*	13.06*	23.97*
Error	54	0.27	2.66	4.74

*,** Significativo a 0.05 y 0.01 niveles de probabilidad respectivamente.
BRIX.- sólidos solubles, LICOP.- licopeno, VITC.- vitamina C.

4.3.8 Variable Licopeno (LICOP)

Se encontró diferencias ($P \leq 0.01$) en ambientes y genotipos para la característica de Licopeno (LICOP). El efecto significativo en ambientes y genotipos indican que los ambientes y genotipos involucrados en el presente trabajo se comportaron diferentes y que existe la suficiente variabilidad genética para esta característica que permitirá identificar materiales genéticos con potencial nutracéutico

Para la heterosis total hubo diferencias ($P \leq 0.05$) y en las interacciones de los efectos heteróticos hubo diferencias ($P \leq 0.05$) en LICOP, esto nos indica que existe el suficiente potencial genético entre los progenitores estudiados, resultando en un buen potencial para un programa de mejoramiento, y en la fuente de variación heterosis específica por ambiente hubo diferencias ($P \leq 0.05$). Preciado *et al*, (2005) infieren que bajo el supuesto de que el factor progenitor representan la porción genética aditiva y que la cruza representan la no aditiva, se puede suponer que existen considerables efectos aditivos y de dominancia en progenitores y cruza que pueden ser explotados por esquemas de selección recurrente e hibridación para desarrollar materiales genéticos superiores a los existentes en el mercado.

Tsao and Humatoun, (2005), mencionan el papel antioxidante de fotoquímicos en diversos alimentos, indicando que los antioxidantes pueden ayudar a prevenir diversas enfermedades degenerativas como el cáncer, diabetes, enfermedades cardiovasculares etc. Las cuales se consideran estar asociadas con los radicales libres y las especies reactivas al oxígeno (EROS), Mencionando que la vitamina E, C, polifenólicos, licopeno y β -caroteno pueden conjuntarse para incrementar su actividad antioxidante.

Teixeira *et al*, (1999) mencionan que la significancia del cuadrado medio para heterosis media en relación a características de calidad en tomate indican que hay suficiente divergencia genética entre progenitores siendo favorable para el desarrollo de un programa de mejoramiento genético.

4.3.9 Variable Vitamina C (VITC)

Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en ambientes y ($P \leq 0.01$) para genotipos fueron encontradas para la característica de Vitamina C (VITC). El efecto significativo en ambientes y genotipos indican que existe la suficiente variabilidad genética para esta característica que permitirá identificar materiales genéticos con alto contenido de vitamina C.

Para la heterosis total hubo diferencias ($P \leq 0.05$), en variedades por ambiente hubo diferencias ($P \leq 0.05$) así como en heterosis varietal por ambiente para VITC, esto nos indica que la expresión de la heterosis no fue estable a través de los ambientes entre los progenitores estudiados, resultando en un buen potencial para un programa de mejoramiento, y en la fuente de variación heterosis específica por ambiente hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Bhatt *et al.*, (2001) mencionan que la predominancia de los efectos genéticos no aditivos juegan un gran rol en la herencia de la Vitamina C y sólidos solubles en tomates desarrollados en zonas de mayor altitud, en este estudio dada la significancia de la heterosis específica por ambiente, revela que la heterosis de las cruas o aptitud combinatoria específica (ACE) es diferente a través de los ambientes, revelando con esto la importancia de los efectos no aditivos en la herencia de Vitamina C.

A temperaturas de 20°C el desarrollo del color del fruto de tomate es óptimo y la retención de vitamina C es alta. Los tomates son sensibles a muchas alteraciones que se pueden originar por prácticas de manejo (Collins *et al.*, 2006).

4.3.10 Efecto Varietal

En el cuadro 4.11 se muestran los valores de los efectos varietales y su significancia encontrando que para días a primer corte (DPC) hubo diferencia significativa ($P \leq 0.01$) con el progenitor Z4 con signo negativo, indicando que este progenitor se puede explotar por medio de hibridaciones para encontrar materiales genéticos precoces y para el progenitor R1 con signo positivo, indicando que este progenitor tiene genes deseables y que puede ser explotado en un programa de mejoramiento para desarrollar genotipos de tomate precoces con alto peso promedio de fruto (mas de 105 gramos) y que por medio de cruzamientos incrementar el contenido de vitamina C. Don Raúl muestra valores significativos para PPF con signo negativo y UEAF con signo positivo, esta variable es de gran importancia para las zonas áridas ya que al ser producto de la relación de fotosíntesis y transpiración nos da una idea de la eficiencia fotosintética bajo condiciones de alta temperatura. Gutiérrez *et al.* (2005), mencionan que la tasa de fotosíntesis está asociada al rendimiento de grano en el cultivo de trigo en ambientes mayores a $1600 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiación y que este parámetro es altamente heredable en generaciones filiales de F_5 a F_7 . Para sólidos solubles (BRIX) el progenitor Q3 mostró un estimado negativo que puede ser utilizado como fuente de germoplasma para un programa de mejoramiento para características de calidad ya que son parámetros muy importantes para la industria del procesado del tomate, en rendimiento los valores mas altos aunque no significativos son los progenitores Q3 y R1 que obtuvieron los mas altos rendimientos 53.95 y 58.63 t ha^{-1} respectivamente.

Cuadro 4.11. Efecto varietal (Vj) de los progenitores de tomate, evaluados en tres ambientes, 2006.

Progenitor	DPC	PPF	REND	FOTO	TRANS	UEAF	BRIX	LICOP	VITC
Don Raúl	1.70	-42.5**	-6.51	3.11	-0.21	1.49*	0.20	-0.04	0.29
Z4	-17.6**	-8.42	-10.24	-2.25	-1.43	-0.16	0.28	0.23	0.45
Q3	5.70	10.40	6.03	2.56	1.87	-0.06	-0.66*	-0.91	1.23
R1	10.2**	40.60**	10.72	-3.41	-0.23	-1.25	0.17	0.72	-1.99*
Media	71	105	45.5	9.33	11.03	1.76	4.68	3.55	15.40

3.3.11 Heterosis Promedio y Varietal

Para la heterosis promedio (Cuadro 4.12) se observa significancia para VITC con valor positivo y el estimado mas alto pero no significativo fue para PPF, esto nos indica que estas características conllevan heterosis que puede reflejarse en la realización de cruzamientos con los progenitores que presentaron valores altos de efecto varietal, Don Raúl puede emplearse para desarrollar materiales genéticos de alta eficiencia fotosintética, Z4 para PPF y BRIX y el progenitor Q3 para desarrollar genotipos con alto contenido de LICOP

Tabla 4.12. Efecto de heterosis promedio y varietal (hj) de genotipos de tomate empleados como progenitores, evaluados en tres ambientes, 2006.

Varietad	DPC	PPF	REND	FOTO	TRANS	UEAF	BRIX	LICOP	VITC
Don Raúl	2.39	-15.5	-8.09	-2.64	-0.37	-1.11*	0.27	0.05	-0.22
Z4	3.72	18.29*	9.41	3.33	1.63	-0.32	-0.44*	-0.46	-0.40
Q3	-1.52	1.98	1.63	-2.75	-1.23	0.01	0.08	0.95*	-0.29
R1	-4.60	-4.69	-2.95	2.07	-0.02	0.78	0.08	-0.54	0.93
Het. Prom.	-1.01	3.66	-3.98	-0.73	-0.02	-0.37	-0.20	-2.15	1.19*

3.3.12 Heterosis Específica

En el cuadro 4.13 se presentan los valores de los estimados para la heterosis específica, en donde hubo diferencia significativa para VITC en las cruzas Don Raúl x Z4, Don Raúl x R1, Z4 x Q3 y Q3 x R1, esto concuerda con Bhatt *et al.* (2001) en que

los efectos de dominancia están involucrados en la herencia de la vitamina C en tomate, en las restantes variables no hubo significancia sin embargo podemos decir que existen suficientes evidencias de la gran capacidad de estos materiales en la formación de híbridos o variedades para las condiciones semiáridas del noreste de México. Teixeira *et al* (1997), realizaron un estudio sobre características morfológicas y de calidad en tomate y encontraron suficiente variabilidad en las variables evaluadas para ser incorporadas en un programa de mejoramiento genético de tomate en Brasil, con los resultados mostrados en este trabajo podemos decir que éstos materiales se pueden emplear como variedades o como progenitores de híbridos prometedores para las condiciones climáticas adversas que prevalecen en el norte de México.

Cuadro 4.13. Valores de heterosis específica (S_{ij}) de las cruzas involucradas en un dialélico de cuatro progenitores de tomate, evaluados en tres ambientes, 2006.

Híbridos	DPC	PPF	REND	FOTO	TRANS	UEAF	BRIX	LICOP	VITC
Don Raúl x Z4	-0.11	-8.75	1.00	1.13	-0.55	0.20	-0.005	-0.12	-2.4**
Don Raúl x Q3	2.13	1.00	-3.71	-1.45	-0.36	-0.42	-0.02	0.04	0.16
Don Raúl x R1	-2.02	7.75	2.71	0.32	0.91	0.21	0.02	0.07	2.2**
Z4 x Q3	-2.02	7.75	2.71	0.32	0.91	0.21	0.02	0.07	2.2**
Z4 x R1	2.13	1.00	-3.71	-1.45	-0.36	-0.42	-0.02	0.04	0.16
Q3 x R1	-0.11	-8.75	1.00	1.13	-0.55	0.20	-0.005	-0.12	-2.4**
Het. Prom.	-1.01	3.66	-3.98	-0.73	-0.02	-0.37	-0.20	-2.15	1.19*

5. CONCLUSIONES

Los Efectos Genéticos y de Interacción Genotipo-Ambiente se presentaron en Fuentes de Variación y Variables específicas, y no de manera generalizada.

La heterosis específica por ambiente para VITC reveló que la heterosis de las cruzas o aptitud combinatoria específica (ACE) fue diferente a través de los ambientes, indicando con esto la importancia de los efectos de dominancia en la herencia de la Vitamina C.

Dados los efectos varietales, el progenitor Z4 se puede explotar por medio de hibridaciones para encontrar materiales genéticos precoces y el progenitor R1 puede ser utilizado en un programa de mejoramiento para desarrollar genotipos de tomate precoces con alto peso promedio de fruto (mas de 105 gramos). Don Raúl puede emplearse para desarrollar materiales genéticos de alta eficiencia fotosintética. Adicionalmente Z4 para PPF y BRIX y el progenitor Q3 para desarrollar genotipos con alto contenido de LICOP.

Los híbridos experimentales Don Raúl x Z4, Don Raúl x R1, Z4 x Q3 y Q3 x R1, se pueden emplear para explotar los efectos de dominancia y que estas cruzas se pueden emplear como híbridos para elevar la calidad del tomate.

El ambiente Providencia mostró el mas alto rendimiento (64.95 t ha^{-1}) y el de menor interacción genotipo por ambiente.

Para rendimiento y otras características la línea R1 se puede recomendar por su interacción negativa y el híbrido Q3xR1 se puede recomendar si se trabaja en ambientes óptimos ya que mostró una interacción positiva y que responde bien en ambientes cerrados.

Los genotipos más estables fueron F3, D1, Z4xD1, Z4xR1, F3xCB, Z4xL1. El híbrido experimental S1xL1 respondió mejor al ambiente Providencia (PROV) y el TRxF3 en el ambiente Buenavista (UAAAN).

El híbrido Q3xR1 presentó el mayor valor de licopeno con 11.88 mg en 100 g de fruto. Para VITC los ambientes PROVID y UAAAN tiende a agrupar en forma similar a los genotipos, en donde Q3 responde bien en estos dos ambientes y los más estables fueron Z4xR1, P3xF3 y F3xD1.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, M. S. and D. Rudich. 1978. Genetic potential for overcoming physiological limitations on adaptability, yield, and quality in the tomato. Hort. Sci. 13(6):673-678.
- Anza, M., P. Riga and C. Garbizu. 2006. Effects of variety and growth season on the organoleptic and nutritional quality of hydroponically grown tomato. Journal of Food Quality. 29:16-37.
- Baldwin, E. A., J. W. Scott, T. M. M. Malundo, R. L. Shewfelt and K. S. Tandom. 1998. Relationship between sensory and instrumental analysis for tomato flavor. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 123 (5): 900-915
- Bazan, M. T., J. M. G. González, F. J. Radillo and P. E. C. Ramírez. 2005. Evaluation of five genotypes of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse. HortScience. 40:993-1147.
- Bhatt, R. P., V. R. Biswas and N. Kumar. 2001. Heterosis, combining ability and genetics for vitamin C, total soluble solids and yield in tomato (*Lycopersicon esculentum*) at 1700 m altitude. Journal of Agricultural Science, Cambridge. 137:71-75.
- Borrego, E. F. 2001. Determinación fisiotécnica de eficiencia en el desarrollo y rendimiento de genotipos de papa, tomate y melón para agricultura sustentable en zonas semiáridas. Tesis de Doctorado. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Brandt, S., Z. Pek, E. Barna, A. Lugasi and L. Helyes. 2005. Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. Journal of the Science of Food and Agriculture. 86(4):568-572.
- Camejo, D., P. Rodriguez, M. A. Morales, J. M. Dell' Amico, A. Torrecillas and J. J. Alarcón. 2005. High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. Journal of Plant Physiology. 162(3):281-289.
- Carrillo, C. J., F. Jiménez, J. Ruiz, G. Díaz, P. Sánchez, C. Perales y A. Arellanes. 2003. Evaluación de densidades de siembra en tomate en invernadero. Agronomía Mesoamericana. 14(1):85-88.
- Chechetkin, A.V., V.I. Voronianski and G.G. Porusky. 1984. Prácticas de Bioquímica del ganado y aves de corral. Editorial Mir. Moscu. 55 p.
- Collins, J. K., Perkins-Veazie and W. Roberts. 2006. Lycopene: From Plants to Humans Hort. Sci. 41: 1101-1366.

- Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). www.conabio.gob.mx. Acceso en línea. Agosto 2008.
- Conti, S. M., C. Sanguineti, B. Toni and A. Azzoni. 1988. Inheritance of quality traits in processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Euphytica*. 37:121-127.
- Cornelius, P. L. 1993. Statistical test and retention of term in additive main effects and multiplicative interactions model. *Crop Sci*. 33:1186-1193
- Crossa, J., H. G. Gauch Jr and R. W. Zobel. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci*. 30(3) 493-500.
- Cuartero, J. and J. I. Cubero. 1982. Genotype - environment interaction in tomato. *Theor. Appl. Genet*. 61. 273-277.
- Davis, A. R., W. F Wayne and P. Perkins-Vazie. 2003. A rapid spectrophotometric method analyzing lycopene content in tomato and tomato products. *Post Harvest Biology and Technology*. 28(3):425-430.
- De la Rosa, L. A., H. De León C., F. Rincón S. y G. Martínez Z. 2006. Efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados a el bajo mexicano. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 29(3):247-254.
- Dumas, Y., M. Dadomo, G. Di Lucca and P. Grolier. 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 83(5): 369-382.
- Eberhart, S., and W. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop. Sci*. 6:36-40.
- Espitia, M. M. C., F. A. C. Vallejo y D. G. Baena. 2006. Efectos heteróticos y habilidad combinatoria para el rendimiento por planta en *Cucurbita moschata* Duch. *Ex Poir. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*. 59(01):3105-3121.
- FAO. 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo. Serie: Estudios FAO: Producción y protección vegetal. No. 90. Roma. Italia. 338 p.
- Gardner, C. O. and S. A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometric*. 22:439-452
- González, T., E. Monteverde, C. Marín and P. M. Madriz. 2007. Comparación de tres métodos para estimar estabilidad del rendimiento en nueve variedades de algodón. *Interciencia*. 32(005): 344-348.
- Grijalva-Contreras, R. L., R. Macías -Duarte, M. J. Valenzuela-Ruiz and F. Robles- Contreras. 2004. Productivity and fruit quality in tomatoes varieties under greenhouse conditions in the northwest of Mexico. *HortScience*. 39:745-897.

- Guerra, H. M., F. Borrego E., A. Oyervides G. y J. M. Fernández B. 1999. Evaluación de genotipos de tomate considerando criterios fisiológicos, fenológicos y de rendimiento, bajo condiciones de alta temperatura, en invernadero. *Agraria UAAAN*. 15(1):55-77
- Guichard, S., N. Bertin, C. Leonardi and C. Gary. 2001. Tomato fruit quality in relation to water and carbon fluxes. *Agronomie*. 21:385-392.
- Gutiérrez, R. M., M. P. Reynolds, J. A. E. Escalante y A. Larqué-Saavedra. 2005. Algunas consideraciones en la relación entre fotosíntesis y el rendimiento de grano en trigo. *Ciencia Ergo Sum*. 12(2):149-154.
- Hannan, M. M., M. B. Ahmed, M. A. Razvy, R. Karim, M. Khatun, A. Haydar, M. Hossain and U. K. Roy. 2007. Heterosis and correlations of yield and yield components in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *American-Eurasian Journal of Scientific Research* 2(2):146-150.
- Hernández, M. J., M. R. García, A. R. Valdivia y S. J. Omaña. 2004. Evaluación de la competitividad y rentabilidad del cultivo de tomate rojo (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Sinaloa, México. *Agrociencia*. 38:431-436.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). www.inegi.gob.mx Acceso en línea: Abril 2008.
- Kamis, A. B., A. S. Modu, and B. Mwajim. 2004. Effect of ripening on the proximate and some biochemical composition of a local tomato cultivar (Nadaffreta) grown at lake Alau regions of Borno State. *Journal of Applied Sciences*. 4(3):424-426.
- Kuehl, R. O. 2001. *Diseño de experimentos: Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. Segunda Edición. Editorial: Thomson Learning.
- Macias-Duarte, R. R. L. Grijalva-Contreras, F. Robles-Contreras and M. J. Valenzuela-Ruiz. 2005. Productivity and quality of 14 “saladette”-type tomato varieties under field conditions. *HortScience*. 40:993-1147
- Mc Avoy, R. J., and H. W. Janes. 1989. Tomato plant photosynthetic activity as related to canopy age and tomato development. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 114(3):478-482
- Mikkelsen, R. L. 2005. Tomato flavor and plant nutrition a brief review. *Better Crops with Plant Food*. 89(2):14-15
- Moreira, C., M. A. Echandi, y C. R. Méndez. 2003. Heterosis y habilidad combinatoria en líneas de tomate para mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill.) con adaptación a altas temperaturas. *Revista de Agricultura Tropical*. 33:51-58

- Murillo, M. M., F. Borrego, S. Rodríguez y F. Ramos. 2003. Caracterización del potencial bioquímico y nutritivo de genotipos sobresalientes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Reporte de investigación. UAAAN, pag 216-222.
- Murray, L. W., I. M. Ray, H. Dong and A. Segovia-Lerma. 2003. Clarification and reevaluation of population-based diallel analyses: Gardner and Eberhart analyses II and III revisited. *Crop Sci.* 43:1930-1937.
- Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p
- Ortiz, R and J. Izquierdo. 1994. Yield stability differences among tomato genotypes grown in latin america and the caribbean. *Hort Sci.* 29(10):1175-1177
- Ortiz, R. J., Crossa, M. Vargas and J. Izquierdo. 2007. Studying the effect of environmental variables on the genotype x environment interaction of tomato. *Euphytica* 153:119-134
- Parga, T. V. M., V. V. M. Zamora, V. V. M. González, G. S. J. García y G. E. E. Villavicencio. 2005. Interacción genotipo por ambiente en clones de papa bajo riego en el noreste de México. *Agricultura Técnica en México.* 31(1):55-64.
- Preciado, R. E. O., A. D. I. Terrón, N. O. M. Gómez, E. I. G. Robledo. 2005. Componentes genéticos en poblaciones heteróticamente contrastantes de maíz de origen tropical y subtropical. *Agronomía Mesoamericana.* 16(2):145-151.
- Polley H. W. 2002. Implications of atmospheric and climatic change for crop yield and water use efficiency. *Crop Sci.* 42:131-140.
- Santiago, N. J., M. Mendoza E. y F. Borrego E. 1998. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana.* 9(1):59-65
- Ramos, D. F. 2000. Formación y Evaluación de híbridos en cultigenes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) para explotación intensiva y sustentable, Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Rea, R., O. de Souza. 2002. Genotype x Environment Interactions in sugarcane yield trials in the central-western region of Venezuela. *Interciencia.* 27 (11):620-624.
- Riga, P., M. Anza and C. Garbisu. 2007. Tomato quality is more dependent on temperature than on photosynthetically active radiation. *Journal of the science of food and agriculture.* 88(1):158-166.
- Rodriguez, F. H. 2006. El tomate rojo: Sistema Hidróponico. Ed. Trillas. Mexico. 86 p.
- Rojas-Garcidueñas, M. 1984. Fisiología Vegetal Aplicada. Ed. Mc Graw-Hill. Mexico. 297 p.
- Rojas-Garcidueñas, M. 2003. La resistencia a la sequía. *Ciencia UANL.* Vol. VI(3): 326-331.

- Sánchez, A. D. 2003. Evaluación de Progenies de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo parámetros fisiotécnicos y tolerantes al tizón temprano (*Alternaria solani*), Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Singh, M., R. K. Singh. 1984. A comparison of different methods of half-diallel analysis. *Theor. Appl. Genet.* 67:323-326.
- Singh, O., R. S. Paroda. 1984. A comparison of different diallel analyses. *Theor, Appl. Genet.* 67: 541-545.
- Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). SAGARPA .www.siap.sagarpa.gob.mx. Acceso en línea: mayo 2008.
- Texeira, A. D. A. J., V. W. C. Dias, C. D. Cruz, F. L. Finger y C. A. Scapimi. 1997. Melhoramento do tomateiro:II. Procedimento de Gardner e Heberhart na análise heterotica de características morfoagronomicas e da qualidade dos frutos. *Bragantia, Campinas* 56(1): 33-46.
- Tirilly, Y., C. Bourgeois. 2002. Tecnología de las hortalizas. Ed. Acribia. Primera Edición. España.
- Tsaftaris, A. S., M. Kafka, A. Polidoros, E. Tani. 1999. Epigenetic changes in Maize DNA heterosis. In: *The genetics and exploitation of heterosis in crops. Based on the International Symposium on the genetics and exploitation of heterosis in crops organized and hosted by the CIMMYT in México City, 17-22 Aug 1997*, Ed. A
- Tsao, R., M. A. Humayoun. 2005. Nutraceutical and functional foods: I. Current trend in phytochemical antioxidant research. *Journal of Food, Agriculture and Environment.* 3(1):10-17.
- Vargas, M. and J. Crossa.. 2000. The AMMI analysis and the graph of the biplot in SAS. Available on: <http://www.cimmyt.org/biometrics>, acceso en línea: Marzo 2008.
- Villa, M. M., M. A. Inzunza and E. V. Catalán. 2001. Zonificación agroecológica de hortalizas involucrando grados de riesgo, *Terra Latinoamericana* 19(1): 1-7, Universidad Autónoma Chapingo.
- Villarreal, A. 1999. Aspectos legales de la protección de variedades vegetales. *Horticultura Internacional.*2:44-45.
- Weerasinghe, Q. R., A. L. T. Perera, W. A. J. M. de Costa, D. M. Jinadase and R. Vishnukanthasingham. 2004. Production of tomato hybrids for dry zone conditions of Sri Lanka using combining ability analysis, heterosis and DNA testing procedures. *Tropical Agricultural Research.* 16:79-90.

- Wolf S., A. A. Olesinski, J. Rudicha and A. marani. 1990. Effect of high temperature on photosynthesis in potatoes. *Annals of Bonaty*. 65:179-185.
- Wu, M., and C. Kubota. 2005. Effects of high nutrient solution EC and its application timing on lycopene, soluble sugars, and chlorophyll concentrations of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit. *HortScience*. 40:993-1147
- Zhang, Y., M. S. Kang and K. R. Lamkey. 2005. DIALLEL-SAS05: A comprehensive program for Griffing's and Gardner-Eberhart analyses. *Agron. J.* 97: 1097-1106.
- Zobel, R. W., M. J. Wright and H. G. Gauch Jr. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80:388-393.

Apéndice

A.1. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para las variables fenológicas de 25 genotipos de tomate en tres ambientes de evaluación.

Genotipos	DPC	DUC	DC	NC
1.- F3 x D1	74.6	121.3 a	46.6	6.6
2.- Z4 x R1	68.8	121.3 a	52.5	7
3.- Z4 x L1	64.5	121.3 a	56.8 a	7.5 a
4.- Z4 x U2	75.5	119.6 a	44.1	6.3
5.- S1 x L1	65.5	121.3 a	44.1	7.5 a
6.- P3 x F3	69.5	121.3 a	51.8	6.8
7.- Q3 x R1	73	121.3 a	48.3	6.8
8.- Z4 x D 1	72.3	121.3 a	55.8 ab	6.8
9.- Z4 x Q3	65.5	121.3 a	55.8 ab	7.5 a
10.- TR x F3	68.8	119.6 a	49.1	7.3 ab
11.- Z4 x SXXI	68.8	119.6 a	49.1	7
12.- F3 x CB	67.8	119.6 a	51.8	7.3 ab
13.- DR x R1	73	121.3 a	44.1	7
14.- DR x Z4	69.3	119.6 a	50.3	7.1
15.- DR x Q3	78.0 ab	119.6 a	39.5	6.5
16.- F3	73.6	119.6 a	44.3	6.5
17.- D1	74	119.6 a	44	6.8
18.- Z4	66.3	119.6 a	53.3	7.3 ab
19.- R1	82.5 a	119.6 a	37.1	6.5
20.- U2	76.3	119.6 a	41.6	7.5 a
21.- L1	67.8	119.6 a	51.8	7
22.- Q3	78.0 ab	121.3 a	43.3	6.3
23.- DR	74	119.6 a	45.6	6.8
24.- TR x L1	70.6	121.3 a	50.6	7.1
25.- WS x F3	63.6	119.6 a	56 ab	7.5 a

DPC (Días a Primer Corte), DUC (Días a Ultimo Corte), DC (Días en Corte), NC (Número de Cortes), Valores con las mismas letras dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

A.2. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para las variables de rendimiento de 25 genotipos de tomate en tres ambientes de evaluación.

Genotipos	NOFRT	DP	DE	PPF	REND
1.- F3 x D1	11.3	5.6	5.6	134	45.1
2.- Z4 x R1	11.2	6.2 ab	6.1	137.1	46.9
3.- Z4 x L1	11.4	5.8	5.9	119.5	40.4
4.- Z4 x U2	11	5.7	5.5	129.7	42.3
5.- S1 x L1	13.3	5.5	5.9	160 a	56.7 ab
6.- P3 x F3	9.3	5.4	6.2	145 ab	39.2
7.- Q3 x R1	14.4	5.8	6.1	120.5	51.9
8.- Z4 x D 1	11.4	5.8	5.8	121.4	42.7
9.- Z4 x Q3	13.8	6.2	6.2	135.5	55.5
10.- TR x F3	18.3	5.7	5.6	93.4	51.5
11.- Z4 x SXXI	15.9	5.6	4.5	68	31.2
12.- F3 x CB	18	5.2	5.3	81.5	41.2
13.- DR x R1	14.2	4.9	5.2	92.9	37.6
14.- DR x Z4	18.5 b	5.3	5	74.9	37.8
15.- DR x Q3	14.7	5.3	4.9	77.7	33.5
16.- F3	11.6	6.3 a	6.4 a	139.8	48.1
17.- D1	11	5.4	5.7	134.7	43.1
18.- Z4	14	6.2 ab	5.4	94.3	51.9
19.- R1	13.1	6.2 ab	6.3 ab	143.4 ab	58.6 a
20.- U2	11.3	5	5	131.2	39.7
21.- L1	12	6	6.2	129.9	42
22.- Q3	15.9	5.6	6.2	113.2	53.9 ab
23.- DR	24 a	5.6	4.8	60.2	41.4
24.- TR x L1	13.7	5.5	5.1	77.6	32.6
25.- WS x F3	18.1	5.1	5	77	41

NOFRT (Numero de Frutos), DP (Diámetro Polar), DE (Diámetro Ecuatorial), PPF (Peso Promedio de Frutos), REND (Rendimiento). Valores con las mismas letras dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

A.3. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para las variables climáticas de 25 genotipos de tomate en tres ambientes de evaluación.

Genotipos	DFFF	TAIR	CO₂	HR
1.- F3 x D1	1128.2	33.3	356.3	33.1
2.- Z4 x R1	897	33.2	358.7	32.3
3.- Z4 x L1	1286.9	33.5	336.2	33.4
4.- Z4 x U2	1282.7	34.1	371.9	35.1
5.- S1 x L1	1405.8 ab	34.3	352.2	27.9
6.- P3 x F3	1105.9	34.3	403.2 ab	29.2
7.- Q3 x R1	1179.9	34.3	346.7	33.5
8.- Z4 x D 1	1401.5 ab	34.3	415.5 a	37.9
9.- Z4 x Q3	1227.2	34.4	366.6	36.2
10.- TR x F3	1097.9	34.4	363	31.5
11.- Z4 x SXXI	1323	34.9	378.7	30.1
12.- F3 x CB	1315.6	34.5	367.3	29.7
13.- DR x R1	1249.6	34.7	385	29.2
14.- DR x Z4	982.4	34	365.8	31.3
15.- DR x Q3	909.2	34.1	377.9	28.5
16.- F3	1331.9	35.7 a	384.9	30.5
17.- D1	1400.1 ab	35.1	362.4	28.3
18.- Z4	1348.1	35.4 ab	337.1	31.7
19.- R1	1195	35.1	388.1	29.6
20.- U2	1042.1	34.5	374.5	34.6
21.- L1	1379.5	35.5 ab	357.6	37.6 a
22.- Q3	1493.4 a	35.4 ab	386.4	35.7
23.- DR	1477.6 a	35.2	399.8 ab	31.5
24.- TR x L1	1174.4	34.9	399.7 ab	34.3
25.- WS x F3	1253.2	34.7	397.4	31.5

DFFF (Densidad de Flujo de Fotones Fotosintéticos), TAIR (Temperatura del Aire), CO₂ (Concentración de CO₂), HR (Humedad Relativa). Valores con las mismas letras dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

A.4.. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para las variables fisiológicas de 25 genotipos de tomate en tres ambientes de evaluación.

Genotipos	THOJA	FOTO	RE	CE	TRANS	UEAF
1.- F3 x D1	32	8.4	1	1.1	11.6	1.7
2.- Z4 x R1	31.4	10.1	1.1	1.2	11.4	2.1
3.- Z4 x L1	32.2	9.7	1.3	1.4 a	11.4	2
4.- Z4 x U2	32.8	5.9	1.3	1.2	10.6	1
5.- S1 x L1	33.3	10.5	1.5	0.9	10.9	2.4
6.- P3 x F3	32.7	12	1.1	1	12	3
7.- Q3 x R1	33.5	9	2.1	1.1	10	2.2
8.- Z4 x D 1	33.3	7.5	1.7	0.6	8.3	2.3
9.- Z4 x Q3	32.3	13.2	0.8	1.2	12.5	2.6
10.- TR x F3	32.6	12.2	1.3	0.9	10.3	3
11.- Z4 x SXXI	34.3	12.2	1.9	0.9	10.3	3.5 a
12.- F3 x CB	33.7	5.9	2.2	1	9.3	1.2
13.- DR x R1	3.6	8.6	1.4	1	11.2	1.9
14.- DR x Z4	32.5	11.2	1.2	1	10.8	2.3
15.- DR x Q3	32.9	4.9	1.6	0.7	9.4	0.9
16.- F3	35 a	12.1	1.8	0.9	10.9	3
17.- D1	34.4	8	2.4 a	0.9	9.6	2.3
18.- Z4	34.7 ab	7.1	2.3 ab	1	9.5	2.7
19.- R1	33.5	6.3	1.3	0.9	10.7	1.2
20.- U2	33.5	9.3	1.3	1	11	1.9
21.- L1	34	13.3	1.1	1.4 a	13.5 a	2.3
22.- Q3	34.5	12.3	1.1	1.2	12.9	2.3
23.- DR	34.5	12.8	1.4	0.9	10.8	2.7
24.- TR x L1	33.3	15.9 a	1.4	1.4	11.6	3.4 a
25.- WS x F3	33.6	12.1	1.3	1.2	11.6	2.6

THOJA (Temperatura de la Hoja), FOTO (Fotosíntesis), RE (Resistencia Estomática), CE (Conductancia Estomática), TRANS (Transpiración), UEAF (Uso Eficiente de Agua Fisiológico). Valores con las mismas letras dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

A.5. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para las variables de calidad de 25 genotipos de tomate en tres ambientes de evaluación.

Genotipos	COLOR	pH	BRIX	LICOP	VITC
1.- F3 x D1	1.8	4.3	4.8	6.5	15.4
2.- Z4 x R1	2.4	4.3	4.4	3.6	15.7
3.- Z4 x L1	2.3	4.4	4.4	3.7	17.1
4.- Z4 x U2	2.4	4.4	4.5	6.4	17.4
5.- S1 x L1	1.8	4.4	3.8	2.7	14.2
6.- P3 x F3	2.3	4.4	5	5.8	15.6
7.- Q3 x R1	2.8 a	4.5 a	4.5	11.8 a	13.4
8.- Z4 x D 1	2.7	4.5 a	5.2 a	4.9	17.4
9.- Z4 x Q3	2.3	4.4	4	5.6	18.2 ab
10.- TR x F3	2.6	4.4	4.4	6.7	16.3
11.- Z4 x SXXI	2.7	4.5 a	4.5	4.7	17.2
12.- F3 x CB	2.7	4.4	4.3	3.6	15.5
13.- DR x R1	2.8 a	4.4	5.1 a	3.4	17.9 ab
14.- DR x Z4	2.5	4.4	4.6	5.6	13.1
15.- DR x Q3	2.4	4.4	4.7	3.2	16.2
16.- F3	2.1	4.4	4.5	7.5 ab	18.5 a
17.- D1	1.7	4.4	4.2	5	14.7
18.- Z4	2.4	4.5 a	5	5	15.1
19.- R1	2.6	4.5 a	4.9	5.5	12.6
20.- U2	2.5	4.5 a	5.2 a	5.7	16.8
21.- L1	2.2	4.4	4.6	2.6	15.2
22.- Q3	1.7	4.5 a	4.1	3.9	15.9
23.- DR	2.3	4.5 a	5	4.7	14.9
24.- TR x L1	2.4	4.3	4.8	6.6	14.6
25.- WS x F3	2.4	4.5 a	4.2	3.5	16.2

COLOR (Color de Fruto), pH (Potencial de Iones Hidrógeno), BRIX (Grados Brix), LICOP (Licopeno), VITC (Vitamina C). Valores con las mismas letras dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

A.6. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para variables fenológicas en tomate bajo tres ambientes de evaluación.

Ambientes	DPC	DUC	DC	NC
1.- Rancho Nuevo	81.6 a	124 a	42.3 b	6.4 b
2.- Providencia	66.3 b	125.2 a	58.8 a	9.3 a
3.- UAAAN	65.8 b	110.7 b	44.8 b	5 c

DPC (Días a Primer Corte), DUC (Días a Ultimo Corte), DC (Días en Corte), NC (Número de Cortes), Valores con las mismas letras dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

A.7. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para variables de rendimiento en tomate bajo tres ambientes de evaluación.

Ambientes	NOFRT	DP	DE	PPF	REND
1.- Rancho Nuevo	12.7 b	5.7 b	5.8 b	141.2 a	29.5 c
2.- Providencia	23.5 a	6.1 a	6.1 a	115.3 b	64.9 a
3.- UAAAN	6.5 c	5.1 c	5 c	78.6 c	36.6 b

NOFRT (Numero de Frutos), DP (Diámetro Polar), DE (Diámetro Ecuatorial), PPF (Peso Promedio de Frutos), REND (Rendimiento). Valores con las mismas letras dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

A.8. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para variables climáticas en tomate bajo tres ambientes de evaluación.

Ambientes	DFFF	TAIR	CO₂	HR
1.- Rancho Nuevo	1508.2 b	34.7 b	346.6 c	37.9 a
2.- Providencia	498.5 c	31.6 c	400.7 a	40.5 a
3.- UAAAN	1699.5 a	37.3 a	372.7 b	17.5 b

DFFF (Densidad de Flujo de Fotones Fotosintéticos), TAIR (Temperatura del Aire), CO₂ (Concentración de CO₂), HR (Humedad Relativa). Valores con las mismas letras dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

A.9. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para variables fisiológicas en tomate bajo tres ambientes de evaluación.

Ambientes	THOJA	FOTO	RE	CE	TRANS	UEAF
1.- Rancho Nuevo	33.3 b	11.7 a	0.9 b	1.33 a	13.4 a	2.1 ab
2.- Providencia	29.5 c	10.2 b	1.11 b	1.36 a	9.2 b	2.8 a
3.- UAAAN	37.4 a	8.2 c	2.5 a	0.5 b	10.0 b	1.8 b

THOJA (Temperatura de la Hoja), FOTO (Fotosíntesis), RE (Resistencia Estomática), CE (Conductancia Estomática), TRANS (Transpiración), UEAF (Uso Eficiente de Agua Fisiológico). Valores con las mismas letras dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).

A.10. Comparaciones de medias (Prueba de Tukey) para variables de calidad en tomate bajo tres ambientes de evaluación.

Ambientes	COLOR	pH	BRIX	LICOP	VITC
1.- Rancho Nuevo	2.3 ab	4.5 a	4.5 b	8.5 a	15.7 ab
2.- Providencia	2.5 a	4.47 b	4.8 a	2.9 b	15.4 b
3.- UAAAN	2.2 b	4.42 c	4.5 b	4 b	16.4

COLOR (Color de Fruto), pH (Potencial de Iones Hidrógeno), BRIX (Grados Brix), LICOP (Licopeno), VITC (Vitamina C). Valores con las mismas letras dentro de cada columna son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$).