

**ESTUDIOS FISIOTÉCNICOS Y RENDIMIENTO EN MATERIALES GENÉTICOS DE  
TOMATE SALADETTE EN TRES AMBIENTES, EN CAMPO É INVERNADERO**

**RICARDO TRINIDAD GARCÍA**

**T E S I S**

**Presentada como requisito parcial  
para obtener el grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
EN FITOMEJORAMIENTO**



**Universidad Autónoma Agraria**

**"Antonio Narro"**

**PROGRAMA DE POSTGRADO EN  
FITOMEJORAMIENTO**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.**

**NOVIEMBRE DEL 2007**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**

**ESTUDIOS FISIOTÉCNICOS Y RENDIMIENTO EN MATERIALES  
GENÉTICOS DE TOMATE SALADETTE EN TRES AMBIENTES, EN CAMPO  
É INVERNADERO**

**T E S I S**

**Por**

**RICARDO TRINIDAD GARCÍA**

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

**MAESTRO EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO**

**Comité particular**

Asesor principal:

\_\_\_\_\_  
**Dr. Fernando Borrego Escalante**

Asesor:

\_\_\_\_\_  
**Dra. Ma. Margarita Murillo Soto**

Asesor:

\_\_\_\_\_  
**Dr. Alfonso López Benítez**

Asesor:

\_\_\_\_\_  
**Dr. Manuel de la Rosa Ibarra**

\_\_\_\_\_  
**Dr. Jerónimo Landeros Flores**  
Director de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Noviembre del 2007.

## *AGRADECIMIENTOS*

*A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Por permitirme culminar una nueva etapa de éxito profesional bajo cobijo de sus instalaciones y su personal.*

*Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Por todo el apoyo económico brindado durante los estudios de Maestría que permitieron mi formación y capacitación profesional.*

*Al Dr. Fernando Borrego Escalante. Por la aceptación en la asesoría de la tesis, así como en la revisión de la misma, la facilidad y disponibilidad de los recursos para culminar el trabajo de campo y por la transmisión de conocimiento primordial en mi formación profesional.*

*A la Dra. M. Margarita Murillo Soto. Por el apoyo en los trabajos de laboratorio, así como por su amable atención en la revisión del documento.*

*Al Dr. Alfonso López Benítez. Por la completa disposición en la formación de mi comité de asesoría, además por su valiosa aportación y revisión de la tesis.*

*Al Dr. Manuel de la Rosa Ibarra. Por su disponibilidad en la asesoría del trabajo, así como por su aportación y revisión del escrito.*

*Al Ing. Ma. de Lourdes Hernández Hernández. Aunque no es parte del comité tuvo gran participación en mi formación profesional, en la toma de datos de campo y en el laboratorio.*

*Al M. C. Víctor Manuel Parga Torres. Por su amistad y su valiosa aportación en mi formación tanto personal como profesional.*

*A todos mis amigos: Alejandro Montes, Ezequiel Gallegos, Cristina Aguilar, David Sánchez, Luis Hernández, Juan Espinosa, Daniel Sámano, Noé Musito, Mirna Hernández, Martha Gómez, Susana Gómez, Roberto Dorantes, Francisco Cárdenas y Carlos Lozano. Gracias a todos por compartir su tiempo conmigo y por la amistad que me brindaron.*

*A mis Profesores del Postgrado en Fitomejoramiento. UAAAN: Dr. Fernando Borrego, Dra. Margarita Murillo, Dr. Humberto de León, Dr. Humberto Reyes, Dr. Javier Lozano, Dr. Jorge González, Dr. Víctor Zamora, Dr. Froylán Rincón, Dr. Gaspar Martínez (+), Dr. Juan Manuel, Dr. Alfonso López y Dr. Mario Vásquez. Sinceramente, muchas gracias a todos por contribuir en mi formación académica y por compartirme sus experiencias.*

## DEDICATORIA

### *A MI ESPOSA E HIJO:*

*Por todo su amor, confianza y apoyo para culminar otra etapa de éxito en mi vida profesional.*

*Ana Isabel Méndez Lara. Por todo tu amor, paciencia, comprensión, confianza y apoyo incondicional en mis estudios de postgrado; por tu sacrificio y sufrimiento en los momentos de mi ausencia; por ser la mujer más maravillosa y especial del universo y por darme lo mejor que me ha dado la vida: mi hijo.*

*Ricardo Trinidad Méndez. Por darle tanta felicidad a mi vida y aunque por esta causa me he perdido buena parte de tu crecimiento, sé que tendría tu apoyo con la conciencia debida.*

### *A MIS PADRES:*

*Por darme la vida primordialmente e inculcarme valores que han hecho de mí una persona con grandes virtudes.*

*Fidencia García López. Por ser el ejemplo de mi vida: humilde, honesta, amable, dedicada, sincera, luchadora y trabajadora; gracias por ser mi madre.*

*Víctor Manuel Trinidad Becerra. Por ser soporte rígido del hogar, gran amigo, humilde, sincero y trabajador; gracias por ser mi padre.*

*A MIS HERMANOS:*

*Víctor, María del Carmen, Tania, Erika, Luís Enrique y Andrea Stephanie. Por todo su amor y por el apoyo recibido durante mi formación profesional.*

*A MIS ABUELOS, TÍOS, PRIMOS, CUÑADOS Y SOBRINOS.*

*A LA FAMILIA DE MI ESPOSA:*

*Por todo el apoyo incondicional recibido y por la confianza que han tenido en mí.*

*A cada una de las personas que han intervenido en mi formación personal y profesional, a todos... ¡GRACIAS!*

# COMPENDIO

## ESTUDIOS FISIOTÉCNICOS Y RENDIMIENTO EN MATERIALES GENÉTICOS DE TOMATE SALADETTE EN TRES AMBIENTES, EN CAMPO E INVERNADERO

POR

RICARDO TRINIDAD GARCÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO. NOVIEMBRE DE 2007.

Dr. Fernando Borrego Escalante ---Asesor Principal---

**Palabras clave:** *Lycopersicon esculentum* Mill., conductancia estomática, resistencia estomática, uso eficiente de agua, fotosíntesis, transpiración y rendimiento.

Ésta investigación se realizó con el objetivo de determinar el comportamiento de materiales genéticos de tomate saladette, bajo parámetros fisiotécnicos y de rendimiento en tres localidades de Coahuila,

en campo é invernadero. Se trabajó con 10 híbridos experimentales (Z4XR1, Z4XL1, Z4XU2, Z4XD1, TRXF3, Z4XS21, DRXR1, DRXZ4, DRXQ3, TRXL1), una línea experimental (Z4) y un híbrido comercial (DR), como testigo.

La evaluación de los materiales genéticos se realizó en el período primavera-verano 2006, en tres localidades de Coahuila: Buenavista, Rancho Nuevo y Providencia, las dos primeras localidades en condiciones de campo y, en la última localidad, en invernadero. Se evaluaron variables fenológicas: días a primer cosecha (DPC), días a última cosecha (DUC) y días en cosecha (DEC); variables agroclimáticas: luz incidente (DFFF), temperatura del aire (TAIR), concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico (CO<sub>2</sub>) y humedad relativa (HR); variables fisiológicas: temperatura de la hoja (THOJA), conductancia estomática (CE), resistencia estomática (RE), concentración de CO<sub>2</sub> intracelular (CINT), fotosíntesis (FOTO), transpiración (TRANS) y uso eficiente de agua fisiológico (UEAF); rendimiento cuantitativo: número de frutos (NF), número de cosechas (NC), peso promedio de frutos (PPF), rendimiento por planta (RENDPTA) y rendimiento por hectárea (REND), bajo un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones; y rendimiento cualitativo: coloración de frutos (COLOR), potencial de iones hidrógenos (pH), grados brix (BRIX), licopeno (LICOP) y contenido de vitamina C (VITC) bajo el mismo diseño experimental con 3 repeticiones. El análisis estadístico se realizó a través de localidades con el programa estadístico SAS, complementándose con correlaciones, análisis de componentes principales y análisis de clúster.

Los resultados muestran que los materiales presentan mayor precocidad en la localidad Providencia en comparación con Buenavista y

Rancho Nuevo. En la evaluación de los genotipos se destacan Z4XL1 y Z4, por su precocidad, lo que permite evadir factores adversos y llevar tempranamente la producción al mercado.

En las variables agroclimáticas, Providencia presentó condiciones atmosféricas más favorables para el desarrollo del cultivo en comparación con los demás ambientes. Se encontró que la luz incidente y temperatura de aire tienen más influencia en el desarrollo y producción del cultivo, ya que afectan la temperatura de la hoja y con ello, los procesos fisiológicos.

En las variables fisiológicas, la localidad Buenavista presentó las condiciones ambientales más adversas en comparación con Providencia. Los genotipos que presentaron mayor eficiencia fisiotécnica fueron, DRXZ4, DR, TRXF3, Z4XS21 y TRXL1.

En las variables de rendimiento cuantitativo, el ambiente Providencia obtuvo mayor rendimiento del cultivo ( $60 \text{ t ha}^{-1}$ ), en contraste, Rancho Nuevo obtuvo  $26 \text{ t ha}^{-1}$ . Los genotipos con superioridad fueron: TRXF3, Z4XR1, Z4XD1, Z4XU2, DR y Z4XL1.

En las variables de rendimiento cualitativo, se encontró que estas variables son muy influenciadas por el manejo agronómico y las condiciones ambientales, destacando algunos genotipos como Z4XU2, Z4XD1, TRXF3, Z4XL1, Z4XR1, DRXZ4, Z4 y TRXL1, por su superioridad con respecto al resto de los materiales.

No se encontró un patrón definido de correlación entre el rendimiento y las variables agroclimáticas y fisiológicas, aunque son de gran importancia ya que la expresión genética de los materiales depende del ambiente en que se desarrollen.

El análisis de factores principales permitió la discriminación de variables y la detección de genotipos sobresalientes. Encontrando que ocho eigenvalores concentran 95% de la varianza total. Se destacan algunos componentes como: el componente dos, cuyas variables significativas fueron: HR, COND, CE y TRANS (“regulación interna de temperatura”); el componente cuatro, con RENDPTA y REND significativas (“rendimiento cuantitativo”); el componente seis, cuyas variables significativas fueron FOTO y UEAF (“producción eficiente de fotosintatos”); el componente siete, resaltan con significancia las variables COLOR y VITC (“rendimiento cualitativo”) y, el componente ocho, con las variables significativas: DFFF, TAIR, THOJA y pH (“agroclimático”).

El análisis de clúster agrupó a los materiales genéticos en tres grupos germoplásmicos, coincidentes en incidencia de luz, concentración de CO<sub>2</sub> y aquellos con similitud en precocidad, capacidad de regulación térmica y en producción eficiente de fotosintatos, rendimiento cuantitativo y cualitativo, teniendo que, el grupo I lo conforman los genotipos DR y Z4XD1; el grupo dos, integrado por: TRXF3, TRXL1, Z4, Z4XS21, DRXR1, Z4XU2 y Z4XL1 y, el grupo tres, formado por: DRXZ4, DRXQ3 y Z4XR1.

## **ABSTRACT**

### **PHYSIOTECHNIQUE STUDIES AND YIELD IN SALADETTE TOMATO GENETIC MATERIALS IN THREE ENVIRONMENTS, IN FIELD AND GREENHOUSE**

By

RICARDO TRINIDAD GARCÍA

MASTER OF SCIENCE IN PLANT BREEDING

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. NOVEMBER OF 2007.

Dr. Fernando Borrego Escalante --Advisor---

**Key words:** *Lycopersicon esculentum* Mill., stomata conductance, stomata resistance, efficient water use, photosynthesis, transpiration and yield.

This research was done with the objective of determining saladette tomato genetic materials behavior, under physiotechnique and yield parameters in three localities of Coahuila in field and greenhouse. The genetic materials consisted of 10 experimental hybrids (Z4XR1, Z4XL1,

Z4XU2, Z4XD1, TRXF3, Z4XS21, DRXR1, DRXZ4, DRXQ3 and TRXL1), an experimental line (Z4) and a commercial hybrid (DR), as blank. The evaluation of the materials was conducted in the period spring-summer 2006, in three localities of Coahuila: Buenavista, Rancho Nuevo and Providencia, in conditions of field the two first localities and the one in greenhouse.

Phenologic variables: days to first harvest (DPC), days to last harvest (DUC) and days in harvest (DEC); Agroclimatic variables: incident light (DFFF), temperature of atmosphere (TAIR), atmospheric CO<sub>2</sub> concentration (CO<sub>2</sub>) and relative humidity (HR); Physiological variables: leaf temperature (THOJA), stomata conductance (CE), stomata resistance (RE), intracellular CO<sub>2</sub> concentration, photosynthesis (PHOTO), transpiration (TRANS) and efficient physiologic water use (UEAF) and yield variables: number of fruits (NF), number of harvests (NC), weight average of fruit (PPF), yield by plant (RENDPTA), yield by hectare (REND) were evaluated on a randomized complete blocks design with two repetitions; and qualitative yield: fruit coloring (COLOR), hydrogen potential ions (pH), brix degrees (BRIX), lycopene (LICOP) and vitamin C content (VITC), on the same design with three repetitions. The statistic analysis was made through localities with statistic SAS program, complementing it with correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis.

Results showed that materials have higher precocity at Providencia locality, compared with Buenavista y Rancho Nuevo. In the evaluation of the genotypes, Z4XL1 y Z4 genotypes outstand on precocity, permitting to escape adverse factors and take production early to the market.

In agroclimatic variables, Providencia presented favorable atmospheric conditions to the crop develop compared to the rest of the environments. It was founded that incident light and air temperature, have more influence on develop and crop production, since they affect leaf temperature and physiological processes with it.

On the physiological variables, the Buenavista locality had the worst environmental conditions, compared to those of Providencia. Genotypes that presented higher physiotechnique efficiency were, DRXZ4, DR, TRXF3, Z4XS21 and TRXL1.

In the quantitative yield variables, the Providencia environment had the highest crop yield ( $60 \text{ t ha}^{-1}$ ), against Rancho Nuevo with  $26 \text{ t ha}^{-1}$ . The outstanding genotypes were: TRXF3, Z4XR1, Z4XD1, Z4XU2, DR and Z4XL1.

On qualitative yield variables, it was founded influence by the agronomic management and environmental conditions on variables, outstanding some genotypes as Z4XU2, Z4XD1, TRXF3, Z4XL1, Z4XR1, DRXZ4, Z4 and TRXL1 against the rest of the materials.

Even their importance, because the genetic expression of materials depends on the developing environment, it was not founded a defined correlation pattern between yield and agroclimatic and physiological variables, although their great importance.

The principal factor analysis permitted a variable discrimination and outstanding genotypes detection. Finding eight eigenvalues concentrate a 95% of the total variance. Some component as number two, whose significant variables were: HR, COND, CE and TRANS (internal temperature

regulation); component four with significant RENDPTA and REND (quantitative yield); component six with the FOTO and UEAF significant variables (efficient photosyntates production) and the eight component with the significant: DFFF, TAIR, THOJA and pH variables (agroclimatic).

The cluster analysis grouped genetic materials in three germoplasmic groups, coincident in light incidence, CO<sub>2</sub> concentration and those with similar precocity, thermic regulation capacity and on efficient photosyntates production, quantitative and qualitative yield, having that group one is formed by DR and Z4XD1 genotypes; group two, by TRXF3, TRXL1, Z4, Z4XS21, DRXR1, Z4XU2 and Z4XL1 and group three conformed by DRXZ4, DRXQ3 and Z4XR1.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

COMPENDIO.....	vi
ABSTRACT.....	x
ÍNDICE DE CUADROS.....	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	3
1.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Crecimiento vegetal.....	4
2.2. Efectos de las variables agroclimáticas sobre el cultivo de tomate. ....	5
2.2.1. Temperaturas extremas.....	5
2.2.1.1. Bajas temperaturas.....	6
2.2.1.2. Altas temperaturas.....	7
2.2.2. Concentración de oxígeno.....	9
2.2.3. Concentración de CO <sub>2</sub> .....	10
2.2.4. Radiación Solar.....	11
2.2.5. Déficit hídrico.....	13
2.2.6. Humedad relativa.....	14
2.3. Aspectos fisiológicos involucrados en el rendimiento del cultivo de tomate.....	14
2.4. Estudios cualitativos de rendimiento en el cultivo de tomate.....	18
2.4.1. Estado de madurez.....	19
2.4.2. Aroma.....	19

2.4.3. Firmeza o Consistencia del fruto.....	20
2.4.4. Color.....	21
2.4.5. Vitaminas.....	22
2.4.6. Sólidos solubles y pH.....	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1. Localización del área de estudio.....	26
3.1.1. Buenavista, Saltillo, Coahuila.....	26
3.1.2. Providencia, Coahuila.....	26
3.1.3. Rancho Nuevo, Coahuila.....	26
3.2. Material genético.....	27
3.3. Manejo agronómico.....	28
3.3.1. Siembra.....	28
3.3.2. Preparación del terreno.....	29
3.3.3. Transplante.....	30
3.3.4. Tutorado.....	30
3.3.5. Podas.....	30
3.3.6. Riego.....	31
3.3.7. Fertilización.....	31
3.3.8. Cosecha.....	31
3.4. Toma de datos fenológicos.....	31
3.5. Toma de datos de rendimiento.....	32
3.6. Pruebas de calidad de fruto.....	32
3.7. Toma de datos fisiológicos.....	35
3.8. Variables evaluadas.....	35
3.8.1. Variables de Rendimiento (cuantitativas).....	35
3.8.2. Variables de Rendimiento (cualitativas).....	35
3.8.3. Variables Fisiológicas.....	35

3.8.4. Variables Agroclimáticas .....	35
3.9. Diseño experimental.....	36
3.10. Análisis de Componentes Principales.....	37
3.11. Análisis de Clúster.....	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1. Análisis de Varianza Combinado.....	38
4.1.1. Análisis de Varianza para Variables Fenológicas.....	38
4.1.2. Análisis de Varianza para Variables Agroclimáticas.....	42
4.1.3. Análisis de Varianza para las Variables Fisiológicas.....	47
4.1.4. Análisis de Varianza para las Variables de Rendimiento Cuantitativo.....	54
4.1.5. Análisis de Varianza para las Variables de Rendimiento Cualitativo.....	59
4.2. Análisis de Componentes Principales.....	66
4.3. Análisis de Clúster.....	75
V. CONCLUSIONES.....	78
VI. LITERATURA CITADA.....	80
VII. APÉNDICES.....	92

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Materiales genéticos establecidos en tres ambientes de Coahuila, México. ....	28
Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables fenológicas de 12 genotipos de tomate saladette.....	39
Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables agroclimáticas en 12 genotipos de tomate saladette.....	43
Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables fisiológicas de 12 genotipos de tomate saladette. ....	51
Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables de rendimiento en 12 genotipos de tomate saladette.....	57
Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables de calidad de 12 genotipos de tomate saladette. ....	63
Cuadro 7. Eigenvalores del análisis de componentes principales entre variables agroclimáticas, fenológicas, fisiológicas y de rendimiento en 12 genotipos de tomate, evaluados en tres ambientes.....	67
Cuadro 8. Contribución relativa de las variables analizadas en los componentes principales en 12 genotipos de tomate, evaluados en tres ambientes. ....	69
Cuadro 9. Contribución relativa de 12 genotipos de tomate saladette a cada uno de los componentes principales.....	71
Cuadro 10. Calificación final de los genotipos de tomate saladete, en base a características fenológicas, fisiotécnicas y de rendimiento, en tres ambientes de evaluación.....	74
A1. Comparaciones de medias para las variables fenológicas en 12 genotipos de tomate saladette, promedio de los tres ambientes de evaluación.....	92

A2. Comparaciones de medias para las variables fenológicas en 12 genotipos de tomate saladette por ambiente de evaluación. ....	92
A3. Comparaciones de medias para las variables agroclimáticas en 12 genotipos de tomate saladette, promedio de los tres ambientes de evaluación.....	93
A4. Comparaciones de medias para las variables agroclimáticas en 12 genotipos de tomate saladette por ambiente de evaluación. ....	93
A5. Comparaciones de medias para las variables fisiológicas en 12 genotipos de tomate saladette, promedio de los tres ambientes de evaluación.....	94
A6. Comparaciones de medias para las variables fisiológicas en 12 genotipos de tomate saladette por ambiente de evaluación. ....	94
A7. Comparaciones de medias para las variables de rendimiento en 12 genotipos de tomate saladette, promedio de los tres ambientes de evaluación.....	95
A8. Comparaciones de medias para las variables de rendimiento en 12 genotipos de tomate saladette por ambiente de evaluación. ....	95
A9. Comparaciones de medias para las variables de calidad en 12 genotipos de tomate saladette, promedio de los tres ambientes de evaluación.....	96
A10. Comparaciones de medias para las variables de calidad en 12 genotipos de tomate saladette por ambiente de evaluación. ....	96
A11. Correlaciones entre algunas variables fenológicas, agroclimáticas, fisiológicas y de rendimiento cuantitativo y cualitativo en 12 genotipos de tomate saladette en tres ambientes de evaluación.....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparaciones de medias para las variables fenológicas de 12 genotipos de tomate saladette por ambiente de evaluación. ....	40
Figura 2. Comportamiento fenológico de los 12 genotipos de tomate saladette en tres ambientes de evaluación. ....	41
Figura 3. Comportamiento de las variables DFFF y CO <sub>2</sub> en 12 genotipos de tomate saladette, por ambiente de evaluación. ....	44
Figura 4. Comportamiento de las variables TAIR y HR en 12 genotipos de tomate saladette, por ambiente de evaluación. ....	44
Figura 5. Comportamiento de 12 genotipos de tomate saladette de acuerdo a las variables TAIR, THOJA y REND, promedio de los tres ambientes de evaluación. ....	45
Figura 6. Comportamiento de 4 variables fisiológicas en 12 genotipos de tomate saladette, por ambiente de evaluación. ....	48
Figura 7. Comportamiento de las variables de resistencia y conductancia estomática en 12 genotipos de tomate saladette, por ambiente de evaluación. ....	48
Figura 8. Comportamiento de 12 genotipos de tomate saladette de acuerdo a las variables TRANS, FOTO y UEAF, promedio de los tres ambientes de evaluación. ....	52
Figura 9. Comportamiento de 12 genotipos de tomate saladette de acuerdo a las variables FOTO, UEAF y REND, promedio de los tres ambientes de evaluación. ....	53
Figura 10. Comportamiento de las variables de rendimiento cuantitativo en 12 genotipos de tomate saladette, por ambiente de evaluación. ....	55

Figura 11. Comportamiento de 12 genotipos de tomate saladette de acuerdo a las variables TRANS, FOTO y REND, promedio de los tres ambientes de evaluación.....	58
Figura 12. Comportamiento de las variables de rendimiento cuantitativo en 12 genotipos de tomate saladette, promedio de los tres ambientes de evaluación.....	58
Figura 13. Comportamiento de las variables de rendimiento cualitativo en 12 genotipos de tomate saladette, por ambiente de evaluación. ....	61
Figura 14. Comportamiento de las variables de rendimiento cualitativo en 12 genotipos de tomate saladette, promedio de los tres ambientes de evaluación.....	62
Figura 15. Comportamiento de 12 genotipos de tomate saladette evaluados en tres ambientes, considerando el componente dos y seis.....	73
Figura 16. Comportamiento de 12 genotipos de tomate saladette evaluados en tres ambientes, considerando el componente cuatro y seis. ....	73
Figura 17. Comportamiento de los 12 genotipos de tomate saladette evaluados en tres ambientes, considerando el componente seis y ocho. ...	74
Figura 18. Agrupamiento de 12 genotipos de tomate saladette mediante análisis de Clúster utilizando distancias euclidianas, evaluados en tres ambientes. ....	77
Figura 19. Agrupamiento de 27 variables fisiotécnicas en tomate saladette mediante análisis de Clúster utilizando distancias euclidianas, evaluados en tres ambientes. ....	77

## I. INTRODUCCIÓN

La familia *Solanaceae* incluye más de 2000 especies pertenecientes a 95 géneros. Los géneros con las especies de mayor importancia económica a nivel mundial son: *Solanum* (papa y berenjena), *Lycopersicon* (jitomate), *Nicotiana* (tabaco), *Capsicum* (chile dulce y picante), *Petunia*, *Physalis* (tomate de cáscara, tomate fresa, cereza de azúcar y otras) y *Atropa* (belladona) (Watson y Dallwitz, 2000).

El tomate representa una de las hortalizas que más se consumen a nivel mundial, siendo considerada la de mayor importancia, por la superficie cultivada, por su sabor y alto valor nutritivo, además de las divisas aportadas al país productor al exportarse; su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio (FAO, 2005). El tomate fresco se caracteriza por un alto contenido de agua (92%), con reducida cantidad de carbohidratos (3.5%), proteínas (1.2 g). El consumo de tomate se debe además del sabor, a que es rico en vitaminas A, C y E, también contiene calcio, potasio, minerales y además se ha comprobado que una dieta rica en tomate crudo podría reducir enormemente el riesgo de contraer cáncer, tal capacidad preventiva se debe a la actividad antioxidante del licopeno, ya que reduce la presencia de radicales libres (Etminan *et al.*, 2004; Erhardt *et al.*, 2003; Giovannucci *et al.*, 2002).

El tomate es uno de los principales cultivos hortícolas que se siembran en México. Se produce en los ciclos agrícolas otoño-invierno y primavera-verano bajo sistemas de producción de temporal o de riego. En el año 2006, se sembraron cerca de 70,000 has de tomate de todas las variedades con un rendimiento promedio de 31 t ha<sup>-1</sup>; de las cuales, aproximadamente 40,000 has pertenecen al tomate tipo saladette cuya producción total arribó a 1, 000,000 t, con un rendimiento promedio de 27 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2006). El tomate saladette es de gran importancia en el país, ya que ocupa aproximadamente el 60% de la producción nacional, además porque presenta resistencia a altas temperaturas, mayor vida de anaquel, resistencia al empaque, así como buena calidad de la pasta en comparación con el tipo bola, lo cual facilita el procesamiento y genera interés en la industria. Los principales estados productores en nuestro país son: Sinaloa, Baja California Norte, San Luís Potosí y Michoacán (SIAP, 2006).

En México, el mejoramiento genético de tomate está orientado principalmente a incrementar el rendimiento, tolerancia y resistencia a condiciones ambientales adversas, plagas y enfermedades (Rodríguez *et al.*, 2004). La gran variedad de condiciones en las que se cultiva esta hortaliza han llevado a desarrollar una notable diversidad de técnicas y a crear cultivares adaptados a condiciones desfavorables; aunque se tienen pocos avances en la formación de variedades orientadas a la producción en el Norte de México, cuyas condiciones ambientales de temperaturas extremas, sequías, suelos de mala calidad, humedad relativa baja y alta incidencia de luz, etc., reducen el potencial de producción de ésta hortaliza, por lo que se tiene que recurrir a la evaluación de cultivares extranjeros cuyo costo es

elevado, además difieren en adaptación, productividad, resistencia a factores bióticos y abióticos y calidad. Por lo que la presente investigación tiene como objetivos:

### **1.1. Objetivo general.**

Determinar el comportamiento de materiales genéticos de tomate saladette en base a parámetros fisiotécnicos y de rendimiento en tres localidades de Coahuila, en campo e invernadero.

### **1.2. Objetivos específicos.**

Determinar los parámetros agroclimáticos que más influyen en el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate.

Determinar el comportamiento fisiológico de los materiales genéticos bajo diferentes sistemas de producción.

Comparar el rendimiento y calidad de los materiales genéticos bajo diferentes sistemas de producción.

Determinar los componentes principales de variación en los genotipos en estudio.

Determinar el parentesco genético de materiales evaluados en tres ambientes.

### **1.3. Hipótesis.**

La evaluación de los materiales genéticos derivados de un programa de mejoramiento fisiotécnico de tomates tendrá comportamientos superiores a testigos, para la producción agrícola en el norte de México.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Crecimiento vegetal.

El crecimiento vegetal, entendido como un aumento irreversible en tamaño de los organismos, implica a nivel fisiológico una serie de cambios y reacciones de tipo bioquímico, de las cuales depende el comportamiento agronómico y el rendimiento potencial de los diferentes genotipos. El crecimiento se determina mediante medidas directas, entre ellas: altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar y masa seca, é indirectas, como la tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo, tasa relativa de crecimiento, etc. (Salisbury y Ross, 1994).

En el crecimiento de la planta tienen lugar una serie de cambios estructurales de tamaño, peso y forma específicos, que ocurren de acuerdo con los patrones de división celular y diferenciación, los cuales no pueden considerarse fuera del contexto ambiental. La densidad de población, la intercepción de radiación solar, el suministro de agua y nutrientes, son aspectos importantes en el estudio en los cultivos, ya que se encuentran directamente relacionados con eventos fisiológicos que afectan la producción y acumulación de materia seca entre los diferentes órganos (Rodríguez, 2000).

El ambiente operacional es el conjunto de variables microambientales que incluye a la temperatura, radiación, humedad, viento, las condiciones de suelos y factores bióticos a los que la planta está expuesta en forma directa, en otras palabras, el microclima, las condiciones edafológicas y biológicas cercanas a la zona donde la planta crece y se desarrolla (Salisbury y Ross, 1994).

Las plantas, en su crecimiento, requieren: luz, CO<sub>2</sub>, nutrientes, oxígeno, agua, y una temperatura adecuada tanto en la parte aérea como en las raíces, que son factores básicos en el proceso de la fotosíntesis, y con ello en la producción de biomasa, una fracción de la que se obtiene el producto cosechable, la producción. El rendimiento de un cultivo depende de la intercepción de radiación por parte de los órganos fotosintéticos, la eficiencia en la producción de biomasa por parte de la planta y la fracción de biomasa que se destina a las partes cosechables (Salisbury y Ross, 1994).

A continuación se explican algunos estreses al que regularmente se encuentran expuestos los cultivos, los cuales acarrearán problemas fisiológicos y que merman el rendimiento:

## **2.2. Efectos de las variables agroclimáticas sobre el cultivo de tomate.**

### **2.2.1. Temperaturas extremas.**

La temperatura del aire es el principal componente del ambiente que influye en el crecimiento vegetativo, desarrollo de racimos florales, el cuaje, desarrollo, maduración y la calidad de los frutos, ya que influye en la distribución de los productos de la fotosíntesis. Long y Hallgren (1987) señalan que los procesos fisiológicos, tales como la germinación,

fotosíntesis, respiración y crecimiento responden a la temperatura, y que la respuesta del cultivo depende de la temperatura óptima de cada uno de los procesos fisiológicos (Conroy *et al.*, 1994).

Las temperaturas extremas son causa de alteraciones morfológicas, desórdenes fisiogénicos y finalmente disminución en los rendimientos y calidad del tomate (Sato *et al.*, 2006). En tomate se ha encontrado que la absorción de sacarosa puede ser manipulada por la alteración del metabolismo a través de un incremento o decremento en la temperatura (Dinar y Stevens, 1982; Walker y Ho, 1977).

#### **2.2.1.1. Bajas temperaturas.**

Los efectos de las bajas temperaturas en las plantas incluyen cambios en la bioquímica y biofísica de las membranas (Nishida y Murata, 1996), en la síntesis proteica, modificaciones conformacionales en enzimas (Bunce, 1998), en la ultraestructura de mitocondrias y cloroplastos (Kratsch y Wise, 2000) y en los metabolismos fotosintético y respiratorio (Nilsen y Orcutt, 1996) además de disminución del crecimiento y alteraciones en el desarrollo (Allen y Ort, 2001), produciendo efectos a diversos niveles del aparato fotosintético, ya que promueve el cierre estomático (Perera *et al.*, 1995), lo cual puede provenir de (a) la existencia de déficit hídrico, (b) por aumento de CO<sub>2</sub> intracelular debido a la disminución de la tasa de asimilación y (c) por efectos directos de las bajas temperaturas en los estomas; pudiendo tener diversas causas como la disminución de la conductividad hidráulica de las raíces y alteraciones en el grado de control estomático (Allen y Ort, 2001), conduciendo a un desbalance entre captación de agua y transpiración (Vernieri *et al.*, 2001).

El daño inducido por bajas temperaturas varía ampliamente según las especies, tanto en magnitud como en la escala temporal en la que los primeros síntomas aparecen. En algunas especies estos daños pueden aparecer durante el episodio de estrés, en otras, en cambio, en el período posterior de recuperación, en que las plantas son sometidas a temperaturas 'normales' para la especie. La variabilidad en el grado de daño también puede observarse a nivel celular, donde unos componentes son más dañados que otros. Se ha señalado que los cloroplastos parecen ser los organelos más sensibles a las bajas temperaturas (Nilsen y Orcutt 1996). En tanto, los procesos fotosintéticos que ocurren a nivel tilacoidal (transporte de electrones, fotofosforilación) como en el estroma cloroplástico pueden ser alterados por períodos de bajas temperaturas.

#### **2.2.1.2. Altas temperaturas.**

Las altas temperaturas es uno de los más importantes fenómenos que afectan adversamente la producción de los cultivos, dañando los procesos reproductivos y vegetativos del cultivo de tomate, causando alteraciones morfológicas o desórdenes fisiológicos, que se manifiestan en disminución de la fotosíntesis neta por estrés hídrico o un aumento en las tasas respiratorias (Alía, 2000; Polley, 2002; Sato *et al.*, 2006), afectando el rendimiento y la calidad de los frutos (Abdul, 1991) por mal desarrollo de óvulos, así como la fecundación, el desarrollo de la planta y del sistema radical y durante la floración provocan abscisión de flores, de la misma forma, se afecta la maduración del fruto en lo referente a la precocidad y coloración, originando tonalidades amarillentas (Peet *et al.*, 1997).

Dinar y Rudich (1985) reportan en plantas de tomate que las altas temperaturas afectan distintos procesos fisiológicos y bioquímicos, entre ellos, la actividad enzimática fotosintética, la integridad de la membrana, fotofosforilación, transporte de electrones en los cloroplastos, conductancia estomática para difusión de CO<sub>2</sub> y translocación de fotoasimilados, incidiendo finalmente en una reducción del rendimiento, esto debido, a que las plantas cambian su vía metabólica, ya que la síntesis de la mayoría de las proteínas se reprime y se cambia por la síntesis de proteínas llamadas de choque térmico (Vierling, 1991).

Salvucci y Crafts (2004) en su trabajo titulado relaciones entre la tolerancia de la fotosíntesis al calor y la estabilidad térmica de *Rubisco activasa* en plantas de ambientes térmicos contrastantes, encontró que la inhibición de la fotosíntesis neta se debía a una inhabilidad de *Rubisco activasa*, y que la fotosíntesis neta aumentaba marcadamente con el incremento de CO<sub>2</sub> interno en plantas sujetas a estrés moderado de calor.

Rodríguez *et al.*, (2005) en la evaluación del comportamiento de una variedad tolerante y una susceptible al tratamiento de calor, encontraron que el impacto del tratamiento causó importantes reducciones de la tasa de fotosíntesis neta de las plantas de la variedad susceptible, atribuyendo que la tendencia fue debida a la reducción en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, generada por afectación en el ciclo de Calvin y también en el funcionamiento del Fotosistema II, provocando lesión de la membrana plasmática, no siendo así para la variedad tolerante.

Sato *et al.*, (2006) menciona que el calentamiento global está ganando significancia en la amenaza de los ecosistemas naturales, puesto que la temperatura es uno de los factores ambientales principales que afectan la productividad de las plantas. Encontró que las plantas crecidas bajo un estrés de temperatura (32/26° C día/noche) no presentaron cambios significativos en la biomasa, en el número de flores y en el número de granos de polen producidos, aunque tuvieron decremento significativo en el número de racimos de frutos, la viabilidad del polen y el número de granos de polen lanzados. En tanto, el contenido de glucosa y fructosa en el androceo fueron generalmente más altos en el testigo (28/22° C día/noche) que bajo la influencia del estrés.

### **2.2.2. Concentración de oxígeno.**

Una concentración de oxígeno menor a 21% conduce a una maduración más lenta, ya que se reduce la velocidad de reacción en varios procesos fisiológicos como la producción de etileno y la actividad de enzimas relacionadas con el ablandamiento celular, afectando la degradación del almidón, la clorofila y la síntesis de licopeno,  $\beta$ -caroteno y azúcares solubles (Peppelenbos, 1997; Thompson, 1998). Una concentración de oxígeno menor al 10% afecta la respiración (Wills *et al.*, 1981). La respuesta al etileno se ve inhibida significativamente con niveles de 3% (Silva *et al.*, 1999), en tanto que concentraciones inferiores al 1% ocasionan desórdenes fisiológicos, demorando la maduración y cuando los frutos se transfieren al aire se producen podredumbres antes de que se complete la coloración (Thompson, 1998), consecuencia de una fermentación anaeróbica en el almacenamiento (Li *et al.*, 1973).

Kader y Ben-Yehoshua (2000) han expuesto que entre 40 y 50 kPa de O<sub>2</sub> aceleran la maduración del tomate, y que entre 60 y 100 kPa de O<sub>2</sub> estimulan la biosíntesis de licopeno en las variedades con genes mutantes de la maduración (“rin” o “ripening inhibitor” y “nor” o “nonripening”).

### **2.2.3. Concentración de CO<sub>2</sub>.**

La concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico se ha elevado por cerca de 37% durante los dos últimos siglos, teniendo un nivel de 370 μmol mol<sup>-1</sup> en el presente (Keeling and Whorf, 2000), aunque se proyecta se duplique en el próximo siglo (Alcamo *et al.*, 1996) contribuyendo hacia un clima más cálido y cambios en las precipitaciones (Giorgi *et al.*, 1998).

Bowes (1991) y Sage (1994) mencionan que se disminuye la capacidad fotosintética por exposición prolongada a elevadas tasas de CO<sub>2</sub>, debido a un decremento en las enzimas fotosintéticas, inhibición de la fotosíntesis, seguida de la acumulación de carbohidratos en hojas por la insuficiente demanda, o reubicación del nitrógeno desde el aparato fotosintético, para reunir otras demandas dentro de la planta.

Yang y Chinnan (1987) mencionan que los cambios en las concentraciones de O<sub>2</sub> tienen mayor efecto que los de CO<sub>2</sub>, aunque con 3-5 kPa CO<sub>2</sub> se retrasa la maduración del tomate, en parte porque inhibe la biosíntesis de etileno.

El tomate es un fruto cuyo comportamiento respiratorio es de tipo climatérico, con una intensidad relativamente elevada (10, 15, 22, 35 y 43 mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 5, 10, 15, 20 y 25° C, respectivamente) y una emisión de etileno moderada de unos 5 a 8 μL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 12° C en frutos pintones y de unos 10 μL C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a 20° C, con un máximo de emisión etilénica

coincidente o algo retrasada respecto al pico respiratorio. El tomate es muy sensible al efecto de esta fitohormona, con un umbral de 0.5 ppm C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>. Los considerables cambios físicos y químicos que suceden en la maduración del tomate durante el climaterio se manifiestan en una rápida evolución del color verde, con degradación de clorofilas, hacia tonos anaranjados y rojos, acompañado de un descenso de la firmeza, una ligera disminución de la acidez, un pequeño aumento no significativo de los sólidos solubles y un aumento significativo de licopeno (Artés, 1999; Artés y Escriche, 1994; Artés *et al.*, 1998; Escriche *et al.*, 1991; Casas *et al.*, 1994; Gross *et al.*, 2003; Kader, 2000).

Se ha reportado que la disminución del CO<sub>2</sub> intracelular inhibe la actividad de enzimas, como la sacarosa-fosfato sintasa, ejerciendo un efecto 'feedback' sobre la tasa de asimilación (Vassey *et al.*, 1991), en tanto, en las plantas C<sub>3</sub> puede producirse fotorrespiración debido a la incorporación de O<sub>2</sub> en el ciclo de Calvin (Rodríguez *et al.*, 2005).

#### **2.2.4. Radiación Solar.**

La energía solar constituye la principal fuente de energía para la fotosíntesis y bioproductividad, es importante para el crecimiento vegetal y se inicia su aprovechamiento cuando la luz es absorbida por la clorofila en las partes verdes de las plantas. Sin embargo, la eficiencia fotosintética puede ser definida como una fracción de la Radiación Fotosintéticamente Activa, energía que puede almacenarse como consecuencia de la fotosíntesis (Nobel, 1999).

El tomate es un cultivo al que no lo afecta el fotoperíodo; sus necesidades de luz oscilan entre 8 y 16 horas; aunque requiere buena iluminación. Valores reducidos pueden incidir en forma negativa sobre los procesos de la floración y fecundación, así como el desarrollo vegetativo de la planta.

Se ha demostrado que la luz modula la actividad ó síntesis de ciertas enzimas funcionales del metabolismo del cabono (Sicher y Krember, 1985; Vassey, 1989), en tanto, en frutos de tomate altera la síntesis de proteínas y pigmentos (Guan y Janes, 1991). En plantas de tomate crecidas bajo alta radiación solar se producen frutos con altos contenidos de azúcares (Guan y Janes, 1991) y con un marcado decremento en aborción floral (Sato *et al.*, 2006).

McAvoy y Jones (1989) reportan en tomate que cuando se incrementa de 710 a 1083 mol m<sup>-2</sup> de luz, incrementa proporcionalmente el rendimiento y el número de frutos por planta de: 414 a 560 grs. y de 3 a 3.4 frutos por planta.

Guan y Janes (1991) al estudiar los efectos de la luz/obscuridad en el crecimiento y acumulación de azúcar en fruto de tomate en la etapa temprana de desarrollo en plantas *in vivo* y en cultivo de tejidos (*in vitro*), se encontraron crecimientos similares bajo las condiciones de cultivo. La obscuridad decreció el peso seco del fruto cerca del 40% en condiciones *in vivo* e *in vitro*, lo que indica que la luz estimula el crecimiento del fruto como resultado de la estimulación del contenido de azúcar, metabolismo y almacenamiento de azúcar y/ó fotosíntesis. Las diferencias en la tasa de intercambio de CO<sub>2</sub> entre el crecimiento del fruto en luz y obscuridad indican

que la luz estimula el crecimiento debido a mecanismos distintos a la fotosíntesis, observándose una reducción en la tasa de CO<sub>2</sub> en condiciones de luz debido a la fijación de carbono, ó a un decremento en la respiración, ó ambos. El contenido de sacarosa fue estadísticamente igual en condiciones de luz que de obscuridad, duplicando el contenido de almidón y hexosa en condiciones de luz.

#### **2.2.5. Déficit hídrico.**

Entre los factores abióticos, el estrés por déficit hídrico es considerado uno de los más relevantes, tanto desde una perspectiva ecológica como agronómica, respecto a los cultivos (Richards *et al.*, 2001), ya que limita la distribución geográfica y el rendimiento de la mayoría de los cultivos (Araus *et al.*, 2002). El estrés hídrico se considera un síndrome complejo, integrado por una serie de procesos, algunos deletéreos y otros adaptativos (Chaves *et al.*, 2002), produciendo la inhibición del crecimiento, cierre estomático y afectando el ajuste osmótico.

El cierre de los estomas, reflejado como una disminución de la conductancia estomática, juega un papel central en la disminución de la tasa transpiratoria y por ende del agua consumida, lo que produce una caída de la asimilación de CO<sub>2</sub> y algunos efectos asociados, como acumulación de poder reductor, susceptibilidad a la fotoinhibición y/ó fotooxidación (Lawlor, 2002), así como sobre el crecimiento, conduciendo a una disminución del área foliar del dosel vegetal (Passioura, 1994) y de la capacidad total de asimilación por parte del cultivo.

### **2.2.6. Humedad relativa.**

La humedad relativa óptima del cultivo oscila entre el 60% y 80%, favoreciendo el desarrollo normal de la polinización y garantizando la producción. Valores muy altos, con baja iluminación, reducen la viabilidad del polen, ya que se compacta, abortando parte de las flores, limitando la evapotranspiración, reduciendo la absorción de agua y nutrientes y generando déficit de elementos como el calcio, lo que induce desórdenes fisiológicos como podredumbre apical del fruto, provocando el desarrollo de enfermedades fungosas y favoreciendo el desarrollo de enfermedades del follaje y el agrietamiento del fruto (Chung y Choi, 2002).

Una humedad relativa baja, menor de 45%, provoca que la tasa de evapotranspiración aumente, lo que provoca estrés hídrico, generando que la planta aumente el consumo de agua (Shibuya *et al.*, 2003) y evitando el consumo de nutrientes, limitando su crecimiento y acumulando sales en el medio, causando problemas en el desarrollo del cultivo, cierre estomático y reducción de fotosíntesis, afectando directamente la polinización en la fase de fructificación.

### **2.3. Aspectos fisiológicos involucrados en el rendimiento del cultivo de tomate.**

Allen y Rudich (1978) mencionan que el rendimiento y la calidad de los cultivos resultan ser los primeros objetivos en el mejoramiento del cultivo de tomate; estas características están determinadas por una serie de componentes estructurales y funcionales extremadamente complejos que

requieren ser entendidos para enfocar el mejoramiento hacia características adecuadas.

El rendimiento del cultivo de tomate está de acuerdo a la fijación total de CO<sub>2</sub> del aire en un día determinado (Asimilación Bruta, kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>) la cual depende de la tasa fotosintética (TAB, kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>), y ésta a su vez, de la cantidad de radiación interceptada por el cultivo y de la eficiencia con que se usa esa radiación en el proceso de fotosíntesis. La cantidad de radiación interceptada depende del índice de área foliar (IAF) y la arquitectura foliar del cultivo y de la cantidad de radiación incidente. La eficiencia con que se usa esa radiación depende de la temperatura, disponibilidad de agua y CO<sub>2</sub>, estado nutricional del cultivo y edad promedio del follaje (Lovenstein *et al.*, 1993).

Matthew y Foyer (2001) mencionan que la fotosíntesis es uno de los más altos reguladores que integra el proceso metabólico, maximiza el uso de la luz disponible, reduciendo al mínimo los efectos perjudiciales por su exceso, además optimiza el uso de los recursos limitantes de carbono y nitrógeno; los fotosintetizados y las fitohormonas, particularmente las citoquininas, interactúan con el nitrógeno para controlar la expresión de los genes de la fotosíntesis; el desarrollo de la hoja y la distribución del nitrógeno en la planta, proveen la base dominante de la fotosíntesis.

Fernández (1992) menciona que a través de los estomas, las plantas toman CO<sub>2</sub> atmosférico necesario para efectuar la fotosíntesis, estos dos procesos son influidos ó determinados por la conductancia estomática, la cual es influenciada por la luz y por el potencial osmótico, por lo que todos los procesos están estrechamente relacionados y funcionando como un

sistema, en tanto, Warren (2004) menciona que la conductancia interna y el suplemento de CO<sub>2</sub> en las cavidades subestomáticas pueden ser una limitante para la fotosíntesis, teniendo que a mayor difusión de CO<sub>2</sub> desde la atmósfera hasta los cloroplastos, habrá mayor fotosíntesis.

El rendimiento de los cultivos es a menudo limitado por la disponibilidad de agua y el cambio climático global, junto con el incremento en la competencia por los recursos de agua, lo que hace necesario la mejora genética para la obtención de materiales con uso eficiente de agua (Parry *et al.*, 2005); por ello, Walker (1992) menciona que los intentos genéticos de realzar la fotosíntesis deben concentrarse en maximizarla, ya que en condiciones de campo, la tasa fotosintética máxima es presionada con frecuencia por las condiciones ambientales adversas (estrés), lo cual trae reducción del rendimiento y además se encuentra fuertemente relacionada con la transpiración, de esta manera la eficiencia de transpiración puede ser definida como el rendimiento del cultivo por unidad de agua transpirada ó, a nivel de la planta entera, la biomasa ganada por unidad de agua transpirada, a nivel de hoja individual, la proporción entre la tasa de CO<sub>2</sub> asimilado y la conductancia estomatal (Condon *et al.*, 2002).

Polley (2000) menciona que el uso eficiente de agua ó eficiencia de transpiración, se define como la proporción de la tasa de fotosíntesis neta o tasa de asimilación para transpiración, además establece que el rendimiento se ve afectado por la disponibilidad de agua y por la eficiencia en su uso, estos dos parámetros son afectados por la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico que determinan una eficiente transpiración. El incremento en la transpiración resulta en un incremento en la fotosíntesis y un decremento en

la conductancia estomatal. Por otro lado, el aumento de la temperatura merma el rendimiento, pero mejora el uso eficiente de agua a una alta concentración de CO<sub>2</sub>. Incrementos de CO<sub>2</sub> repercutirán en incrementos del uso eficiente del agua, principalmente por incrementos de la fotosíntesis y crecimiento de la planta.

Ehleringer *et al.*, (1993), Brown (1995) y Kramer and Boyer (1995) mencionan que el uso eficiente del agua no es una característica fija en cada una de las especies, pero es de interés para los fisiólogos y mejoradores porque se usa para definir interacciones de uso de agua y ganancia de nutrientes y su afectación en el crecimiento vegetal, sobrevivencia y respuesta al estrés; lo que se puede mejorar con ayuda de las prácticas agronómicas, ya que cambian la estructura del dosel, estructura y nutrientes del suelo y la dinámica de energía, modificando la producción o adquisición de agua y su uso eficiente (Claussen, 2002; Frank, 2003).

Stanhill (1986) indica que una alta eficiencia en el uso del agua en un cultivo acarrea altos rendimientos por la menor cantidad de agua utilizada, indicando que se deben cuidar más los factores fotosintéticos y de respiración que la transpiración, ya que son los procesos más sensitivos al estrés hídrico, definiendo el uso eficiente del agua desde el punto de vista fisiológico, como la porción de peso de agua perdida a la atmósfera por el cultivo, con relación a la producción de materia seca total, y que la capacidad de una planta para tener uso eficiente del agua depende de muchos factores, entre ellos, las condiciones atmosféricas, estado de desarrollo de la planta y propiedades físicas y químicas del suelo.

Aikman y Houter (1990) mencionan a la transpiración como un factor importante en la producción de los cultivos; mientras que Fernández (1992) menciona la importancia de los estomas en la transpiración y que el movimiento estomatal depende de la estructura y del cierre de las células, así como de los cambios en la turgencia.

De Groot *et al.*, (2003) en un estudio realizado para la regulación de la fotosíntesis en la planta de tomate bajo condiciones de estrés de nitrógeno y fósforo, en relación con la limitante de regeneración. Reportan que bajo estrés de nitrógeno, la fotosíntesis disminuyó, al igual que la absorción de la luz, provocando la utilización de asimilados; aunque el contenido de almidón y la sensibilidad del oxígeno aumentó, la fijación de CO<sub>2</sub> disminuyó. Con el estrés de fósforo se afectó principalmente la capacidad de carboxilación, incrementando el contenido de almidón y disminuyendo la sensibilidad del oxígeno.

#### **2.4. Estudios cualitativos de rendimiento en el cultivo de tomate.**

Garza (1980) y Peirce (1992) mencionan que las características del fruto, tamaño y forma, están determinados por varios genes y son obtenidos principalmente por la explotación de la heterosis de los híbridos, de igual forma, las variaciones en la calidad del fruto son numerosas, debido al complejo genético, fisiológico e influencias del medio ambiente.

La apariencia visual externa, tamaño apropiado, color rojo uniforme, ausencia de defectos, buena firmeza, sabor, aroma característico y adecuada vida útil, son los aspectos más importantes en la compra de tomate.

La calidad óptima para el consumo de tomate fresco se obtiene cuando se permite que los frutos maduren en la planta, alcanzándose de este modo el máximo sabor (Kader y Ben-Yehoshua, 2000). Para determinar el momento óptimo de recolección se incluyen factores de apariencia, como el estado de madurez, el tamaño, la forma, la firmeza, la ausencia de podredumbres y de defectos fisiológicos, marchitamiento general o peripeduncular con pardeamiento, arrugamiento, rajado o “cracking” de la epidermis, golpe o quemadura de sol, desarrollo anormal del color de la epidermis o de la pulpa, inexistencia de tejido placentario, deformaciones, etc., y de daños mecánicos como heridas, cicatrices, golpes, rozaduras, etc., o por heladas, granizo, insectos o parásitos. Otros muy importantes son el aroma y el sabor, y también se consideran la formación de abundante tejido placentario y el valor nutritivo (Artés, 1999; Artés *et al.*, 1998).

#### **2.4.1. Estado de madurez.**

El estado de madurez en la recolección es seguramente el factor más determinante de su vida comercial y calidad de consumo. Los frutos recolectados verdes, cuando maduran tras la recolección, son más sensibles a la deshidratación, marchitamiento, daños mecánicos, de inferior calidad y con menor valor nutritivo, que los recolectados maduros (Kader, 2000).

#### **2.4.2. Aroma.**

Los compuestos más significativos que influyen en el aroma de los tomates son los aldehídos volátiles, que derivan de la degradación oxidativa de los ácidos grasos, destacando el *cis*-3-hexenal, derivado del ácido linolénico (Buttery, 1987), se encuentra en una concentración 31% mayor en

tomates madurados en planta que cuando la cosecha es anticipada (Saltveit, 1999).

### **2.4.3. Firmeza o Consistencia del fruto.**

Un aspecto que debe tomarse en cuenta en las evaluaciones de cultivares é híbridos de tomate, es la consistencia del fruto o firmeza, la cual se manifiesta por una resistencia al manipuleo y transporte. El ablandamiento en la maduración del tomate se debe a la despolimerización de las pectinas de la pared celular y de la lámina media en los tejidos del parénquima, producida por la acción de las enzimas polisacárido hidrolasas, entre las cuales la poligalacturonasa (EC 3.2.1.15; poli [1,4- $\alpha$ -D-galactouronido] glucanohidrolasa) o PG, es una de las más abundantes y la mayor responsable de dicha despolimerización, cuya actuación en conjunto con la pectin metil esterasa y las celulasas (Tucker *et al.*, 1980), la expansina (LeExp1) y una  $\beta$ -galactosidasa (TBG4) hacen posible este fenómeno, aunque las bases moleculares de este proceso aún no se conocen bien en el tomate (Giovannoni, 2004; Powell *et al.*, 2003).

Colelli *et al.*, (2003), Mir *et al.*, (2004) y Sun *et al.*, (2003) mencionan que el 1-methylcyclopropeno (1-MCP), un inhibidor competitivo de la acción del etileno, a solo 100 nL/L, inhibe la producción y emisión de etileno, retrasa el pico climatérico, frena la respiración, la degradación de clorofila, la pérdida de vitamina C y de acidez, la actividad PG y el ablandamiento, la velocidad de acumulación de licopeno con desarrollo del color rojo externo y en escasa medida el interno y altera algo el perfil aromático del tomate. La deshidratación y el contenido en sólidos solubles no parece verse afectada por el 1-MCP, que puede prolongar la vida comercial hasta 10 días a 20-22°

C y hasta 15 días a 9-11° C, reduciendo las podredumbres respecto al testigo, por lo que su aplicación comercial se considera factible.

#### **2.4.4. Color.**

El color de la epidermis es un buen indicador del estado de madurez del tomate y de la mayoría de productos hortícolas; los cambios se hallan controlados por enzimas que son altamente dependientes del etileno, que participan regulando la síntesis de licopeno,  $\beta$ -caroteno y la degradación de la clorofila (Hobson y Grierson, 1993). El mejoramiento genético es bajo la vía del incremento del licopeno, el cual es incorporado por los genes *ogc* y *hp*. Estos genes deben ser utilizados en forma conjunta, ya que el gen *ogc* reduce el contenido de  $\beta$ -caroteno y en consecuencia, reduce el valor nutricional y disminución de la vitamina A; el gen *hp*, en combinación con el gen *ogc*, restaura e incrementa el  $\beta$ -caroteno, mejorando el color del fruto (Gould, 1992; Sacks y David, 2001).

El tomate es un fruto carotenogénico, con una síntesis masiva de carotenoides durante su maduración, acompañada por un cambio en su perfil de carotenoides. En los cromoplastos, los carotenoides se acumulan en estructuras lipídicas, aunque en el tomate se han encontrado también cristales de carotenoides, principalmente carotenos, inmersos en el espacio estromático (Artés *et al.*, 2002). El color rojo resulta del reemplazo de las clorofilas degradadas por los pigmentos carotenoides, con aumento de licopeno, su caroteno específico y más abundante, con frecuencia de 4 a 7 mg/100 g, en las variedades rojas, anaranjadas y amarillas, y de xantofilas, cuando los cloroplastos se convierten en cromoplastos. Inicialmente se sintetiza fitoeno (incoloro), para posteriormente convertirse en  $\zeta$ -caroteno

(amarillo pálido),  $\beta$ -caroteno (anaranjado) y xantofila (amarilla). La síntesis de pigmentos amarillentos precede a la de los rojizos (licopeno y  $\beta$ -caroteno), pero la masiva acumulación de éstos termina enmascarando a aquellos. Si la maduración sucede a temperaturas inferiores a 12° C, subóptimas para la síntesis de licopeno, en los cromoplastos se acumula  $\beta$ -caroteno, cuya síntesis progresa a esas temperaturas, dando lugar a frutos anaranjados o amarillentos (López *et al.*, 2003; Shewfelt *et al.*, 1988).

#### **2.4.5. Vitaminas.**

Conviene tener presente que el tomate contiene abundante vitamina C y  $\beta$ -caroteno (provitamina A), y que sus contenidos en un solo fruto suministra una cuarta parte de las necesidades diarias de esas sustancias en la dieta humana (Beecher, 1998). Gould (1992) y Nuez (1995) mencionan que la concentración de vitamina C en frutos maduros es de 23 mg por 100 grs. de fruto, dependiendo de las condiciones de cultivo.

Premuzic *et al.*, (2001) en un estudio para conocer la influencia de la fertilización en la producción y contenido de vitamina C y azúcar en tomates cherry, mencionan que el peso total fue alto en frutos con fertilización orgánica, mientras que el contenido de vitamina C fue alto en plantas con fertilización orgánica y mezclada, en tanto, que el nivel de azúcar fue significativamente alto para el tratamiento mezclado.

Lester y Crosby (2002) en un estudio sobre la influencia del cultivar, tamaño del fruto, tipo de suelo en melón, sobre el contenido de ácido ascórbico, ácido fólico y potasio, encontraron que el contenido total de ácido ascórbico y fólico se incrementó con el tipo de suelo arcilloso, así como aumento del tamaño del fruto.

#### 2.4.6. Sólidos solubles y pH.

El sabor del tomate está ampliamente relacionado con el contenido de azúcar y ácidos, sin embargo, las diferencias en sabor son determinados como resultado de la madurez fisiológica, factores ambientales, de producción o manipulación postcosecha (Nuez, 1995).

Los componentes más importantes para la industria que influyen en el sabor, son los azúcares, constituyendo el 60%, en el que predominan glucosa y fructosa; los ácidos orgánicos, mayormente cítrico y en menor medida el málico, aminoácidos, lípidos y minerales (Cornish, 1992; Costa y Campos, 1985; Peiris *et al.*, 1998). El sabor del tomate es estimado tanto a partir de estudios sensoriales como mediante mediciones de sólidos solubles, pH, acidez titulable y la relación sólidos solubles/acidez titulable (Baldwin *et al.*, 1991 y Baldwin *et al.*, 1998).

Hewit *et al.*, (1982) mencionan que algunos factores pueden influir sobre la concentración de sólidos solubles, entre ellos la relación de área foliar/frutos, tasa de exportación de los fotosintetizados producidos por las hojas, metabolismo de carbono del fruto, etc. En tanto, Martínez (2003) menciona que la acumulación de azúcares en los frutos maduros tiene su origen en los fotosintetizados que el fruto recibe durante el período de maduración. May y Gonzales (1999) y Cahn *et al.*, (2002) mencionan que un déficit de agua durante la maduración de los frutos es benéfico ya que incrementa el contenido de sólidos solubles, por lo que, Marouelli *et al.*, (2004) encontraron una variación en el contenido de sólidos solubles entre 4.6 a 7.3° Brix.

Giordano *et al.*, (2000) obtuvo 5% más del precio de su producción en la cosecha con contenidos de sólidos solubles entre 4.8 y 5.1° Brix, en tanto, 10% más en la cosecha cuyos contenidos fueron de 5.2° Brix.

Anuschka *et al.*, (2005) mencionan que las diferentes formas de nitrógeno, ya sea fertilizante mineral ú orgánico, afectan el rendimiento, la calidad y el sabor de tomate. Las plantas fueron crecidas bajo dos tratamientos de fertilizantes orgánicos y tres tratamientos de fertilizantes minerales, donde el rendimiento y el contenido de biomasa fueron superiores con los tratamientos de fertilización mineral. Los valores más altos fueron dulzor, acidez, sabor y aceptación en los tratamientos orgánicos, comparados con los de fertilización mineral.

Jauregui *et al.*, (1999) en una investigación sobre la correlación entre Grados Brix y el peso seco en diferentes variedades de tomate para procesamiento industrial, en el que se utilizaron 22 variedades cosechadas manualmente y 30 cosechadas mecánicamente, ambos parámetros mostraron una correlación altamente significativa, afectada por el tipo de variedad cosechada; las variedades cosechadas manualmente mostraron un índice más alto en el total de sólidos solubles y concluyeron que la cuantificación de sólidos solubles totales en tomate por peso seco es una técnica laboriosa, siendo más fácil determinar mediante la técnica de Grados Brix que se expresa como el índice de refracción de la luz.

De Prado (2002) en su estudio sobre los tipos y especificaciones de calidad en el cultivo de tomate para procesamiento industrial, encontró que el contenido de sólidos totales y sólidos solubles están correlacionados, por lo que se utiliza normalmente el contenido de sólidos solubles (° Brix) por ser

más fácil de determinar, indicando que en la mayor parte de las variedades se sitúa entre 4.5 y 5.5° Brix y que los factores agrológicos, especialmente la climatología, influyen sobre el contenido de sólidos solubles en los frutos, el pH se encuentra normalmente entre 4.2 y 4.4, siendo raro que se superen estos valores. Costa y Campos (1985) mencionan que la conservación de los productos procesados se encuentra altamente relacionadas a la acidez del fruto, consiguiéndose una conservación adecuada cuando posean un pH inferior a 4.5, límite por encima del cual algunas bacterias anaeróbicas, termofílicas y productoras de toxinas pueden sobrevivir a los métodos normales de tratamiento térmico.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Localización del área de estudio.**

La evaluación de los materiales genéticos se llevó a cabo en tres lugares diferentes:

##### **3.1.1. Buenavista, Saltillo, Coahuila.**

En áreas aledañas al invernadero # 6 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo Coahuila, con una altitud de 1742 msnm, 25° 22' latitud N y 101° 00' longitud W, con un clima BShw (x') (e): clima muy seco, cálido y extremoso con lluvias en verano el 80% del total y, una temperatura media anual de 16.8° C.

##### **3.1.2. Providencia, Coahuila.**

En los invernaderos comerciales "Santa María", ubicados en la carretera a General Cepeda, Coahuila; con una altitud de 1866 msnm, 25° 13' 59'' latitud N y 101° 10' longitud W, con clima secos semicálidos; la temperatura media anual es de 18 a 20° C y la precipitación media anual se encuentra en el rango de los 300 a 400 milímetros.

##### **3.1.3. Rancho Nuevo, Coahuila.**

En el predio denominado "Magaña's Ranch" ubicado en la carretera Saltillo-Monclova a la altura de Rancho Nuevo, Ramos Arizpe, Coahuila a una altitud de 1473 msnm, 25° 31' 54'' latitud N y 101° 00' 50'' longitud W,

con clima Bsh y suelo Xh/2. La temperatura media anual es de 14 a 18° C y la precipitación media anual de 400 a 500 milímetros.

### **3.2. Material genético.**

El material genético que se empleó en esta investigación fueron: híbridos experimentales, líneas experimentales e híbridos comerciales como testigos. La obtención de híbridos experimentales se llevó a cabo en el periodo otoño-invierno 2005, provenientes de cruzamientos dirigidos entre líneas experimentales, entre éstas con híbridos comerciales y entre híbridos comerciales. La procedencia de las líneas experimentales es resultado de varios años de investigación por parte del área de Fisiotecnia del Departamento de Fitomejoramiento en la Universidad, las cuales son sobresalientes en características fenológicas, fisiotécnicas, calidad y tolerancia a diferentes enfermedades, procedentes de cruza iniciales de los híbridos comerciales Shady Lady, Bonita, Montecarlo, Celebrity, Sunny y Tequila (Guerra, 1997; Ramírez, 1998; Ramos, 2000; Borrego, 2001; Sánchez, 2003).

La evaluación de los materiales se llevó a cabo en el periodo primavera-verano 2006 en las tres localidades descritas anteriormente, difiriendo en la cantidad de genotipos por ambientes con el objetivo de aprovechar al máximo el tiempo y el espacio disponible. Aunque para la presente investigación, únicamente se utilizaron 12 genotipos coincidentes en las tres localidades de interés, a continuación se describen los materiales, la genealogía y alguna característica genética que describa al material, en sus respectivos ambientes (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Materiales genéticos establecidos en tres ambientes de Coahuila, México.**

Genotipo	Caract. Genética	UAAAN	Providencia	Rancho Nuevo	combinado
		Genealogía			
Z4	Línea UAAAN	Z4 x R1	Z4 x R1	Z4 x R1	Z4 x R1
R1	Línea UAAAN	Z4 x L1	Z4 x L1	Z4 x L1	Z4 x L1
L1	Línea UAAAN	Z4 x U2	Z4 x U2	Z4 x U2	Z4 x U2
U2	Línea UAAAN	Z4 x D1	Z4 x D1	CB x TEQ	Z4 x D1
D1	Línea UAAAN	TR x F3	TR x F3	TR x CN	TR x F3
F3	Línea UAAAN	Z4 x SXXI	Z4 x SXXI	TR x SXXI	Z4 x SXXI
Q3	Línea UAAAN	DR x R1	DR x R1	11x12 x F3	DR x R1
S1	Línea UAAAN	DR x Z4	DR x Z4	Z4 x D1	DR x Z4
Z531	Línea UAAAN	DR x Q3	DR x Q3	TR x F3	DR x Q3
Z533	Línea UAAAN	Z4	Z4	Z4 x SXXI	Z4
Z41	Línea UAAAN	CB	DR	11x12 x TEQ	DR
Z42	Línea UAAAN	RG	TR x L1	S1 x TEQ	TR x L1
DR	Híbrido comercial	TR		DR x R1	
CB	Híbrido comercial	SXXI		CB x DR	
TR	Híbrido comercial	WS4040		DR x Z4	
RG	Híbrido comercial	DR		DR x Q3	
SXXI	Híbrido comercial	TR x L1		Z4	

### 3.3. Manejo agronómico.

#### 3.3.1. Siembra.

La siembra en almácigo se realizó el 20 de Enero de 2006 para las localidades Rancho Nuevo y Providencia, mientras que para la UAAAN el 16 de Febrero de 2006, en dicha actividad se utilizaron charolas de 50 cavidades, previamente lavadas y desinfectadas con agua clorada, se sembraron 100 semillas de cada material genético, el sustrato que se utilizó fue Peat-moss.

Después de la siembra se aplicó Biozyme TS a razón de 0.1 gr. L<sup>-1</sup> de agua, con el objetivo de estimular la germinación de las semillas. Las charolas se colocaron dentro del invernadero durante 15 días, después de este tiempo y ya emergidas las plántulas con dos hojas verdaderas, se trasladaron a un área de sombreado donde permanecieron bajo condiciones óptimas hasta el transplante.

### **3.3.2. Preparación del terreno.**

La preparación del terreno en Buenavista se realizó manualmente removiendo el suelo con azadones de manera que quedara suelto y sin terrones, posteriormente se levantaron las camas, se colocó la cintilla de riego en la parte central y finalmente se colocó el acolchado que consistió en polietileno negro calibre 600. Se emplearon tres lotes de terreno 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, bajo las condiciones de invernadero, se utilizó material reutilizado que consistió de 5 camas con bolis rellenos de fibra de coco, cuya capacidad fue de 8 plantas por bolis, con sistema de fertirriego. En Rancho Nuevo, las camas se levantaron mecánicamente a una distancia entre camas de 1.80 m y una longitud de 200 m., los materiales se establecieron en 7 camas con acolchado y sistema de fertirriego por cintilla.

### **3.3.3. Transplante.**

El transplante se realizó el día 16 de Marzo en Rancho Nuevo, el 23 de Marzo en Providencia y el 04 de Abril de 2006 en la UAAAN, de forma manual, utilizando una estaca de madera para perforar la parte central de la cama y acolchado, a una profundidad entre 0.10 y 0.15 m. y a una distancia de 0.30 m. entre perforaciones, en donde fueron colocadas las plántulas.

### **3.3.4. Tutorado.**

La colocación de tutores y espalderas se realizó a los 20 días después del transplante, cuando las plantas tenían una altura mínima de 0.3 m. En Buenavista, la actividad consistió en colocar 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 0.20 m. de altura para evitar el contacto de las partes aéreas de las plantas con el suelo, se colocaron un total de 4 niveles de hilos. En Providencia, consistió en amarrar hilos 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 5 niveles de hilos.

### **3.3.5. Podas.**

Las podas fueron a dos tallos y se realizaron a las dos semanas después del transplante, intercalándolas a cada 15 días en las localidades hasta la finalización del ciclo de cultivo en tomates indeterminados y en tomates determinados sólo hasta el comienzo de la fructificación.

### **3.3.6. Riego.**

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

### **3.3.7. Fertilización.**

La fertilización fue mediante la fórmula 450-450-225-100Ca. En Buenavista, la aplicación del nitrógeno se hizo en dos partes, la primera durante la formación de las camas antes del transplante aplicando a chorrillo a una profundidad de 0.15 m., la segunda aplicación se realizó 40 días después del transplante de la misma forma que la primera. En Rancho Nuevo y Providencia se utilizó el fertirriego.

Las fuentes que se utilizaron fueron:

1. Sulfato de Amonio (20.5-00-00).
2. Fosfato Diamónico (18-46-00).
3. Sulfato de Potasio (00-00-50).
4. Nitrato de Calcio (15.5-00-00-19.9).

### **3.3.8. Cosecha.**

La cosecha se hizo manualmente colectando frutos con un grado de madurez de pinto a maduro, de 3 plantas con competencia completa.

## **3.4. Toma de datos fenológicos.**

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 los días a último corte se realizó un conteo de días a partir de la fecha de transplante hasta el final del último corte.

Para los días en cosecha, con el registro del primer corte hasta el último, se calculó el número de días en producción y para determinar el número de cortes por genotipo, se hizo un conteo de los cortes dados a cada genotipo.

### **3.5. Toma de datos de rendimiento.**

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  $t\ ha^{-1}$ , 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.

### **3.6. Pruebas de calidad de fruto.**

Después del quinto corte se seleccionaron tres frutos de cada tratamiento, procurando que tuvieran buena apariencia. Los frutos se colocaron en bolsas de papel para que maduraran completamente. Una vez que presentaron un color rojo intenso se llevaron a cabo las pruebas de calidad de fruto, para determinar Grados Brix, pH, vitamina C y Licopeno. A continuación se describe la metodología empleada:

1. Se hizo un registro de la procedencia de cada uno de los frutos (Genotipo, Repetición, localidad, etc.).
2. Cada fruto se colocó en un vaso de precipitado de 100 ml. de capacidad y se molió.
3. Con el Refractómetro Portátil (ATAGO 01018) se determinó *Grados Brix*, colocando con una espátula una pequeña muestra en el área de lectura.
4. De manera directa y con la ayuda de un Potenciómetro (CONDUCTRONIC Modelo 10) se tomó el *pH*, colocando el sensor en cada vaso de precipitado.

#### *Determinación de Vitamina C.*

5. Se pesó 20 grs. de muestra de cada tratamiento, se colocaron en otro vaso de precipitado de 50 ml. de capacidad y se le agregó 10 ml. de ácido clorhídrico al 2%.
6. La mezcla de cada vaso se llevó a un agitador Vortex por un tiempo de 15 minutos.
7. 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.
8. Por último, se procedió a titular con el reactivo de Thielmann, hasta obtener la coloración rosa permanente, tomando notas de la cantidad de reactivo consumido, para posteriormente calcular el contenido de Vitamina C (miligramos/litros) para cada genotipo.

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 = mg 100<sup>-1</sup> grs. Vitamina C.

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

a = ml. del reactivo de Thielmann gastados.

b = Volumen en ml. de la alícuota valorada.

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

c = Peso de la muestra.

#### *Determinación de Licopeno.*

1. Se licuó el tomate y se extrajo 3 gr. de muestra, colocándola en un tubo de plástico.
2. Se agregó 3 ml. de buffer fosfato y se agitó (AGITADOR INNOVA 2100) por 15 minutos.
3. 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.
4. Se centrifugó (CENTRÍFUGA J-600) por 5 min. a 5000 rpm.
5. Se tomó 1 ml. de la muestra y se colocó en las celdillas, identificando cada una de ellas.
6. Se agregó 2 ml. de acetona a cada una de las celdillas y se expuso en el espectrofotómetro (SPECTRONIC 21), para obtener la lectura correspondiente de absorbancia.

### **3.7. Toma de datos fisiológicos.**

Para ello se identificaron tres plantas con competencia completa, a las que se les tomó los datos de las variables agroclimáticas y fisiológicas, con el apoyo del Fotosintetómetro portátil LI-6200 (LI-Cor, Inc, Nebraska, USA).

### **3.8. Variables evaluadas.**

#### **3.8.1. Variables de Rendimiento (cuantitativas)**

Número de Cortes (NC), Número de Frutos (NF), Rendimiento por planta (RENDPTA, kg), Peso Promedio de Fruto (PPF, gr) y Rendimiento (REND, t ha<sup>-1</sup>).

#### **3.8.2. Variables de Rendimiento (cualitativas)**

Diámetro Polar (DP, cm), Diámetro Ecuatorial (DE, cm), Color (COLOR), Grados Brix (BRIX), Potencial de Iones de Hidrógeno (pH), Vitamina C (VITC) y Licopeno (LICOP).

#### **3.8.3. Variables Fisiológicas**

Temperatura de la Hoja (THOJA, °C), Fotosíntesis Neta (FOTO,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), Conductancia Estomática (CE,  $\text{cm s}^{-1}$ ), Resistencia Estomática (RE,  $\text{s cm}^{-1}$ ), Transpiración (TRANS,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y Uso Eficiente del Agua Fisiológico (UEAF,  $\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  por  $10 \text{ L H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

#### **3.8.4. Variables Agroclimáticas**

Luz Incidente (DFFF,  $\mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), Concentración de CO<sub>2</sub> en el ambiente (CO<sub>2</sub>, en ppm), Temperatura del Ambiente (TAIR, °C) y Humedad Relativa (HR, en %).

### 3.9. Diseño experimental.

El establecimiento de los materiales en el campo é invernadero fue mediante un diseño de bloques completos al azar con 2 repeticiones, con 7 plantas por material en donde la parcela útil constó de tres plantas intermedias con competencia completa; mientras que en los trabajos de laboratorio se empleó el mismo diseño, con 3 repeticiones. El análisis de los datos obtenidos de los experimentos se llevó acabo con el programa estadístico SAS V8, bajo el modelo propuesto por Steel y Torrie (1980):

Modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \delta_{k(j)} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Observación del  $i$ -ésimo tratamiento en la  $k$ -ésima repetición en la  $j$ -ésima localidad.

$\mu$  = Efecto de la media general.

$\alpha_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\beta_j$  = Efecto de la  $j$ -ésima localidad.

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción entre el  $i$ -ésimo tratamiento y la  $j$ -ésima localidad.

$\delta_{k(j)}$  = Efecto de la  $k$ -ésima repetición anidada en la  $j$ -ésima localidad.

$\varepsilon_{ijk}$  = Efecto aleatorio o Error Experimental.

Para los tratamientos donde se encontraron diferencias significativas, se determinaron diferencias de medias por medio de la prueba de Tukey.

### **3.10. Análisis de Componentes Principales.**

Para facilitar la interpretación de los resultados y retroalimentar la información de los análisis de varianzas combinados, se realizó un análisis de componentes principales, con la ayuda del programa estadístico STATISTICA 6.1 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK), el cual reduce la dimensionalidad de los datos y discrimina variables tomadas en conjunto permitiendo seleccionar genotipos con los mejores atributos. El programa trabaja únicamente con medias, por lo que hubo necesidad de calcular las medias de cada variable para cada uno de los ambientes y así obtener una media general de los tres ambientes.

### **3.11. Análisis de Clúster.**

Para hacer eficiente el proceso de selección de genotipos con los mejores atributos, se realizó un análisis de cluster, con la ayuda del programa estadístico STATISTICA 6.1 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK), en el que se agrupan aquellos genotipos con características similares, aprovechando a aquellos cuyo fondo genético es más lejano, tratando de explotar el fenómeno de heterosis. El programa trabaja únicamente con medias, por lo que hubo necesidad de calcular las medias de cada variable para cada uno de los ambientes y así obtener una media general de los tres ambientes.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Análisis de Varianza Combinado.**

Ante la evidente necesidad de obtener materiales genéticos con características agronómicas deseables para el noreste de México, se evaluaron algunas líneas experimentales creadas en la UAAAN, algunos híbridos comerciales y otros tantos experimentales provenientes de distintos cruzamientos, mediante el análisis de algunas variables fenológicas, agroclimáticas, fisiológicas y de rendimiento cuantitativo y cualitativo, bajo un análisis combinado.

#### **4.1.1. Análisis de Varianza para Variables Fenológicas.**

En la evaluación de los materiales genéticos se consideraron algunos parámetros fenológicos como Días a Primer Corte (DPC), Días a Último Corte (DUC) y Días en Corte (DEC), para seleccionar genotipos con cualidades de precocidad, que permitan amortiguar las condiciones ambientales adversas de frío o calor, en forma de heladas tempranas o tardías y altas temperaturas en verano de hasta 48° C. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

En el cuadro 2 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables fenológicas. En el que se encontraron diferencias altamente significativas ( $P \alpha \leq 0.01$ ) en la FV AMB para las variables DPC y DUC y, diferencias significativas ( $P \alpha \leq 0.05$ ) en DEC, lo cual es indicativo de que las condiciones edáficas, climáticas y de establecimiento fueron distintas en las tres localidades (Figura 1).

Es importante hacer mención que el trabajo constó de la evaluación de los materiales bajo diferentes sistemas de producción, en condiciones de invernadero y en campo abierto, por lo que se estima que la influencia de las condiciones ambientales fueron distintas, en tanto, el manejo del cultivo fue conducido conforme al protocolo de trabajo de cada sistema de producción, lo cual tuvo efecto directo sobre el comportamiento de los materiales. El interés por hacer este tipo de pruebas radica en que no sólo se evalúen los materiales bajo un sistema experimental, sino que se extrapole a sistemas de producción comercial y así evaluar el comportamiento esperado en un sistema de producción real.

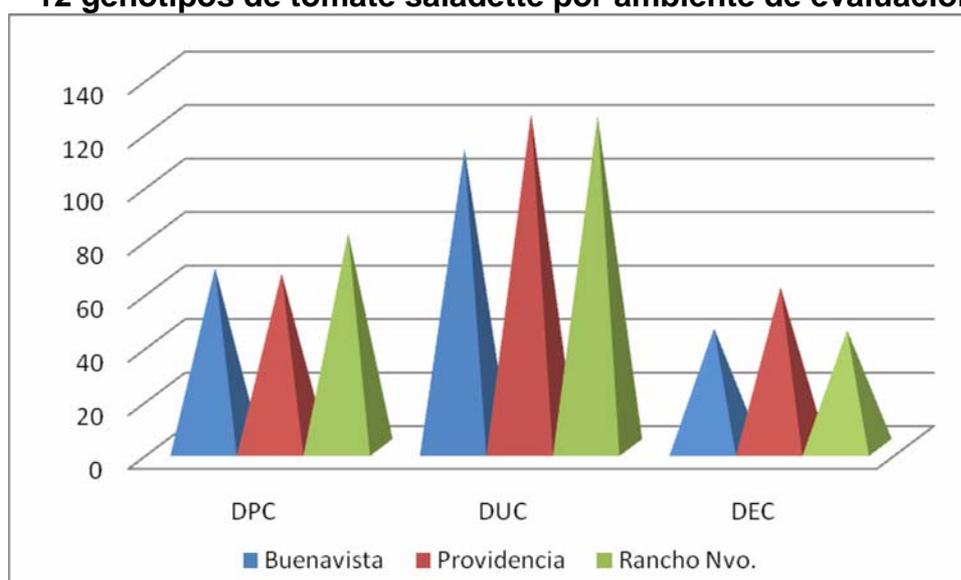
**Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables fenológicas de 12 genotipos de tomate saladette.**

<b>F. V.</b>	<b>G. L.</b>	<b>DPC</b>	<b>DUC</b>	<b>DEC</b>
<b>AMB</b>	2	1609.13 **	1339.76 **	1966.93 *
<b>REP(AMB)</b>	3	42.79	10.07	99.74
<b>GEN</b>	11	84.88	9.44	84.38
<b>GEN*AMB</b>	22	135.20	11.52	156.55
<b>ERROR</b>	33	86.03	8.55	94.80
<b>C. V.</b>		13.10	2.43	19.70
<b>MAX.</b>		77	121	57
<b>PROM.</b>		71	120	49
<b>MIN.</b>		65	118	44

F. V. (Fuentes de Variación), G. L. (Grados de Libertad), DPC (Días a Primer Corte), DUC (Días a Último Corte), DEC (Días en Corte), AMB (Ambientes), REP(AMB) (Repetición dentro de Ambientes), GEN (Genotipos), GEN\*AMB (Genotipos x Ambientes), C. V. (Coeficiente de Variación), Máx. (Máximo), Prom. (Promedio), Mín. (Mínimo), \* Significativo ( $P \alpha \leq 0.05$ ) y \*\* Altamente significativo ( $P \alpha \leq 0.01$ ).

En el Figura 1 y Apéndice A2 se muestran cada uno de los ambientes de evaluación con sus respectivos valores para las variables fenológicas; encontrando que en Providencia, los genotipos son más precoces y presentan más días en cosecha; en contraste, en Rancho Nuevo, los materiales fueron más tardíos y que presentaron menos días en corte. Esta tendencia es atribuible a que los materiales en Providencia estuvieron sometidos a un ambiente controlado propiciado por un invernadero de alta tecnología, en tanto, en Buenavista y Rancho Nuevo, los materiales se establecieron bajo condiciones de campo abierto, propiciando que las plantas estuvieran expuestas a las inclemencias climáticas y de plagas y enfermedades. En la comparación de los cultivos en campo abierto se tiene que en Buenavista, los materiales presentaron mayor precocidad que en Rancho Nuevo, presentando 13 días de mayor precocidad entre uno y el otro ambiente.

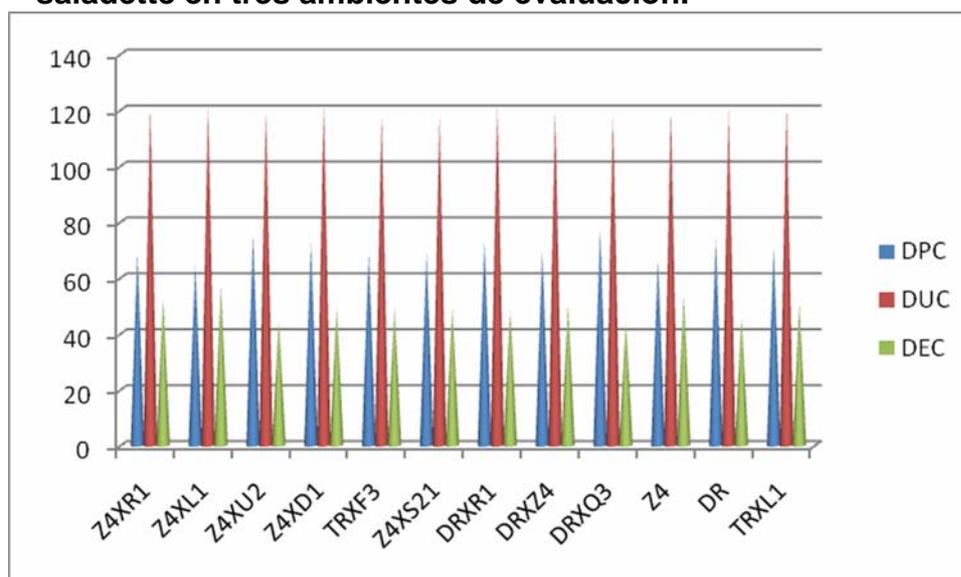
**Figura 1. Comparaciones de medias para las variables fenológicas de 12 genotipos de tomate saladette por ambiente de evaluación.**



En Buenavista, las cosechas finalizaron 12 días más luego en comparación con los demás ambientes, debido a que se presentaron problemas de plagas (paratrioza y mosca blanca) y enfermedades (tizón temprano y tardío), por lo que, el día 112 se terminaron las cosechas; en tanto, en Rancho Nuevo y Providencia, las cosechas finalizaron hasta el día 124 (Figura 1 y Apéndice A2).

En la figura 2 se observa el comportamiento fenológico de los genotipos de tomate saladette en los ambientes de evaluación, encontrando de manera general que presentan los mismos días a primer corte, días a último corte y días en corte. De allí que en el cuadro 1, no se encontraran diferencias estadísticas en la FV GEN, lo que significa que los materiales presentaron respuestas similares ante la fase de inicio y finalización de la fructificación (Cuadro 2 y Apéndice A1).

**Figura 2. Comportamiento fenológico de los 12 genotipos de tomate saladette en tres ambientes de evaluación.**



Sobresalen los genotipos Z4 x L1 y Z4 por presentar superioridad en precocidad con 65 y 66 días a primer corte, respectivamente, en comparación con DR, Z4 x U2 y DR x Q3, que presentaron por sobre los 74 días a primer corte.

La no significancia de la interacción GEN\*AMB es indicativo que el comportamiento de los genotipos en un ambiente fue de manera lineal con respecto al otro, lo cual indica del progreso genético durante la selección en generaciones anteriores y que hace referencia a la adaptación de los materiales genéticos a la zona de interés (Yang y Becker, 1991; Magari y Kang, 1993).

#### **4.1.2. Análisis de Varianza para Variables Agroclimáticas.**

La evaluación de los parámetros agroclimáticos fue realizada con el objeto de analizar las condiciones ambientales en que se desarrollaron las plantas y en base a ello, comparar las respuestas de cada genotipo dentro y entre ambientes.

En el cuadro 3 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables agroclimáticas. Se encontraron diferencias altamente significativas ( $P \alpha \leq 0.01$ ) en la fuente de variación Ambiente, para la variable HR, diferencias significativas ( $P \alpha \leq 0.05$ ) en DFFF y diferencias no significativas en TAIR y  $CO_2$ , lo que indica que la humedad relativa y la luz incidente fueron diferentes entre ambientes.

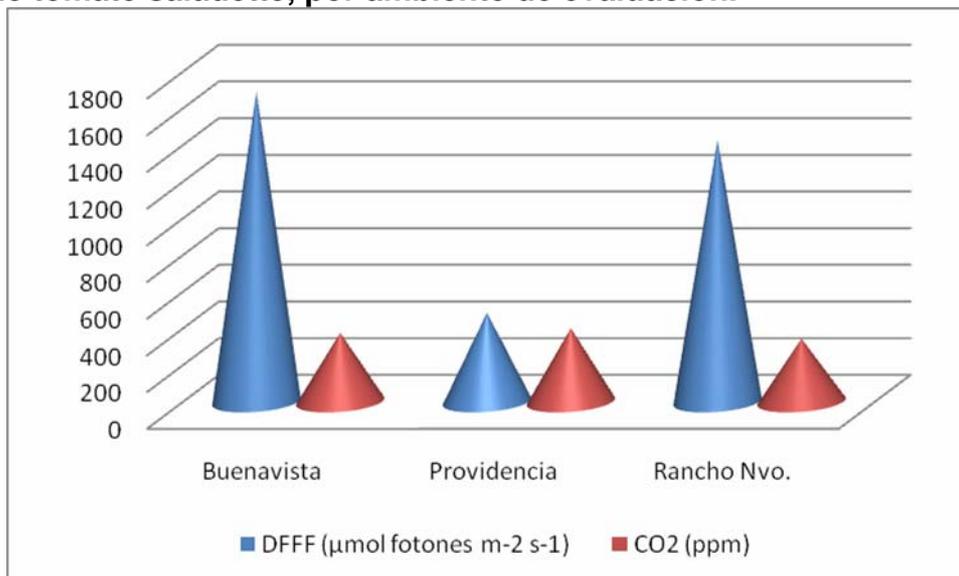
En el apéndice A11 se encontró correlación positiva significativa ( $P \alpha \leq 0.05$ ) entre luz incidente (LI) y la temperatura del aire (TAIR), lo que indica que al incrementar la incidencia de luz en el área de trabajo se incrementa directamente proporcional la temperatura de la atmósfera circundante al cultivo. En el Figura 3 y 4 se aprecian los valores medios para cada variable agroclimática en cada ambiente de evaluación, destacando la localidad de Providencia con valores de 38% de humedad relativa y 490  $\mu\text{mol}$  de Fotones  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en luz incidente, lo cual beneficia a que la temperatura de la atmósfera circundante (TAIR) se mantenga a 32° C; esto es debido, a que la cubierta plástica del invernadero refleja gran parte de la radiación solar, manteniendo un microclima adecuado para el desarrollo de las plantas. En Buenavista, las plantas estuvieron expuestas a una atmósfera más adversa, en que la humedad relativa presente fue de 18% y cerca de 1700  $\mu\text{mol}$  de Fotones  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de luz incidente, lo cual generó que la temperatura (TAIR) se mantuviera a 37° C.

**Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables agroclimáticas en 12 genotipos de tomate saladette.**

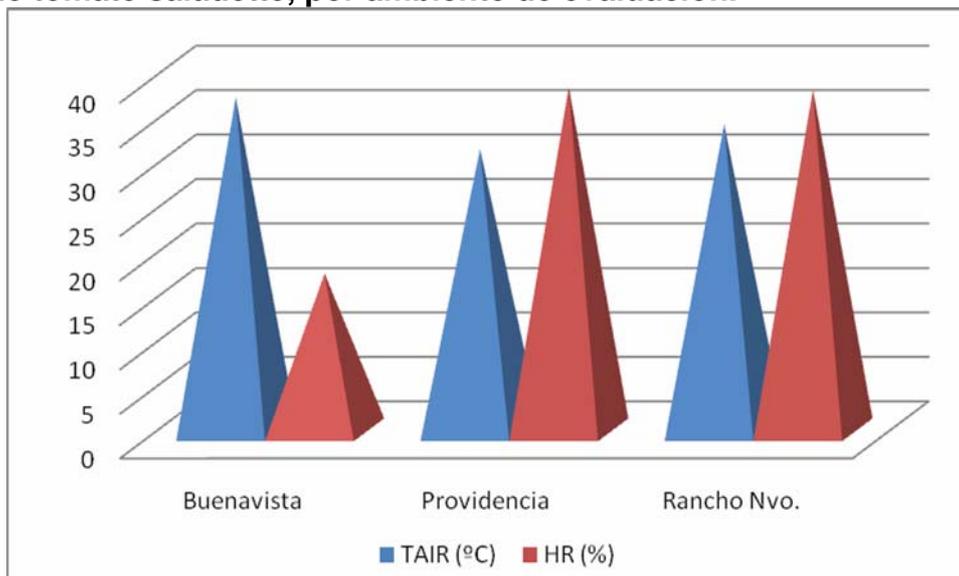
<b>F. V.</b>	<b>G. L.</b>	<b>DFFF</b>	<b>TAIR</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>HR</b>
<b>AMB</b>	2	2582.94 *	203.91	19493.24	3463.53 **
<b>REP(AMB)</b>	3	164.54	97.72	60100.35	39.39
<b>GEN</b>	11	58.10	2.64 *	3504.23	30.07
<b>GEN*AMB</b>	22	28.49	1.49	5003.06	91.00
<b>ERROR</b>	33	38.42	1.05	4386.89	50.17
<b>C. V.</b>		14.42	2.97	17.70	22.52
<b>MAX.</b>		1477.60	35.43	415.53	35.20
<b>PROM.</b>		1202.51	34.44	374.15	31.45
<b>MIN.</b>		897.00	33.21	336.28	27.91

F. V. (Fuentes de Variación), G. L. (Grados de Libertad), DFFF (Densidad de Flujo de Fotones Fotosintéticos), TAIR (Temperatura del Aire), CO<sub>2</sub> (Concentración de CO<sub>2</sub> ambiental), HR (Humedad Relativa), AMB (Ambientes), REP(AMB) (Repetición dentro de Ambientes), GEN (Genotipos), GEN\*AMB (Genotipos x Ambientes), C. V. (Coeficiente de Variación), Máx. (Máximo), Prom. (Promedio), Mín. (Mínimo), \* Significativo ( $P \alpha \leq 0.05$ ) y \*\* Altamente significativo ( $P \alpha \leq 0.01$ ).

**Figura 3. Comportamiento de las variables DFFF y CO<sub>2</sub> en 12 genotipos de tomate saladette, por ambiente de evaluación.**



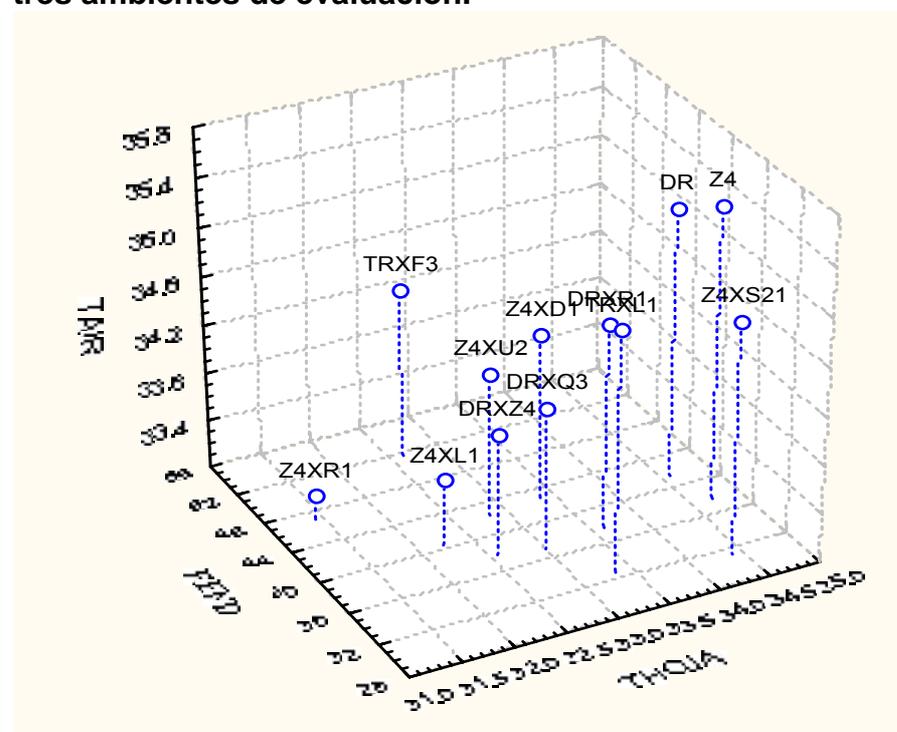
**Figura 4. Comportamiento de las variables TAIR y HR en 12 genotipos de tomate saladette, por ambiente de evaluación.**



En el cuadro 3 se observan diferencias significativas ( $P \alpha \leq 0.05$ ) únicamente en la variable TAIR para la fuente de variación Genotipo; en tanto, en el apéndice A11 se muestran las correlaciones significativas ( $P \alpha \leq 0.05$ ) entre la temperatura de la atmósfera (TAIR) con la temperatura de la hoja (THOJA), la incidencia de luz (LI), la resistencia estomática (RE), peso

promedio de los frutos (PPF), pH y el contenido de sólidos solubles (BRX), lo que indica que la intensidad de radiación será determinante en la temperatura del microclima que rodea a la planta y de las plantas mismas, ya que se calienta el tejido fotosintético, afectando con ello, algunos procesos fisiológicos como la respuesta al cierre estomatal, teniendo que entre mayores sean las temperaturas mayor será la resistencia de las plantas a la pérdida de agua por transpiración y finalmente, se afecta la acumulación de biomasa cuantitativa y cualitativa en los frutos. Este comportamiento es coincidente con lo que reportan Long y Hallgren (1987) y Conroy *et al.*, (1994), mencionando que se afectan procesos fisiológicos como la fotosíntesis, respiración, crecimiento y germinación.

**Figura 5. Comportamiento de 12 genotipos de tomate saladette de acuerdo a las variables TAIR, THOJA y REND, promedio de los tres ambientes de evaluación.**



En la figura 5 se observa el comportamiento comparativo de los 12 genotipos de tomate saladette, en las variables de temperatura con el rendimiento. Se encontró que tanto la temperatura del aire como la de la hoja afectan directamente al rendimiento del cultivo, teniendo que los rendimientos más elevados se obtienen con las temperaturas más bajas, esto debido a que las plantas realizan sus funciones fisiológicas adecuadamente sin restricciones ambientales. En el apéndice A11 se aprecian que los valores de las correlaciones entre TAIR y REND con ( $r = -0.4$ ) y THOJA y REND con ( $r = -0.5$ ) no son significativas, más que nada por el bajo número de observaciones, estas variables tienen influencias negativas sobre el rendimiento del cultivo, por lo que hay que considerarse en la evaluación. Sato *et al.*, (2006), mencionan que las temperaturas extremas son causas de alteraciones morfológicas y desórdenes fisiogénicos que causan disminución del rendimiento y calidad del tomate.

En GEN\*AMB no hubo diferencias significativas en todas las variables, de lo que deriva que los genotipos presentan estabilidad ante las condiciones ambientales del noreste de México, haciendo énfasis en que las líneas experimentales obtenidas en la UAAAN, fueron seleccionadas en base a un buen comportamiento fisiotécnico en condiciones de sequía y altas temperaturas, por lo que los híbridos experimentales provenientes de sus cruzas adquieren dicha característica en su base genética, generando genotipos con adaptabilidad a la zona de interés (Yang y Becker, 1991; Magari y Kang, 1993; Vencovsky y Barriga, 1992) ó a que el comportamiento de los materiales en un ambiente fue de manera lineal con respecto al otro.

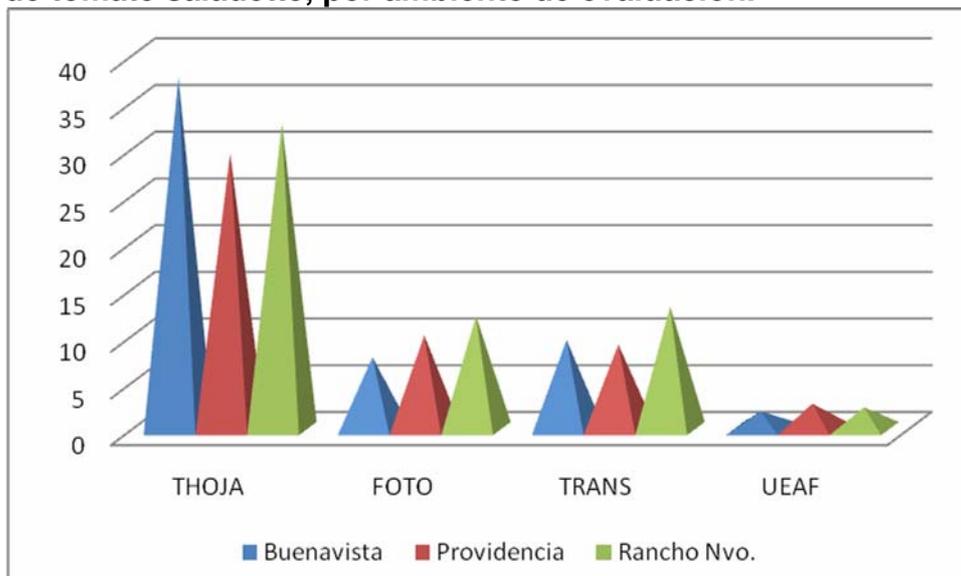
#### **4.1.3. Análisis de Varianza para las Variables Fisiológicas.**

En la evaluación de cultivares de tomate se deben tener conocimiento del comportamiento fisiológico de las plantas, ya que con ello se consigue la adaptación del cultivo a ciertas zonas biogeográficas de interés, por lo que a continuación se explican los resultados de los análisis estadísticos:

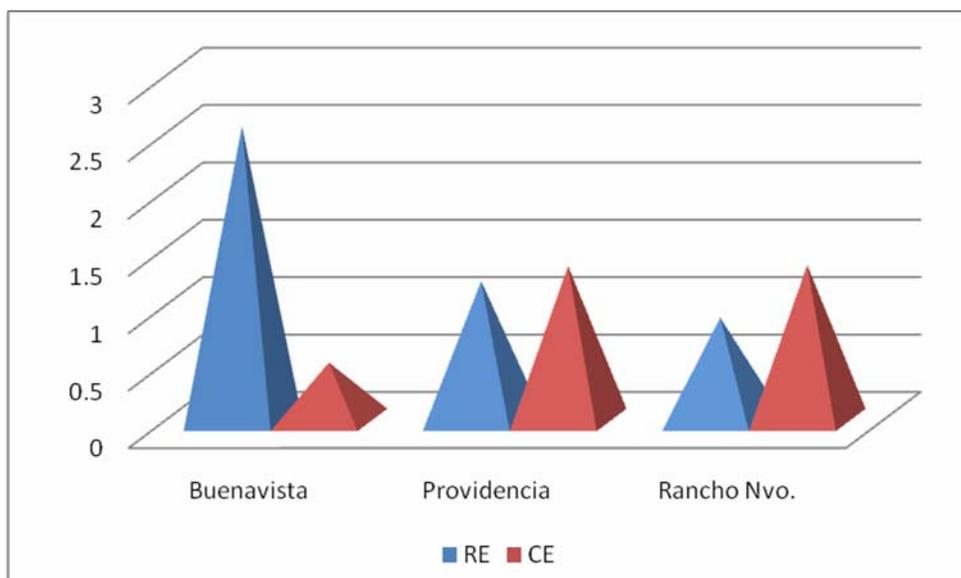
En el cuadro 4 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables fisiológicas. Se encontraron diferencias altamente significativas ( $P \alpha \leq 0.01$ ) en la variable RE y diferencias significativas ( $P \alpha \leq 0.05$ ) en CE; mientras que en THOJA, CINT, FOTO, TRANS y UEAF no hubo significancia, lo cual indica, que las plantas estuvieron establecidas bajo condiciones ambientales adversas, afectando con ello, principalmente, el grado de apertura estomatal e imponiendo resistencia a la pérdida de agua por transpiración.

En el ambiente Buenavista se presentaron las temperaturas (THOJA) más elevadas ( $38^{\circ}$  C), encontrando que las plantas opusieron mayor resistencia ante las inclemencias por altas temperaturas, por ello, se presenta el mayor valor en la resistencia estomática ( $3 \text{ s cm}^{-1}$ ), mientras que en el ambiente controlado de Providencia tan solo se presentó  $30^{\circ}$  C. En el ambiente de Providencia, donde las plantas fueron establecidas bajo un invernadero con condiciones controladas, presentaron una relación fotosíntesis-transpiración más óptima, lo cual generó mayor uso eficiente de agua; mientras, que en las localidades de Buenavista y Rancho Nuevo, en donde las plantas fueron establecidas en campo abierto, la tasa de transpiración superó a la de fotosíntesis, presentando menor uso eficiente de agua (Apéndice A6, Figuras 6 y 7).

**Figura 6. Comportamiento de 4 variables fisiológicas en 12 genotipos de tomate saladette, por ambiente de evaluación.**



**Figura 7. Comportamiento de las variables de resistencia y conductancia estomática en 12 genotipos de tomate saladette, por ambiente de evaluación.**



En el cuadro 4 se encontraron diferencias significativas ( $P \alpha \leq 0.05$ ) en THOJA, en la fuente de variación Genotipos, en tanto, en el resto de las variables no hubo significancia, lo que indica que la temperatura de las plantas varió de acuerdo al patrón de amortiguamiento como una respuesta

fisiológica ante las condiciones ambientales imperantes. En el Apéndice A11 se aprecian correlaciones significativas ( $P \alpha \leq 0.05$ ) entre la variable temperatura de la hoja (TH) con luz incidente (LI), peso promedio de frutos (PPF), la temperatura de la atmósfera (TAIR), al igual que con la resistencia estomática (RE), pH y el contenido de sólidos solubles (BRX), lo que indica que la temperatura del tejido fotosintético se ve afectada con la intensidad de radiación solar, ya que se afecta la temperatura del microclima que rodea a la planta y con ello se genera el calentamiento del tejido fotosintético, lo que acarrea algunos problemas fisiológicos como respuesta al estrés, con el cierre estomático, incrementando la RE.

La temperatura del aire y la incidencia de luz afectan la temperatura de la hoja, ya que es el órgano de la planta más sensible de responder a las condiciones ambientales, por lo cual refleja alteraciones morfológicas como consecuencia de los efectos del estrés, produciendo cambios en la síntesis de proteínas, pared celular, espesor de la cutícula y conductancia estomática (Trewavas, 2003), afectándose algunos procesos fisiológicos como la fotosíntesis, respiración, crecimiento y germinación (Alía, 2000; Polley, 2002; Sato *et al.*, 2006; Salvucci y Crafts, 2004; Rodríguez *et al.*, 2005).

También se encontró alta correlación ( $r = 0.9$ ) entre Fotosíntesis y Uso Eficiente del Agua Fisiológico, indicándonos que los genotipos que más fotosintetizan son los que mejor utilizan el agua (Allen y Rudich, 1978), por la no significancia en la correlación entre UEAF y la Transpiración ( $r = 0.2$ ); es importante considerar esta correlación no significativa, ya que en las zonas semiáridas se hace necesario que la transpiración se realice adecuadamente, para que la anatomía interna de la planta se enfríe y pueda

llevarse a cabo una mayor fijación de CO<sub>2</sub>, con el gasto mínimo de agua. Entre las variables fotosíntesis y transpiración no se presentó correlaciones significativas por el tamaño de muestra, aunque se debe hacer mención por la importancia de estas variables y además que su valor es relativamente alto ( $r = 0.5$ ), lo que indica que en el cultivo de tomate, la actividad fotosintética está, en el 50% de los casos, directamente relacionada con la actividad transpiratoria (Apéndice A11); esto es coincidente con lo reportado por Bar-Tsur *et al.*, (1985) y Cheema *et al.*, (1992), quienes reportan mayor capacidad de la planta para mantener viables las inflorescencia y mayor amarre de los frutos, bajo una adecuada tasa de transpiración y con eficiencia en el uso del agua.

Polley (2000) menciona que el uso eficiente de agua o eficiencia de transpiración se define como la proporción de la tasa de fotosíntesis neta o tasa de asimilación para transpiración; en tanto, Aikman y Houter (1990) mencionan a la transpiración como un factor importante en la producción de los cultivos.

Sánchez (2003) y Borrego (2001) encontraron la misma tendencia en sus respectivas investigaciones discutiendo que tanto el factor fotosintético y de transpiración, son de gran importancia para la evaluación de cultivares de tomate.

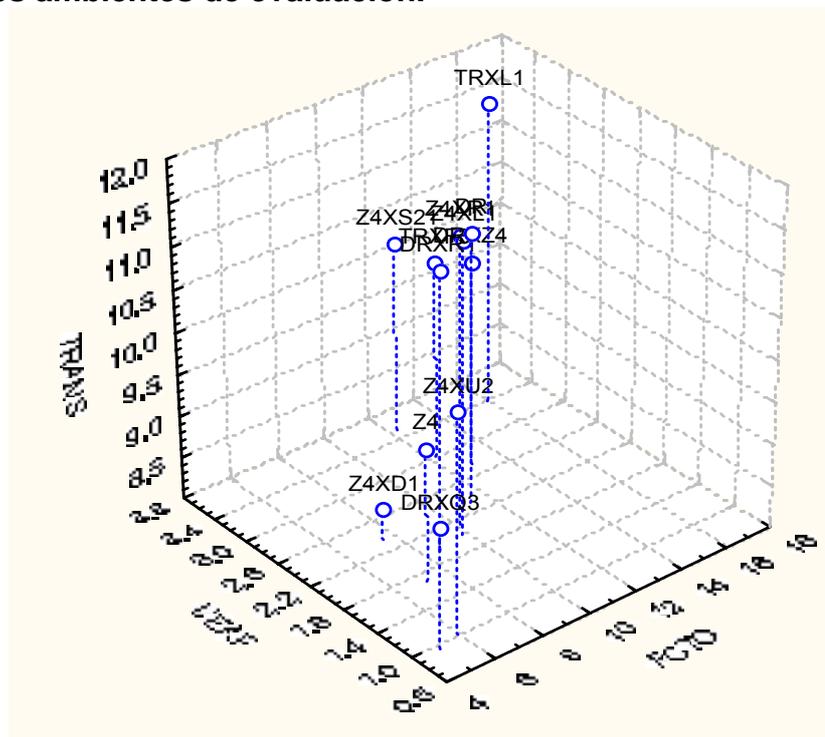
En las figuras 8 y 9 se aprecian el comportamiento fisiotécnico de los 12 genotipos de tomate saladette. Encontrando que los genotipos DRXZ4, DR, TRXF3, Z4XS21 y TRXL1, presentan mayor eficiencia fisiotécnica, aunque no precisamente los genotipos con mejor comportamiento fisiotécnico presentan los rendimientos más altos.

**Cuadro 4. Cuadros medios del análisis de varianza combinado para las variables fisiológicas de 12 genotipos de tomate saladette.**

<b>F. V.</b>	<b>G. L.</b>	<b>THOJA</b>	<b>RE</b>	<b>CE</b>	<b>CINT</b>	<b>FOTO</b>	<b>TRANS</b>	<b>UEAF</b>
<b>AMB</b>	2	399.15	2.74 **	1.49 *	36859.08	3.82	2.68	0.16
<b>REP(AMB)</b>	3	78.48	0.05	0.12	46625.73	1.36	1.88	0.66
<b>GEN</b>	11	5.91 *	0.08	0.06	3166.03	1.11	0.14	0.25
<b>GEN*AMB</b>	22	3.73	0.18 *	0.09	3890.17	1.39	0.35	0.21
<b>ERROR</b>	33	2.32	0.08	0.08	3004.13	1.66	0.23	0.40
<b>C. V.</b>		4.58	2.57	2.57	18.60	9.97	3.67	5.51
<b>MAX.</b>		34.72	2.39	1.42	327.83	15.94	11.62	3.52
<b>PROM.</b>		33.22	1.55	1.07	294.76	9.89	10.52	2.26
<b>MIN.</b>		31.43	1.17	0.70	264.44	4.99	8.37	0.95

F. V. (Fuentes de Variación), G. L. (Grados de Libertad), THOJA (Temperatura de la Hoja), RE (Resistencia Estomática), CE (Conductancia Estomática), CINT (Concentración de CO<sub>2</sub> intracelular), FOTO (Fotosíntesis), TRANS (Transpiración), UEAF (Uso Eficiente de Agua Fisiológico), AMB (Ambientes), REP(AMB) (Repetición dentro de Ambientes), GEN (Genotipos), GEN\*AMB (Genotipos x Ambientes), C. V. (Coeficiente de Variación), Máx. (Máximo), Prom. (Promedio), Mín. (Mínimo), \* Significativo ( $P \alpha \leq 0.05$ ) y \*\* Altamente significativo ( $P \alpha \leq 0.01$ ).

**Figura 8. Comportamiento de 12 genotipos de tomate saladette de acuerdo a las variables TRANS, FOTO y UEAF, promedio de los tres ambientes de evaluación.**

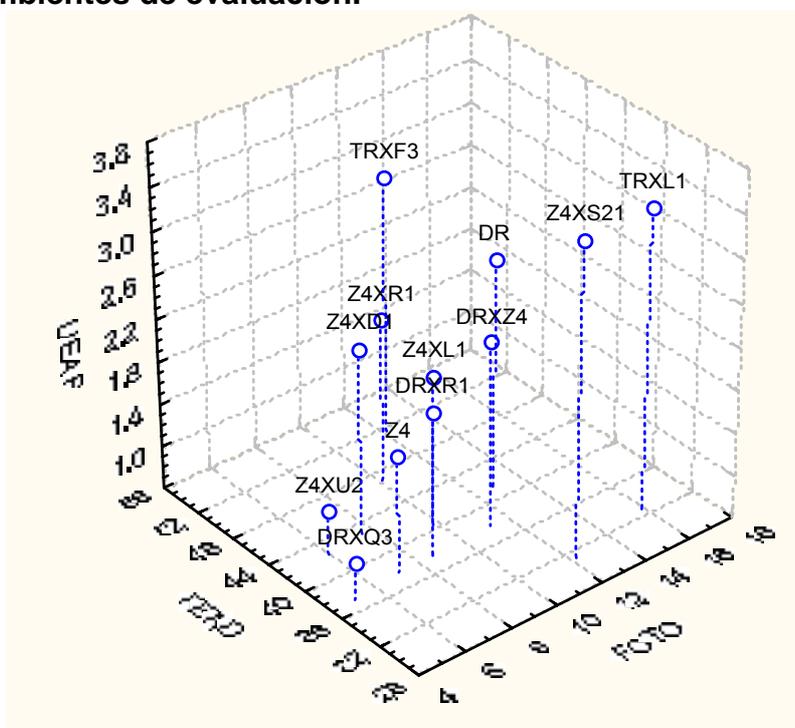


Encontrando tendencias contrastantes entre genotipos con buen comportamiento fisiotécnico; en que el genotipo TR x F3 presentó mayor rendimiento ( $52 \text{ t ha}^{-1}$ ) cuyos valores para FOTO son ( $12.21 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), TRANS ( $10.37 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y UEAF ( $3.02 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  por  $10 \text{ L H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), sin embargo, los genotipos Z4 x S21 con valores de FOTO ( $12.28 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), TRANS ( $10.3 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y UEAF ( $3.52 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  por  $10 \text{ L H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); y TR x L1 con valores para FOTO ( $15.94 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) TRANS ( $11.62 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y UEAF ( $3.4 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  por  $10 \text{ L H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) presentaron buen comportamiento fisiotécnico, aunque los rendimientos encontrados fueron inferiores, con  $31$  y  $33 \text{ t ha}^{-1}$ , respectivamente, la explicación de este efecto puede deberse a lo reportado por Pearce *et al.*, (1993), quienes mencionan que las altas tasas

fotosintéticas pueden acumular más fotosintatos en otros órganos de crecimiento y sostén.

En el apéndice A11 se observan correlaciones no significativas entre REND con FOTO, TRANS y UEAF, ( $r \leq -0.2$ ), aunque puede deberse al efecto de muestra pequeña, lo que significa que el rendimiento es dependiente de estas variables y además de otras como las agroclimáticas, ya que se observan coeficientes de correlación altos entre el REND con TAIR, THOJA y RE ( $r \geq -0.4$ ), lo que significa que se tendría una reducción del rendimiento al incrementarse las temperaturas, afectándose los procesos fisiológicos como fotosíntesis, al imponer resistencia a la pérdida de agua por transpiración.

**Figura 9. Comportamiento de 12 genotipos de tomate saladette de acuerdo a las variables FOTO, UEAF y REND, promedio de los tres ambientes de evaluación.**



En la interacción GEN\*AMB no se encontraron diferencias significativas en la mayoría de las variables, exceptuando RE que presentó diferencias significativas ( $P \alpha \leq 0.05$ ), lo que indica que los genotipos presentan un alto grado de adaptabilidad a estas regiones, por la naturaleza de selección a condiciones de sequía y altas temperaturas de los progenitores (Cuadro 4); la significancia en la resistencia estomática es indicativo de que los genotipos presentan diferencias en las respuestas fisiológicas a las pérdidas de agua por transpiración en cada uno de los ambientes, lo cual puede permitir hacer selección hacia aquellos materiales que respondan mejor en los ambientes en conjunto (Vencovsky y Barriga, 1992).

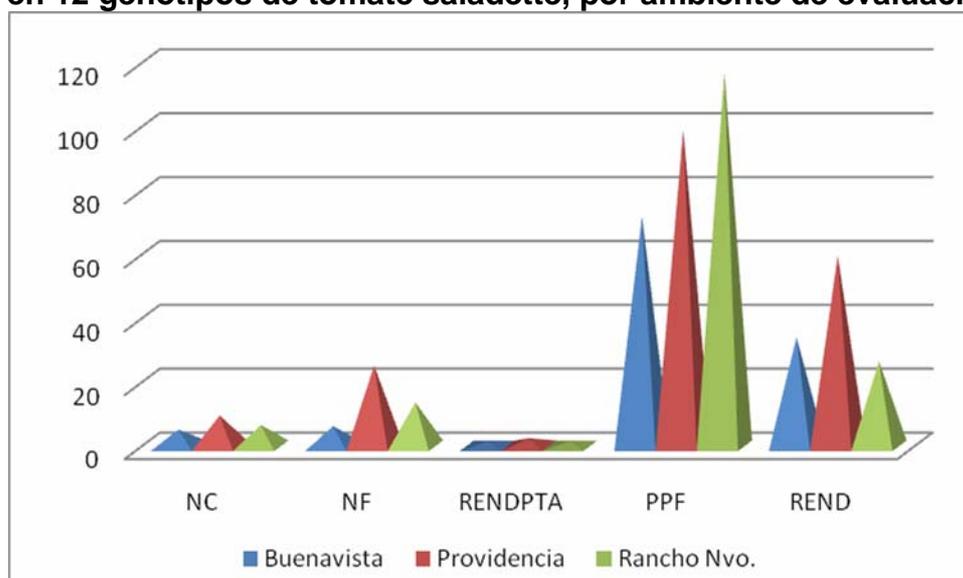
#### **4.1.4. Análisis de Varianza para las Variables de Rendimiento Cuantitativo.**

El rendimiento de los cultivos es la característica principal en un estudio agronómico, por ello, se tomaron distintos parámetros que determinan la calidad de los genotipos, a continuación se muestran los resultados:

En el cuadro 5 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables de rendimiento cuantitativo. Encontrando diferencias altamente significativas ( $P \alpha \leq 0.01$ ) en las variables NC, NF, RENDPTA y REND, lo que significa que los tres ambientes fueron contrastantes en las condiciones edáficas y climáticas, influyendo de forma distinta en la expresión genética de los materiales, con beneficios hacia la selección, ya que se presenta variabilidad genética en el estudio; mientras

que en PPF no hubo diferencias estadísticas, lo que indica que estas variables no fueron influenciadas por los ambientes, en tanto se les dé el manejo agronómico adecuado para el desarrollo del cultivo. El ambiente Providencia permitió obtener mayor rendimiento del cultivo ( $60 \text{ t ha}^{-1}$ ), favorecido por las buenas respuestas fisiológicas a las condiciones de establecimiento, ya que en este ambiente se presentó la mejor relación fotosíntesis-transpiración y por consiguiente un mejor uso eficiente de agua; en contraste, el ambiente Rancho Nuevo permitió obtener tan solo  $26 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 10 y Apéndice A8).

**Figura 10. Comportamiento de las variables de rendimiento cuantitativo en 12 genotipos de tomate saladette, por ambiente de evaluación.**



En el Apéndice A11 se observa que no hay correlaciones entre el rendimiento y las variables fisiológicas, lo que indica que los genotipos más rendidores no son los que acumulan más fotosintatos, habiendo otras variables que influyen en dicha acumulación, en el amarre y crecimiento de los frutos, estos resultados son coincidentes con lo que reporta Borrego (2001) y Sánchez (2003); la explicación de este efecto puede deberse a lo

reportado por Pearce *et al.*, (1993), quienes mencionan que las altas tasas fotosintéticas pueden acumular más fotosintatos en otros órganos de crecimiento y sostén ó que la información de los resultados provienen de datos promediados, por lo que se tienen pocas observaciones.

Tampoco se encontró correlaciones significativas entre las variables agroclimáticas y de rendimiento, aunque se deben considerar tanto la temperatura del aire con ( $r = -0.4$ ) y la temperatura de la hoja ( $r = -0.5$ ) ya que afectan de manera negativa al resto de las variables, entre ellos al rendimiento, teniendo que al incrementarse la temperatura se presentará menor rendimiento, por presentarse afectaciones en procesos los fisiológicos (Dinar y Rudich, 1985; Alía, 2000; Sato *et al.*, 2006; Salvucci y Crafts, 2004).

En la figura 11 se aprecia el comportamiento fisiotécnico de los 12 genotipos de tomate saladette. Encontrando que aunque no hubo correlaciones significativas entre el REND y las variables agroclimáticas y fisiológicas, es bien sabido que influyen directamente en la expresión genética de las plantas, afectando finalmente la producción (Falconer y Makay, 2001). La falta de significancia puede atribuirse a que se están trabajando con promedios lo cual genera pocas observaciones. Se encontraron coeficientes de correlaciones relativamente altos ( $r \geq -0.4$ ) entre el REND con TAIR, THOJA y RE, lo que indica que entre más elevadas sean las temperaturas menores serán los rendimientos, ya que se afectan directamente al cierre estomatal, lo cual genera cambios en las tasas de fotosíntesis ( $r = -0.3$ ) y transpiración ( $r = -0.6$ ).

En el cuadro 5, en la fuente de variación Genotipos, se observan diferencias altamente significativas ( $P \alpha \leq 0.01$ ) en NF y PPF, de lo que se deduce, que hubo diferencias en las respuestas de los materiales a las condiciones de establecimiento, edáficas y climáticas, debido a la variabilidad genética existente; aunque la no significancia de las variables NC, RENDPTA y REND, refleja que los materiales presentan alta estabilidad en los diferentes sistemas de producción.

Los materiales presentaron 7 cortes en promedio, con un rango de 11 a 24 frutos cosechados, destacando DR x Z4, TR x F3 y DR con la mayor cantidad. El peso promedio de frutos presente en los materiales fue de 96 grs., aunque algunos genotipos presentan frutos con dimensiones más grandes entre ellos: Z4 x L1, Z4 x D1, Z4 x U2 y Z4 x R1 con PPF entre 120 a 137 grs.; en comparación con el testigo DR cuyo peso fue el inferior con 60 grs. (Apéndice A7 y Figura 12).

**Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables de rendimiento en 12 genotipos de tomate saladette.**

<b>F. V.</b>	<b>G. L.</b>	<b>NC</b>	<b>NF</b>	<b>RENDPTA</b>	<b>PPF</b>	<b>REND</b>
<b>AMB</b>	2	121.64 **	37.85 **	1.09 **	12427.33	41.11 **
<b>REP(AMB)</b>	3	0.56	0.15	0.03	2224.29	0.66
<b>GEN</b>	11	0.55	1.07 **	0.05	3882.98 **	1.15
<b>GEN*AMB</b>	22	0.83	0.37	0.05	417.26	1.23
<b>ERROR</b>	33	0.60	0.36	0.059	314.07	1.40
<b>C. V.</b>		10.96	4.40	2.151	18.48	7.33
<b>MAX.</b>		7.50	24.02	2.169	137.17	51.54
<b>PROM.</b>		7.04	14.96	1.712	95.88	39.98
<b>MIN.</b>		6.33	11.06	1.360	60.22	31.25

F. V. (Fuentes de Variación), G. L. (Grados de Libertad), NC (Número de Cortes), NF (Número de Frutos), RENDPTA (Rendimiento por Planta), PPF (Peso Promedio de Frutos), REND (Rendimiento), AMB (Ambientes), REP(AMB) (Repetición dentro de Ambientes), GEN (Genotipos), GEN\*AMB (Genotipos x Ambientes), C. V. (Coeficiente de Variación), Máx. (Máximo), Prom. (Promedio), Mín. (Mínimo), \* Significativo ( $P \alpha \leq 0.05$ ) y \*\* Altamente significativo ( $P \alpha \leq 0.01$ ).

Figura 11. Comportamiento de 12 genotipos de tomate saladette de acuerdo a las variables TRANS, FOTO y REND, promedio de los tres ambientes de evaluación.

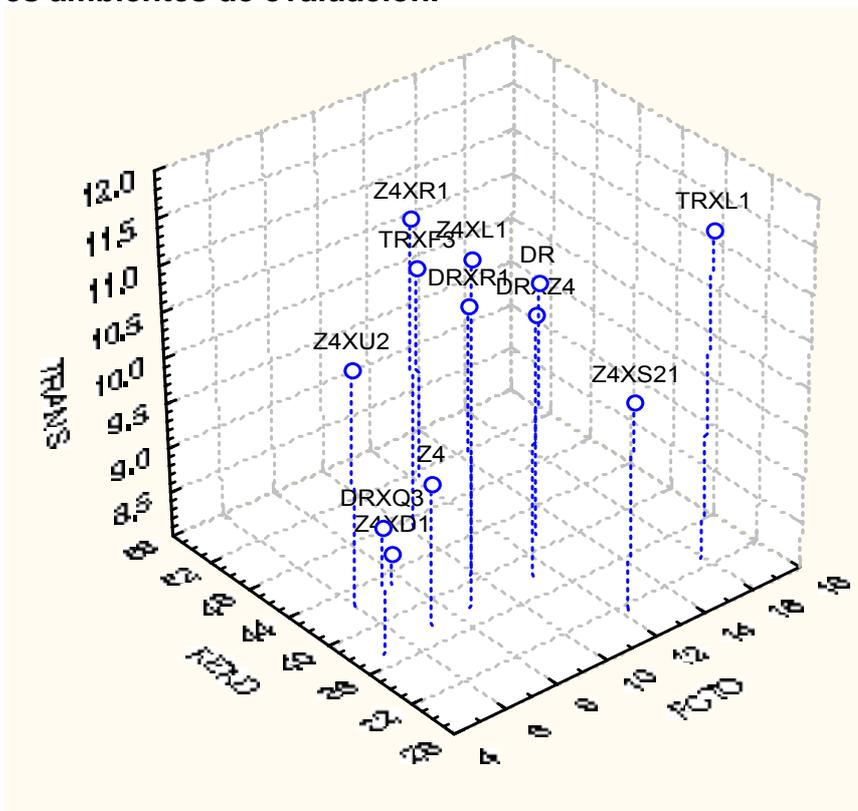
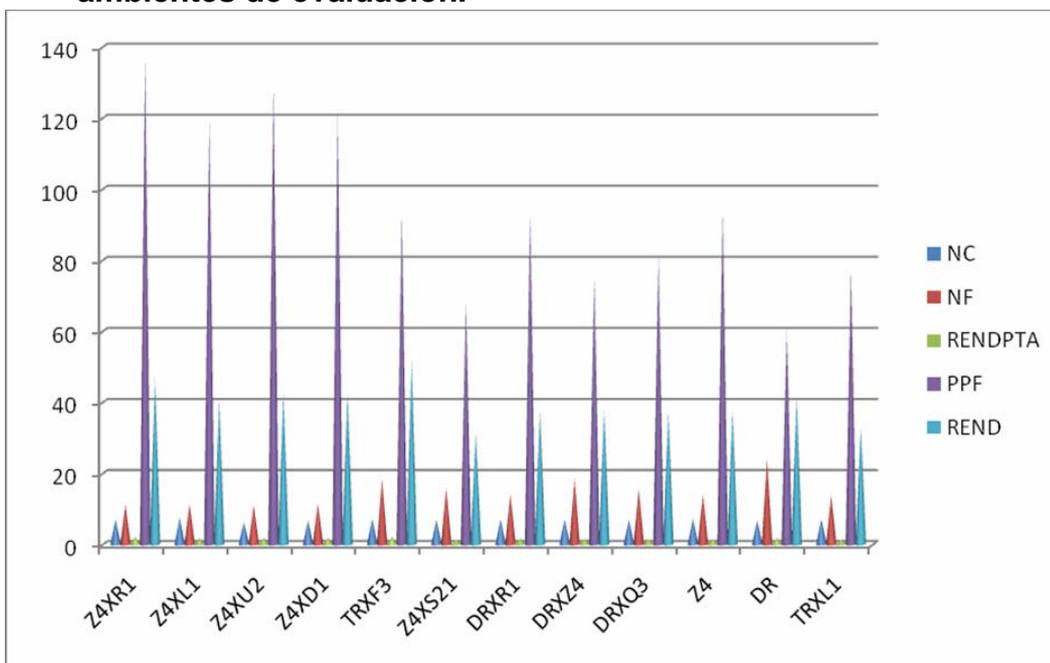


Figura 12. Comportamiento de las variables de rendimiento cuantitativo en 12 genotipos de tomate saladette, promedio de los tres ambientes de evaluación.



En la interacción GEN\*AMB no se encontraron diferencias significativas en todas las variables, incluyendo la principal, que es el rendimiento, lo que indica que los materiales presentan un alto grado de estabilidad ante los efectos ambientales, por lo que, estas características son transmitidas durante el proceso de selección beneficiando al progreso genético de los materiales, por su gran adaptabilidad a la zona de interés (Yang y Becker, 1991; Magari y Kang 1993; Vencovsky y Barriga, 1992). Dicha adaptabilidad se ha generado conforme se ha trabajado con los materiales en la zona de importancia, además de que los progenitores se han seleccionado bajo condiciones de sequías y altas temperaturas, lo cual tiene beneficios al emplearse en la formación de nuevos materiales genéticos, ya que contribuyen a que la progenie presente ésta característica.

#### **4.1.5. Análisis de Varianza para las Variables de Rendimiento Cualitativo.**

Las evaluaciones de calidad de fruto se realizaron, ya que actualmente está tomando creciente importancia en los consumidores la apariencia visual externa, tamaño apropiado, color rojo uniforme, ausencia de defectos, buena firmeza, sabor, aroma característico y adecuada vida útil, son algunos de los aspectos más importantes en la compra de tomate. A continuación se explican los resultados encontrados:

En el cuadro 6 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables de rendimiento cualitativo. Se aprecian diferencias altamente significativas ( $P \alpha \leq 0.01$ ) en las variables pH, GBRIX y LICOP, así como diferencias significativas ( $P \alpha \leq 0.05$ ) en la

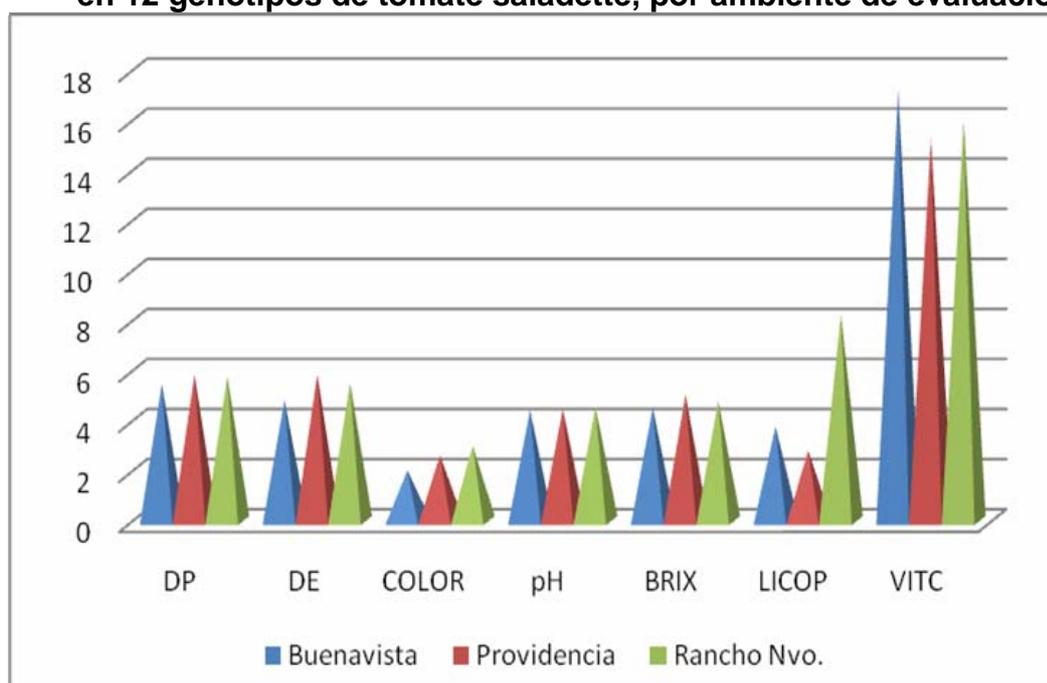
variable VITC, lo cual indica que las condiciones ambientales fueron distintas en cada uno de los ambientes de evaluación, además aunado a ello, el manejo agronómico, las características edáficas y la calidad de agua influyeron en la concentración final de cada componente de calidad.

En el Apéndice A9 y Figura 13 se muestran cada una de las variables de calidad con su respectivo valor de concentración. Buenavista obtuvo el pH más ácido (4.41), en tanto, Rancho Nuevo presentó el pH ácido más elevado (4.54). La concentración de sólidos solubles (GBRIX) más elevada fue obtenida en el ambiente de Providencia (5.01%), en tanto, Buenavista presentó el valor inferior (4.51%). La concentración más elevada de licopeno fue obtenida en el ambiente de Rancho Nuevo (8.22%), en tanto, en las demás localidades, el valor fue muy bajo (menor a 4%). Buenavista presentó el valor más elevado en el contenido de vitamina C (17.2 mg. por 100 ml. de muestra); mientras que en Providencia y Rancho Nuevo se obtuvo cerca de 16 mg. por 100 ml. de muestra.

En el Apéndice A11 se aprecian correlaciones significativas ( $P \alpha \leq 0.05$ ) entre pH con la luz incidente, la temperatura de la atmósfera y la temperatura de la hoja; en tanto, el contenido de sólidos solubles medido en grados brix, se correlaciona con la temperatura de la atmósfera y de la hoja, lo que indica que estos parámetros se ven afectados por las condiciones climatológicas, como lo reporta De Prado (2002). En el cuadro 6 se aprecian diferencias altamente significativas ( $P \alpha \leq 0.01$ ) en las variables pH, GBRIX y VITC y, diferencias significativas ( $P \alpha \leq 0.05$ ) en LICOP, en la fuente de variación Genotipos, indicando que los materiales genéticos difieren bastante en éstas variables.

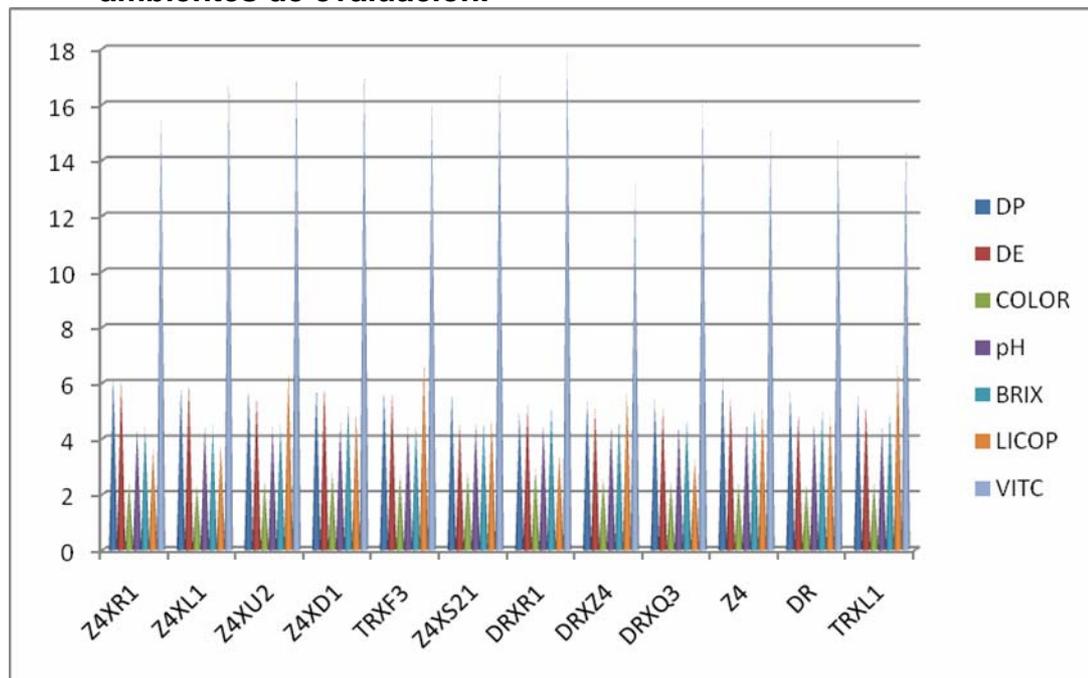
En la figura 14 se observa el comportamiento cualitativo de 12 genotipos de tomate saladette en tres ambientes de evaluación. Encontrando que la coloración de los frutos se mantuvo hacia el valor escalar 3, según la escala colorimétrica de EE.UU. Ésta característica es de gran importancia, ya que es un factor determinante en la aceptación comercial de la pasta de tomate y además depende del contenido de licopeno (Gómez *et al.*, 2001). Aunque en éste trabajo no se encontró dicha dependencia, por presentarse correlación no significativa entre COLOR y LICOP.

**Figura 13. Comportamiento de las variables de rendimiento cualitativo en 12 genotipos de tomate saladette, por ambiente de evaluación.**



El rango de pH encontrado fue de 4.34 a 4.57, adecuado para la conservación del producto procesado y elaborado por la industria, como lo reportan Costa y Campos, (1985); Gould, (1992); Civera, (1990); Young *et al.*, (1993) y Diez, (1995), ya que se evita el desarrollo de microorganismos anaerobios termoresistentes.

**Figura 14. Comportamiento de las variables de rendimiento cualitativo en 12 genotipos de tomate saladette, promedio de los tres ambientes de evaluación.**



Se encontraron correlaciones positivas significativas ( $P \alpha \leq 0.05$ ) entre pH con luz incidente (LI), temperatura de la atmósfera (TAIR), temperatura de la hoja (THOJA) y resistencia estomática (RE), lo que indica que el pH se aumenta directamente al incrementar la incidencia de luz, de las temperaturas y con el cierre estomatal. También se aprecian correlaciones negativas significativas ( $P \alpha \leq 0.05$ ) entre pH con la conductancia estomática (CE) y la transpiración (TRANS), teniendo que se presentará menor pH cuando la CE y la TRANS sean mayores (Apéndice A11).

La concentración de azúcar es determinada por el transporte de fotoasimilados a los frutos y puede ser manipulada al alterar las relaciones de agua a través del riego, además de la temperatura y la cantidad de luz; también se ha relacionado directamente al potasio con la calidad y la migración de los glúcidos hacia los frutos y su condensación hacia al estado de azúcares (Ho, 1999; Marschner, 2003).

**Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables de calidad de 12 genotipos de tomate saladette.**

<b>F. V.</b>	<b>G. L.</b>	<b>DP</b>	<b>DE</b>	<b>COLOR</b>	<b>PH</b>	<b>GBRIX</b>	<b>LICOP</b>	<b>VITC</b>
<b>AMB</b>	2	0.96	6.33	0.29	0.14 **	2.59 **	14.28 **	35.20 *
<b>REP(AMB)</b>	6	0.62	0.70	0.30	0.01	0.19	0.31	4.58
<b>GEN</b>	11	0.78 *	1.41 **	0.31	0.05 **	0.74 **	0.68 *	18.85 **
<b>GEN*AMB</b>	22	0.36	0.48	0.64 **	0.02 **	1.05 **	0.50	16.35 **
<b>ERROR</b>	66	0.36	0.41	0.20	0.004	0.10	0.30	3.06
<b>C. V.</b>		10.52	11.90	17.36	1.35	6.61	4.51	10.84
<b>MAX.</b>		6.24	6.17	2.89	4.57	5.20	6.77	17.99
<b>PROM.</b>		5.68	5.39	2.55	4.47	4.77	4.93	16.14
<b>MIN.</b>		4.95	4.55	2.33	4.34	4.46	3.26	13.18

F. V. (Fuentes de Variación), G. L. (Grados de Libertad), DP (Diámetro Polar), DE (Diámetro Ecuatorial), pH (Potencial de Iones Hidrógeno), GBRIX (Grados Brix), LICOP (Licopeno), VITC (Vitamina C), AMB (Ambientes), REP(AMB) (Repetición dentro de Ambientes), GEN (Genotipos), GEN\*AMB (Genotipos x Ambientes), C. V. (Coeficiente de Variación), Máx. (Máximo), Prom. (Promedio), Mín. (Mínimo), \* Significativo ( $P \alpha \leq 0.05$ ) y \*\* Altamente significativo ( $P \alpha \leq 0.01$ ).

Se observan dos grupos estadísticamente diferentes, el primero formado por aquellos genotipos cuyos valor superan los 5%, entre ellos: Z4, DR x R1 y Z4 x D1, por el contrario, en el segundo grupo se ubican la mayoría de los materiales, entre ellos: el testigo con valor inferior al 5%, aunque la cruza TR x F3 presenta la menor concentración con 4.5%. En el apéndice A11 se muestran los valores de los coeficientes de correlación entre el contenido de sólidos solubles (BRX) con algunas variables de rendimiento cuantitativo y cualitativo, agroclimáticas y fisiológicas. Encontrando correlaciones significativas ( $P \alpha \leq 0.05$ ) entre BRX con TAIR, THOJA y pH, lo que indica que al incrementarse cada una de éstas variables, se incrementa proporcionalmente el contenido de sólidos solubles.

Gould, (1992); Young *et al.*, (1993) y Civera, (1990), mencionan que un cultivar adecuado para el procesamiento debe poseer un mínimo de sólidos solubles de 5 °Brix, ya que niveles por debajo del mencionado valor afectarían su calidad industrial en términos de conversión de la materia prima a producto final. Por lo que cualquier aumento en éste parámetro, puede traer un aumento significativo en el rendimiento y disminución de los costos de concentración en el tomate, ya que la cantidad de producto procesado que puede ser manufacturado es dependiente del contenido de sólidos del fruto.

La concentración promedio de LICOP fue de 4.93 mg 100 ml<sup>-1</sup>, aunque se destacan Z4, DR x Z4, Z4 x U2, TR x L1 y TR x F3 cuyos contenidos superan los 5 mg 100 ml<sup>-1</sup>, en tanto DR x Q3 y DR x R1 presentan las concentraciones inferiores de 3.26 y 3.44 mg 100 ml<sup>-1</sup>, respectivamente. No se encontraron correlaciones significativas entre LICOP

con las demás variables, lo que pudo afectarse por el uso de promedios lo que genera bajo número de observaciones. Los valores encontrados en la investigación están dentro del rango reportado por Arias *et al.*, (2000), Martínez (2002) y Escaff *et al.*, (2007) quienes mencionan que en las variedades comunes la concentración de licopeno es de 3 a 17 mg 100 g<sup>-1</sup> en fruto maduro.

López *et al.*, (2001), mencionan que el contenido de licopeno está genéticamente controlado, por lo que, el genotipo tiene fuerte influencia en su contenido, encontrando que cada variedad de tomate va a tener su potencial productivo y de respuesta al estrés ambiental, sin embargo, la máxima expresión se va a producir sólo cuando las condiciones del medio sean las adecuadas, como suelos con alto contenido de potasio y bajo en calcio, o zonas climáticas con mayor incidencia de luz ultravioleta. Por lo que la metodología recomendada para incrementar el contenido de licopeno se basa en la generación de variedades con alto potencial para producirlo y adaptadas a las zonas de cultivo.

El contenido de VITC osciló entre 13.18 a 17.99 mg 100 g<sup>-1</sup>, notando que la mayoría de los híbridos experimentales presentan los valores más altos en comparación con el testigo DR cuyo valor fue de 15 mg 100 g<sup>-1</sup>, aunque dichos valores no coinciden con el promedio reportado por Nuez (1995) de 23 mg por 100 grs. de muestra, dicha tendencia puede ser atribuible a que se trabajó bajo diferentes sistemas de producción con distinto manejo; en ese sentido, se puede inferir que las condiciones de establecimiento afectaron el contenido de vitamina, como lo reporta De Pascale (2003). En el apéndice A11 no se aprecian correlaciones

significativas entre la concentración de vitamina C con las demás variables, lo que indica que hay independencia entre ellas, ó que el número de observaciones analizadas es bajo, impidiendo la detección de significancia.

En GEN\*AMB se encontraron diferencias altamente significativas ( $P \alpha \leq 0.01$ ) en las variables COLOR, pH, GBRIX y VITC, indicando que el comportamiento de los genotipos fue diferencial en los diferentes ambientes de evaluación, por lo que se puede hacer selección hacia aquellos materiales con las mejores expectativas en el mercado de interés. En tanto, la variable LICOP no presentó diferencias significativas, de lo que se deduce que esta variable no es influenciada por los ambientes.

#### **4.2. Análisis de Componentes Principales.**

Para facilitar la interpretación de los resultados de la evaluación de 12 genotipos de tomate saladette en tres ambientes del noreste de México, se realizó un análisis de componentes principales (ACP), en el que se reducen la dimensionalidad de los datos multivariados, ya que remueve las interrelaciones existentes entre variables, organiza los datos en forma de vectores independientes ú ortogonales, en donde cada una de las variables dentro del vector se compone de manera similar con base en sus correlaciones; a cada uno de estos vectores se le conoce como componente principal. Esta prueba también nos expresa la mayor parte de la varianza de los datos ortogonales y, determina que esta prueba es una herramienta útil para simplificar el análisis e interpretación de la gran cantidad de variables consideradas en una evaluación exhaustiva (Broschat, 1979). El ACP nos permite seleccionar aquellos genotipos con mejores atributos en la

evaluación (Godshalk y Timothy, 1988). Los componentes principales a seleccionar son los que cumplen alguna de las siguientes características: a) que cada componente aporte al menos un 5% de la varianza total, b) que expliquen al menos un 75% de la varianza total y c) que tengan al menos un Eigenvalor ó valor característico de 1.0. A continuación se explican los resultados encontrados mediante éste procedimiento:

En el Cuadro 7 se presentan los eigenvalores de cada componente con su respectiva contribución relativa a la varianza total del experimento. Se encontró que con ocho eigenvalores se concentra el 95% de la varianza total y que de ellos los primeros 4 contribuyen con una varianza superior al 10%, en tanto, los otros cuatro presentan valor inferior, aunque se consideran de importancia, ya que presentan valores característicos superior a uno, y además, que en ellos se involucran variables de interés en la investigación.

**Cuadro 7. Eigenvalores del análisis de componentes principales entre variables agroclimáticas, fenológicas, fisiológicas y de rendimiento en 12 genotipos de tomate, evaluados en tres ambientes.**

<b>Componente principal</b>	<b>Eigenvalor</b>	<b>Varianza total (%)</b>	<b>Eigenvalor acumulado</b>	<b>Varianza acumulada (%)</b>
1	7.83	29.00	7.83	29.00
2	4.93	18.27	12.76	47.26
3	3.64	13.50	16.40	60.76
4	2.74	10.16	19.15	70.91
5	2.18	8.07	21.33	78.99
6	1.89	6.98	23.21	85.97
7	1.45	5.36	24.66	91.33
8	1.04	3.83	25.69	95.16

En el cuadro 8 se presenta la contribución relativa de cada variable en cada uno de los componentes principales. Las variables que son significativas en el componente uno son: NF y PPF, aunque en sentido inverso, por lo que se tendría que a mayor NF habrá menor PPF, llamado “componente de cantidad y peso de fruto”; en el componente dos, las variables con significancia son: HR, COND, CE y TRANS; por lo que se le puede llamar “componente de regulación interna de temperatura”, ya que, intervienen variables que influyen en la apertura o cierre estomático y además por el papel fisiológico que desempeña la transpiración; en el componente principal tres, DPC, DEC, NC, CO<sub>2</sub> y CINT fueron las variables significativas, nombrando a este componente como “componente de corte y de concentración de CO<sub>2</sub>”; en el componente cuatro, el RENDPTA y REND presentan significancia, por lo que lo llamamos “componente de rendimiento cuantitativo”; en el componente cinco, únicamente la variable DUC presenta significancia, por lo que se nombra “componente de finalización de corte”; en el componente seis, las variables FOTO y UEAF son significativas, llamándolo “componente de la producción eficiente de fotosintatos”; en el componente siete, resaltan con significancia las variables COLOR y VITC nombrando a dicho componente como “componente de rendimiento cualitativo” y, en el componente ocho, las variables significativas fueron: DFFF, TAIR, THOJA y pH, por lo que se nombra “componente de agroclimático”.

En el cuadro 8 se aprecian que los genotipos que favorecen a la significancia de la variable NFRUT son aquellos que presentan los valores negativos destacando a DRXZ4 y DR; en tanto, los genotipos cuyos valores son positivos y contribuyen a la significancia de la variable PPF son: Z4XU2 y Z4XD1.

**Cuadro 8. Contribución relativa de las variables analizadas en los componentes principales en 12 genotipos de tomate, evaluados en tres ambientes.**

	Componentes principales							
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8
DPC	-0.17	0.18	-0.92*	0.07	-0.05	-0.23	-0.05	0.05
DUC	0.35	-0.22	-0.11	0.03	-0.89*	-0.12	0.04	0.12
DEC	0.28	-0.23	0.87*	-0.04	-0.25	0.16	0.07	0.02
NC	-0.17	0.06	0.86*	0.05	-0.19	0.18	0.13	0.14
DP	0.50	-0.03	0.36	-0.40	0.19	-0.08	0.47	-0.18
DE	0.61	-0.12	0.23	-0.65	-0.27	-0.11	0.06	0.20
RNDPTA	0.03	0.07	0.02	-0.97*	0.09	-0.04	0.03	0.16
NF	-0.91*	0.14	-0.08	-0.09	0.16	0.21	0.19	-0.17
PPF	0.77*	-0.17	0.03	-0.49	-0.11	-0.28	-0.13	0.17
REND	0.07	0.06	0.00	-0.96*	0.09	-0.02	0.01	0.18
DFFF	0.03	-0.07	-0.03	-0.03	0.01	0.11	-0.17	-0.95*
TAIR	-0.29	0.18	-0.10	0.37	0.15	0.25	0.14	-0.73*
THOJA	-0.29	0.25	-0.05	0.40	0.11	0.06	0.04	-0.81*
CO <sub>2</sub>	-0.07	0.25	-0.73*	0.10	-0.28	0.48	-0.13	-0.17
HR	0.19	-0.87*	0.03	-0.08	0.30	0.06	0.31	0.01
FOTO	-0.34	-0.35	0.18	0.07	0.02	0.83*	0.08	0.02
COND	0.21	-0.92*	0.22	0.06	-0.12	0.06	0.08	0.16
CINT	0.09	0.14	-0.91*	-0.01	-0.35	0.04	0.12	0.04
RE	0.18	0.50	0.25	0.47	0.15	-0.14	0.16	-0.57
CE	0.21	-0.92*	0.22	0.06	-0.11	0.06	0.08	0.15
TRANS	-0.27	-0.86*	0.18	0.04	-0.10	0.15	-0.12	0.27
UEAF	-0.22	-0.03	0.24	0.09	0.10	0.89*	-0.10	-0.10
COLOR	0.08	0.50	-0.05	0.13	0.02	0.33	-0.72*	-0.03
PH	-0.10	0.45	0.05	0.15	0.02	-0.21	-0.11	-0.80*
BRIX	-0.04	0.36	-0.20	0.19	-0.53	0.12	0.02	-0.62
LICOP	0.12	-0.18	-0.21	-0.10	0.55	0.57	0.31	-0.12
VITC	0.38	0.08	-0.12	-0.12	0.02	-0.25	-0.79*	-0.20

DPC (Días a Primer Corte), DUC (Días a Último Corte), DEC (Días en Corte), NC (Número de Cortes), DP (Diámetro Polar), DE (Diámetro Ecuatorial), RNDPTA (Rendimiento por Planta), NF (Número de Frutos), PPF (Peso Promedio de Frutos), REND (Rendimiento por Hectárea), DFFF (Luz Incidente), TAIR (Temperatura del Aire), THOJA (Temperatura de la Hoja), CO<sub>2</sub> (Concentración de CO<sub>2</sub> Atmosférico), HR (Humedad Relativa), FOTO (Fotosíntesis), COND (Conductancia), CINT (Concentración de CO<sub>2</sub> Intracelular), RE (Resistencia Estomática), CE (Conductancia Estomática), TRANS (Transpiración), UEAF (Uso Eficiente de Agua Fisiológico), COLOR (Color), pH (Potencial de Iones Hidrógeno), BRIX (Grados Brix), LICOP (Licopeno) y VITC (Vitamina C).

Las características son contrastantes en estos dos grupos, encontrando que los genotipos del primer grupo presentan una gran producción de frutos pero con dimensiones pequeñas, por el contrario, el segundo grupo presenta frutos de dimensiones muy grandes, aunque la cantidad es menor. En el componente cuatro se aprecian que los valores significativos presentan signo negativo, por lo que, los genotipos que contribuyen a este efecto son los que presenten los mayores valores negativos, entre ellos, TRXF3, Z4XR1, DR y Z4XD1 (Apéndice A7).

Los genotipos que más contribuyeron a la significancia de las variables del componente dos ó “de regulación de la temperatura interna”, son aquellos cuyos valores son negativos, destacando TRXL1, Z4XU2 y Z4XL1. En tanto, los genotipos cuya contribución genera significancia en el componente seis ó “de producción eficiente de fotosintatos” son aquellos cuyos valores son positivos, destacando entre ellos: TRXF3, Z4XS21 y TRXL1 con valores de FOTO superiores a  $12 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y en UEAF superiores a  $3 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  por  $10 \text{ L H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Apéndice A5).

Las variables agroclimáticas quedaron comprendidas en los componentes dos y ocho (Cuadro 8); en el que los genotipos que más contribuyeron a la significancia de las variables fueron Z4XL1, Z4XU2, Z4, DR y TRXL1, cuyas condiciones de desarrollo fueron alta incidencia de luz, temperaturas y humedad relativa y baja concentración de  $\text{CO}_2$  atmosférico (Apéndice A3).

En la figura 15 se muestra el comportamiento de los 12 genotipos de tomate saladette evaluados en tres ambientes, en dos componentes principales, uno denominado “de producción eficiente de fotosintatos” y el otro “de regulación interna de temperatura”. Destacando que TRXL1 es un genotipo con alto uso eficiente de agua aunque presenta una desventaja, que no tiene una regulación óptima de la temperatura interna; en tanto, TRXF3, Z4XD1, Z4XS21 y DRXZ4 son genotipos con características deseables tanto en el uso eficiente de agua como en la regulación interna de la temperatura, lo que confiere condiciones óptimas para un buen desarrollo de las plantas.

**Cuadro 9. Contribución relativa de 12 genotipos de tomate saladette a cada uno de los componentes principales.**

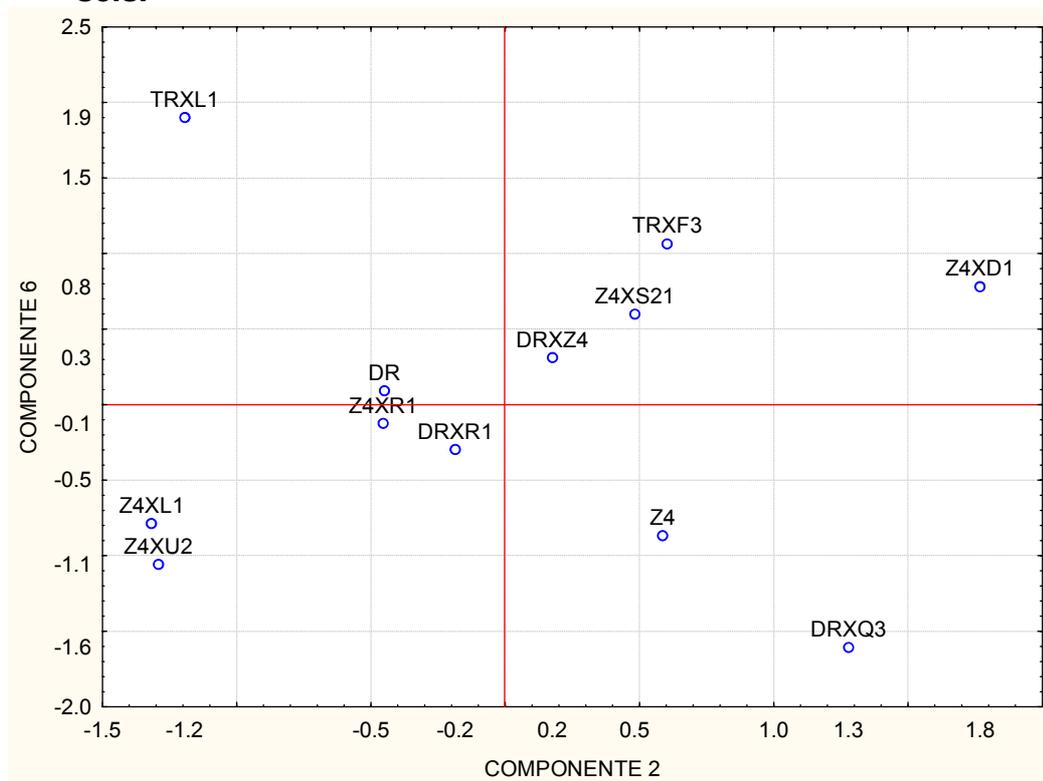
	Componentes principales							
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8
Z4XR1	0.76	-0.45	0.44	-1.06	-0.58	-0.13	0.31	1.43
Z4XL1	0.32	-1.32	1.66	-0.37	-0.70	-0.79	-0.50	0.02
Z4XU2	1.15	-1.29	-1.74	-0.32	1.52	-1.06	-0.17	-0.30
Z4XD1	1.54	1.77	-0.73	-0.70	-1.04	0.78	-0.24	-0.75
TRXF3	-0.56	0.60	0.51	-1.72	1.41	1.06	-0.33	0.59
Z4XS21	-0.12	0.48	0.60	1.51	1.53	0.60	-1.28	-0.32
DRXR1	-0.60	-0.19	-0.22	0.40	-1.30	-0.30	-2.13	-0.30
DRXZ4	-0.94	0.18	0.24	0.48	0.13	0.31	0.73	1.21
DRXQ3	-0.54	1.28	-0.86	0.86	-0.27	-1.61	0.51	1.26
Z4	0.55	0.59	1.44	0.46	0.32	-0.87	1.41	-1.56
DR	-2.06	-0.45	-0.83	-0.88	-0.40	0.09	0.70	-1.49
TRXL1	0.49	-1.19	-0.53	1.34	-0.62	1.90	0.99	0.20

En la figura 16 se aprecia el comportamiento de los 12 materiales genéticos de tomate saladette evaluados en tres ambientes, en dos componentes principales, uno de eficiencia fisiotécnica y el otro de rendimiento cuantitativo; en el que se destacan dos grupos genéticos importantes, uno de ellos formado por los genotipos TRXF3, Z4XD1, DR y Z4XR1, con características de alta eficiencia fisiotécnica y con buen rendimiento. Por otro lado, DRXZ4, TRXL1 y Z4XS21, son genotipos con alta eficiencia fisiotécnica, pero de menor rendimiento.

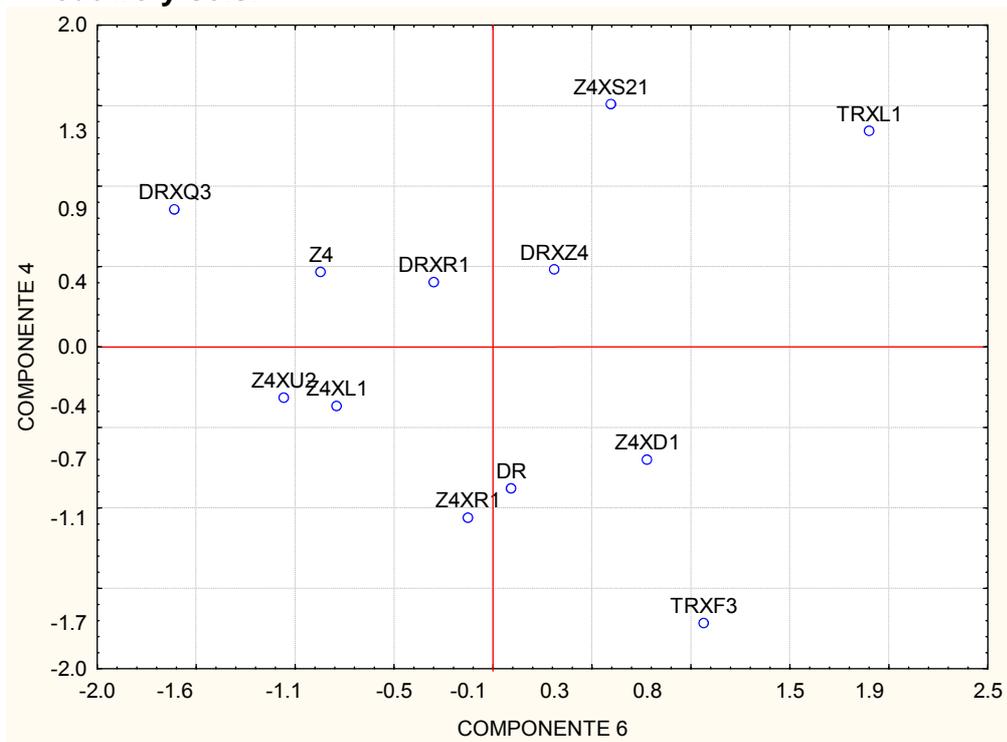
En la figura 17 se observa el comportamiento fisiológico de los genotipos en respuesta a las condiciones agroclimáticas imperantes en los ambientes de interés, se destacan algunos genotipos sobresalientes como: DRXZ4, TRXF3, TRXL1, Z4XD1, Z4XS21 y DR, cuyas características fisiotécnicas les confieren una alta capacidad en el uso eficiente de agua fisiológica (Apéndice A3).

En el cuadro 10 se muestra la calificación final de los 12 genotipos de tomate saladette en base a criterios fenológicos (5%), fisiológicas (15%), rendimiento (70%) y calidad (10%), destacando Z4XR1, TRXF3, Z4XD1, Z4XU2, Z4XL1 y Z4 en comparación con el testigo comercial DR, por complejo genético que les confiere precocidad, eficiencia fisiotécnica, altos rendimientos y producción de calidad.

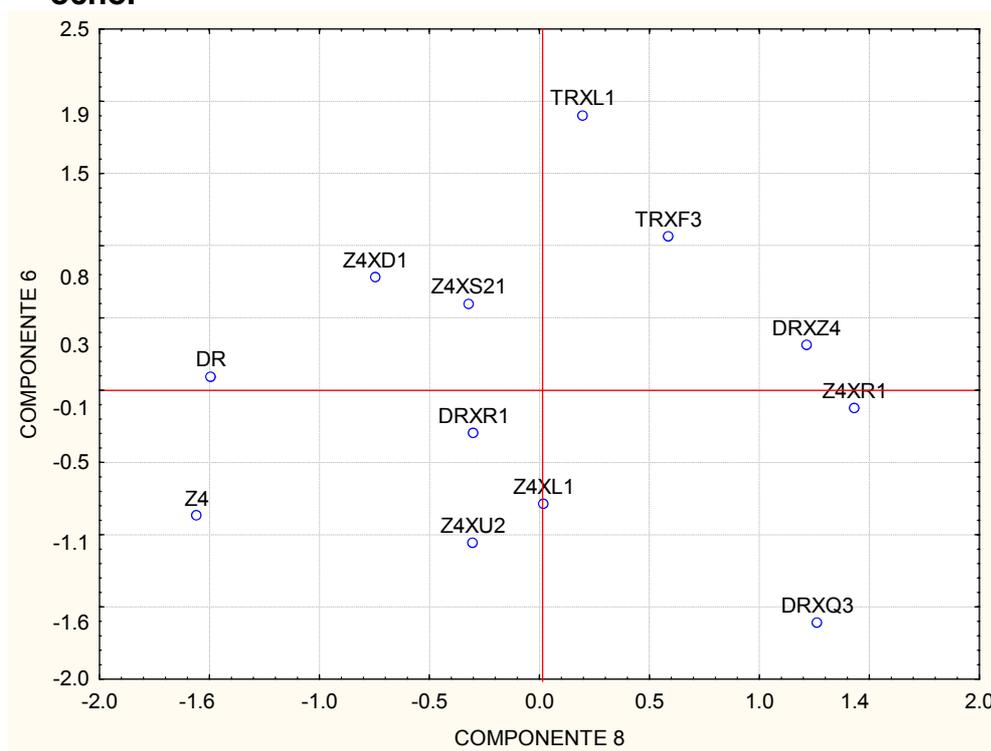
**Figura 15. Comportamiento de 12 genotipos de tomate saladette evaluados en tres ambientes, considerando el componente dos y seis.**



**Figura 16. Comportamiento de 12 genotipos de tomate saladette evaluados en tres ambientes, considerando el componente cuatro y seis.**



**Figura 17. Comportamiento de los 12 genotipos de tomate saladette evaluados en tres ambientes, considerando el componente seis y ocho.**



**Cuadro 10. Calificación final de los genotipos de tomate saladette, en base a características fenológicas, fisiotécnicas y de rendimiento, en tres ambientes de evaluación.**

<b>Genotipo</b>	<b>Calificación</b>	<b>Posición</b>
Z4XR1	88.89	1
Z4XL1	79.79	5
Z4XU2	80.97	4
Z4XD1	84.06	3
Z4XS21	66.03	12
TRXF3	88.32	2
TRXL1	69.44	10
DRXR1	71.84	8
DRXZ4	70.82	9
DRXQ3	67.07	11
Z4	73.38	6
DR	72.63	7

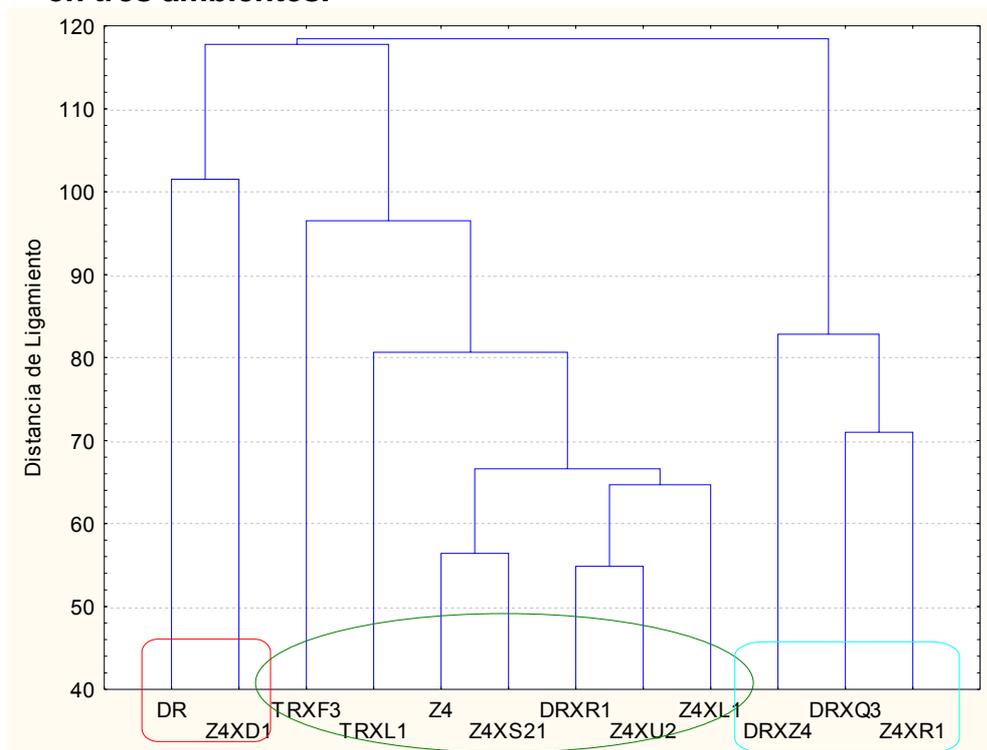
### 4.3. Análisis de Clúster.

El dendograma es una herramienta que nos permite identificar la similitud entre los genotipos, para hacer más eficiente el proceso de mejoramiento, utilizando aquellos más distantes que permitan ampliar la variabilidad genética, ya que al utilizar genotipos con cierto grado de parentesco como progenitores, la progenie resultante tendrá algún grado de endogamia, lo que puede reducir su rendimiento y estabilidad (Estrada, 1999); esta situación ha ocasionado una fuerte dependencia hacia el uso de agroquímicos, debido a la baja resistencia a las enfermedades y a la falta de adaptación de los cultivares a las condiciones adversas (Spiertz *et al.*, 1996); a continuación se explican los resultados:

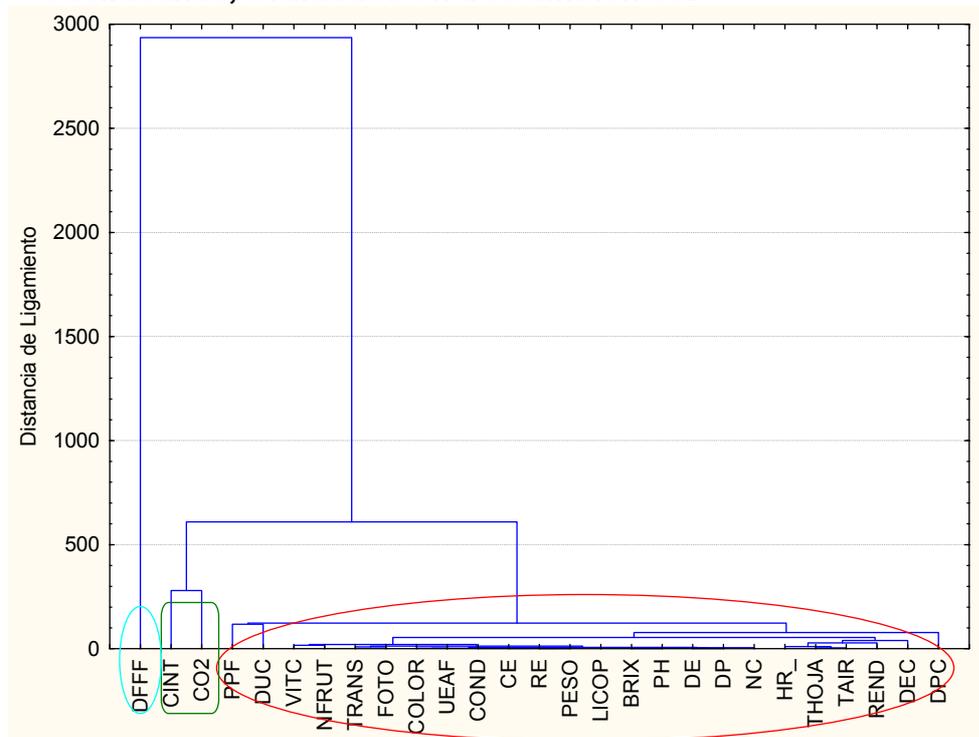
El agrupamiento mediante Análisis de Clúster resultó ser una herramienta útil para la evaluación de germoplasma de tomate ya que agrupó a aquellos genotipos con un parentesco cercano en base a las características evaluadas; mostrando tres grupos germoplásmicos diferentes en la evaluación de 12 genotipos de tomate saladette considerando criterios fisiotécnicos y agronómicos. El grupo I lo conforman los genotipos DR y Z4XD1. El grupo dos estuvo integrado por la mayoría de los genotipos: TRXF3, TRxL1, Z4, Z4XS21, DRXR1, Z4XU2 y Z4XL1 y, el grupo tres formado por: DRXZ4, DRXQ3 y Z4XR1 (Figura 18).

Para complementar la información obtenida del agrupamiento de los genotipos en base a las características fisiotécnicas, se realizó un análisis de agrupamiento para las variables de interés, encontrando que los 12 genotipos en estudio se agrupan en tres grupos según la expresión de todo el complejo genético a las condiciones ambientales de establecimiento. El primer grupo se caracteriza por presentar genotipos con características similares de incidencia de luz. El segundo grupo característico por su concentración de CO<sub>2</sub> tanto atmosférico como intracelular y, en el último grupo, se integran aquellos genotipos con cualidades similares en lo referente a la precocidad, capacidad de regulación térmica y de producción eficiente de fotosintatos, rendimiento cuantitativo y cualitativo (Figura 19).

**Figura 18. Agrupamiento de 12 genotipos de tomate saladette mediante análisis de Clúster utilizando distancias euclidianas, evaluados en tres ambientes.**



**Figura 19. Agrupamiento de 27 variables fisiotécnicas en tomate saladette mediante análisis de Clúster utilizando distancias euclidianas, evaluados en tres ambientes.**



## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en ésta investigación se puede concluir:

Los genotipos de tomate saladette presentan gran capacidad de adaptación a las condiciones de cultivo de los distintos sistemas de producción en las zonas semiáridas, por su tolerancia a factores adversos, ya que superaron el rendimiento promedio reportado por el SIAP en 2006; en ésta investigación se recomiendan: Z4XR1, TRXF3, Z4XD1, Z4XU2, Z4XL1 y Z4, por sus características sobresalientes en precocidad, eficiencia fisiotécnica, altos rendimientos y producción de calidad.

En las variables fenológicas se encontraron genotipos sobresalientes en precocidad por más de 10 días, lo que es benéfico, ya que se lleva tempranamente la producción al mercado y permite evadir condiciones adversas.

Las variables agroclimáticas que más influencia tienen en el desarrollo y producción del cultivo fueron la luz incidente y temperatura del aire, afectando la temperatura de la hoja y con ello los procesos fisiológicos.

Existen correlaciones significativas ( $P \alpha \leq 0.05$ ) entre FOTO con UEAF y correlaciones no significativas entre estas variables y TRANS, lo cual significa que los genotipos que más fotosintetizan son los que tienen mayor uso eficiente de agua.

No se encontró un patrón definido de correlación entre el rendimiento y las variables agroclimáticas y fisiológicas, aunque son de gran importancia ya que la expresión genética de los materiales depende del ambiente en que se desarrollen.

La extracción de factores principales mostró que con 8 componentes principales se concentró el 95% de la variación, considerándose a todos de importancia, ya que en ellos se concentran las variables de interés. Éste análisis fue de gran utilidad, ya que permitió la discriminación de variables y la detección de genotipos sobresalientes.

La agrupación de los materiales genéticos mediante el análisis de clúster, permitió identificar a grupos de genotipos con características similares, lo que permite planear nuevos cruzamientos entre genotipos menos emparentados, favoreciendo con ello el fenómeno de heterosis.

## VI. LITERATURA CITADA

- Abdul B., A. A. 1991. Tolerance of tomato cultivars and selected germplasm to heat stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116 (6): 1113-1116.
- Aikman, D. P. and G. Houter. 1990. Influence of radiation and humidity on transpiration: implications for calcium levels in tomato leaves. *J. Hort. Sci.* 65: 245-253.
- Alcama, J., G. J. J. Kreileman, J. C. Bollen, G. J. Van den Born, R. Gerlagh, M. S. Krol, A. M. C. Toet and H. J. M. de Vries. 1996. Baseline scenarios of global environmental change. *Global Environmental Change.* 6: 261-303.
- Alía, T. I. 2000. Temperaturas de almacenamiento y maduración en frutos de mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H. E. More & Stearn). *Revista Chapingo, Serie Horticultura* 6: 73-77.
- Allen, D. J. and D. R. Ort. 2001. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. *Trends in Plant Sci.* 6: 36-42.
- Allen, S. M. and M. L., Rudich. 1978. Genetics potential for overcoming physiological limitation on adaptability, yield, and quality in the tomato. *J. Hort. Sci.* 14 (2): 114-117.
- Anuschka, H., L. Bengt, E. Tom and S. Geoffrey. 2005. Nitrogen form affects yield and taste of tomatoes. *J. Science of Food and Agriculture.* 85 (8): 1405-1414.
- Arias, R., T. C. Lee, L. Logendra and H. Janes. 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L, a, b color reading of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *J. Agric. Food Chem.* 48: 1697-1702.
- Araus, J. L., J. Casadesus, A. Asbati and M. M. Nachit. 2002. Basis of the relationship between ash content in the flag leaf and carbon isotope discrimination in kernels of durum wheat. *Photosynthetica* 39: 591-596.
- Artés, F. 1999. Nuevas tendencias en la postrecolección del tomate fresco. *Alimentación, Equipos y Tecnología.* 5: 143-151.

- Artés, F. y A. J. Escriche. 1994. Intermittent warming reduces chilling injury and decay of tomato fruit. *J. Food Science*. 59: 1053-1056.
- Artés, F., F. García, J. Marquina, A. Cano y T. J. P. Fernández. 1998. Physiological responses of tomato fruit to cyclic intermittent temperature regimes. *Postharvest Biol. Technol.* 14 (3): 283-296.
- Artés, F., M. I., Mínguez y D., Hornero. 2002. Analysing changes in fruit pigments. In: *Colour in food. improving quality*. Ed. D. B. Mac Dougall. Edit. CRC Press and Woodhead Publishing Ltd. Chap. 10: 248-282.
- Baldwin, E. A., J. W. Scott, M. A. Einstein, T. M. Malundo, B. T. Carr, R. L. Shewfelt and K. S. Tandon. 1998. Relationship between sensory and instrumental analysis for tomato flavor. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 906-915.
- Baldwin, E., C. M. Nisperos and M. Mozonas. 1991. Quantitative analysis of flavor and other volatiles and for certain constituents of two tomato cultivars during ripening. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116 (2): 265-269.
- Bar-Tsur, A., J. Rudich and B. Bravdo. 1985. Photosynthesis, transpiration and stomatal resistance to gas exchange in tomato plants under high temperature. *J. Hort. Sci.* 60 (3): 405-410.
- Beecher, G. 1998. Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Proc. Soc. Experimental Biology Medicine*. 218: 98-100.
- Borrego, E. F. 2001. Determinación fisiotécnica de eficiencia en el desarrollo y rendimiento de genotipos de Papa, Melón y Tomate, para agricultura sustentable en zonas semiáridas. Tesis de Doctorado. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Bowes, G. 1991. Growth at elevated CO<sub>2</sub>: photosynthetic responses mediated through Rubisco. *Plant Cell. Environ.* 14: 795-806.
- Broschat, K. T. 1979. Principal component analysis in horticultural research. *J. Hort. Science*. 14 (2): 114-117.
- Brown, R. W. 1995. The water relations in range plants: adaptations to water deficits. In: D.J. Bedunah and R.E. Sosabee (Eds.). *Wildland plants: physiological ecology and developmental morphology*. Denver, Co. Society for Range Management. p. 291-413.
- Bunce, J. A. 1998. The temperature dependence of the simulation of photosynthesis by elevated carbon dioxide in wheat and barley. *J. Exp. Bot.* 49: 1555-1561.
- Buttery, R. G., R. Teranishi and L. C. Ling. 1987. Fresh tomato volatiles: a quantitative study. *J. Agric. Food Chem.* 35: 540-544.

- Cahn, M., B. Hanson, T. Hartz and E. Herrero. 2002. Optimizing fruit quality and yield grown under drip irrigation. *The California Tomato Grower*. 45 (2): 7-9.
- Casas, J. L., A. Moreno, J. Cuartero, F. Artés, J. G. Marín y M. Acosta. 1994. Comportamiento post-cosecha de frutos de tomate de larga duración. En: *Maduración y Postrecolección. La calidad en frutos y hortalizas*. Ed. Albi, M. A., F. Gutiérrez y M. Roca Ed. SEFV, SECH y CSIC. 353-358.
- Chamorro, J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. in: Nuez, F. *El cultivo del tomate*. Madrid, Mundi-Prensa. 45-92 p.
- Chaves, M. M., J. S. Pereira, J. Maroco, M. L. Rodrigues, C. P. Ricardo, M. L. Osorio, I. Carvalho, T. Faria and C. Pinheiro. 2002. How Plants Cope with Water Stress in the Field. *Photosynthesis and Growth. Annals of Botany*. 89 (7): 907-916.
- Cheema, D. S., S. Sorjan, S. Singh and C. S. Kmo. 1992. Variability in heat tolerant tomato germplasm. *Adaptation of food crops to temperature and water stress. Proceedings of an international symposium. Taiwan, Formose. August 13-18*. 316-320 p.
- Chung, H. D. and Y. J. Choi. 2002. Effects of temperature, relative humidity and light on the absorption and translocation of  $^{45}\text{Ca}$  in the grafted tomato seedlings. *Plant Nutrition*. 92: 140-141.
- Civera, A. 1990. El tomate de industria, técnicas y variedades en la mecanización para su recolección. *Agrícola Vergel*. 6 (4): 955-963.
- Claussen, W. 2002. Growth, water-use efficiency and proline concentration of hydroponically grown plants as affected by nitrogen source and nutrient concentration. *Plant and Soil*. 27 (2): 199-209.
- Colelli, G., M. T. Sánchez and F. J. Torralba. 2003. Effects of treatment with 1-methylcyclopropene (1-MCP) on tomato. *Alimentaria*. 342: 67-70.
- Condon, A. G., R. A. Richards, G. J. Rebetzke, G. D. Farquhar. 2002. Improving intrinsic water-use efficiency and crop yield. *Crop Sci*. 42: 122-131.
- Conroy, J. P., S. Seneweera, A. S. Basra, G. Rogers and B. Nissen-Wooller. 1994. Influence of rising atmospheric  $\text{CO}_2$  concentrations and temperature on growth, yield and grain quality of cereal crops. *Aust. J. Plant Physiol*. 21: 741-758.
- Cornish, P. S. 1992. Use of high electrical conductivity of nutrient solution to improve the quality of salad tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in hydroponic culture. *Australian J. Experimental Agriculture*. 32: 513-520.

- Costa, L. C. G. y M. A. P. Campos. 1985. Índices físicos e físicoquímicos em tomates. *Pesq. agropec. bras.* Brasília. 20 (9): 1101-1114.
- De Groot, C. C., L. F. M. Marcelis, R. Van Den Boogaard, W. M. Kaiser and H. Lambers. 2003. Interaction of nitrogen and phosphorous nutrition in determining growth. *Plant and Soil.* 248: 257-268.
- De Pascale, S. A., A. Maggio, G. Angelino and G. Graziani. 2003. Effect of salt stress on water relations and antioxidant activity in tomato. *Acta Hort.* 613: 39-46.
- De Prado, R. J. L. 2002. Tipos y especificaciones de calidad en el cultivo de tomate. *Vida Rural.* No. 148. Ed. Eumedica S. A. Madrid.
- Diez, J. 1995. Tipos varietales. In: Nuez, F. *El cultivo del tomate.* Madrid, Mundi-Prensa. 93-129 p.
- Dinar, H. and M. A. Stevens 1982. The effect of temperature and carbon metabolism on sucrose uptake by detached tomato fruits. *Ann. Bot.* 49: 477-483.
- Dinar, M. and J. Rudich. 1985. Effect of heat stress on assimilate partition in tomato. *Ann. Bot.* 56: 239-249.
- Dwyer, S. A., O. Ghannoum, A. Nicotra and S. von Caemmerer. 2007. High temperature acclimation of C4 photosynthesis is linked to changes in photosynthetic biochemistry. *Plant Cell Environ.* 30 (1): 53-66.
- Ehleringer, J. R., A. E. Hall and G. D. Farquhar. 1993. Stable isotopes and plant carbon/water relations. Academic Press. San Diego. 555 p.
- Elkind, Y., A. Gurnick and N. Kedar. 1991. Genetics of semideterminate growth habit in tomato. *Hort. Sci.* 26(8):1074-1075. 1991.
- Erhardt, J. G., C. Meisner, J. C. Bode and C. Bode. 2003. Lycopene,  $\beta$ -carotene, and colorectal adenomas. *Am. J. Clin. Nutr.* 78: 1219-1224.
- Escaff, G. M., G. Saavedra, P. Vizoso, C. Rivera y R. Pertuze. 2007. Variación del contenido de licopeno y rendimiento industrial en genotipos de tomate. LV Congreso de Agrónomo de Chile. Valdivia, Chile.
- Escrache, A. J., M. Bernal, J. G. Marín, F. Medina y F. Artés. 1991. Cambios químicos asociados con la conservación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv Bornia F1 en la postrecolección. *Agrochimica.* 35: 490-501.
- Estrada, R. N. 1999. La biodiversidad en el mejoramiento genético de papa. Centro de Información para el Desarrollo del Centro Internacional de la Papa. La Paz, Bolivia. p. 91-95.

- Etminan, M., B. Takkouche and F. Caamaño-Isorna. 2004. The Role of Tomato Products and Lycopene in the Prevention of Prostate Cancer: A Meta-Analysis of Observational Studies. *Cancer Epidemiol. Biomarkers and Prev.* 13 (3): 340-345.
- Falconer, D. S. y T. F. C. Mackay. 2001. *Introducción a la Genética Cuantitativa*. Traducción de la 4ª edición inglesa. Acribia, Zaragoza.
- FAO. 2005. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. <http://www.fao.org>.
- Fernández, B. J. M. 1992. *Apuntes de introducción a la Fisiología Vegetal*. Curso de maestría. UAAAN. Sin editar.
- Frank, A. B. 2003. Evapotranspiration in northern semiarid grassland. *Agron. J.* 95: 1504-1509.
- Garza, V. M. C. 1980. Selección y evaluación de la progenie de la cruce de 3 líneas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) resistentes a altas temperaturas, con la variedad Pole-Boy 83. Tesis de Licenciatura. ITESM. Monterrey, Nuevo León, México.
- Giordano, L. B., J. B. C. Silva and V. Barbosa. 2000. Tomate para processamento industrial. In: Silva, J. B. C.; L. B., Giordano. Brasília. Embrapa. pp. 128-135.
- Giorgi, R., G. A. Meehl, A. Kattenberg, H. Grassl, J. F. B. Mitchell, R. J. Stouffer, T. Tokioka, A. J. Weaver and T. M. L. Wigley. 1998. Simulation of regional climate change with global coupled climate models and regional modeling techniques. In: Watson R. T., M. Zinyowera, R. Moss and D. Dokken. 1998 (Eds.) *The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability*. Cambridge University Press, New York. 427-437 p.
- Giovannoni, J. J. 2004. Genetic regulation of fruit development and ripening. *Plant Cell.* 16: 170-180.
- Giovannucci, E., E. B. Rimm, Y. Liu, M. J. Stampfer and W. C. Willett. 2002. A Prospective Study of Tomato Products, Lycopene, and Prostate Cancer Risk. *J. National Cancer Institute.* 94 (5): 391-398.
- Godshalk, B. E. and H. D. Timothy. 1988. Factor and principal component analysis as alternative to index selection. *Theor. Appl. Genet.* 76: 359-360.
- Gómez, R., J. Costa, M. Amo, A. Alvarruiz, M. Picazo and J. Pardo. 2001. Physicochemical and colorimetric evaluation of local varieties of tomato grown in SE Spain. *J. Sci. Food Agriculture* 81: 1101-1105.

- Gould, W. A. 1992. Tomato production, processing and quality evaluation. AVI Publishing Company. Conneticut. 445 p.
- Gross, K. C., C. Y. Wang and M. Saltveit. 2003. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist as a nursery stocks. Agricultural Handbook 66. USDA.
- Guan, P. H. and H. W. Janes. 1991. Light regulation of sink metabolism in tomato fruit. *Plant Physiol.* 96: 916-921.
- Guerra, H. M. 1997. Evaluación de genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) considerando criterios fisiológicos y de rendimiento bajo condiciones de altas temperaturas, en invernadero. Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Hanson, B. and D. May. 2006. Evapotranspiration, yield, crop coefficients and water use efficiency of drip and furrow irrigated processing tomatoes. Abs. WIT Transactions on Ecology and the Environment. Vol. 96.
- Hewit, J. D., M. Dinac and M. A. Stevens. 1982. Sink strength of fruits of two tomato genotypes differing in total fruit solids content. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 107: 896-900.
- Ho, L. C. 1999. The physiological basis for improving tomato fruit quality. *Acta Hort.* 487: 33-40.
- Hobson, G. y D. Grierson. 1993. Tomato. In: Seymour, G., J. Taylor and A. Tucker. Eds. *Biochemistry of Fruit Ripening*. London: Chapman & Hall. pp. 405-442.
- Jauregui, J. L., M. Lumbreras, M. J. Chavarri and J. I. Macua. 1999. Dry weight and brix degree correlations in different varieties of tomatoes intended for industrial processing. *Acta Hort.* 487: 425-330.
- Kader, A. A. 2000. Modified atmospheres during transport and storage. In: *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Third edition. Edit. A. A. Kader. University of California. 11: 85-92.
- Kader, A. A. and S. Ben-Yehoshua. 2000. Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 20: 1-13.
- Keeling, C. D. and T. P. Whorf. 2000. Atmospheric CO<sub>2</sub> records from sites in the SIO air sampling network. In *Trends: A compendium of data on global change*. Carbon dioxide information analysis center, Oak Ridge Nat. Lab., Oak Ridge, TN.
- Kramer, P. J. and J. S. Boyer. 1995. *Water relations and plants*. New York, NY. Academic Press.

- Kratsch, H. A. and R. R. Wise. 2000. The ultrastructure of chilling stress. *Plant Cell & Environment*. 23: 337-350.
- Lancaster, J., C. Lister, P. Raey and C. Triggs. 1997. Influence of pigment composition on skin color in a wide range of fruit and vegetables. *J. Amer. Hort. Sci.* 122 (4): 594-598.
- Lawlor, D. W. 2002. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism, and the role of ATP. *Annals of Botany*. 89: 871-885.
- Lester, G. E. and K. M. Crosby. 2002. Ascorbic acid, folic acid and potassium content in postharvest green-flesh honeydew muskmelon: influence of cultivar, fruit size, soil type, and year. *Am. Soc. Hort. Sci.* 127(5). Abs.
- Li, Y., V. Wang, C. Mao and C. Duan. 1973. Effects of oxygen and carbon dioxide on after ripening of tomatoes. *Acta Botanica*. 15: 93-102.
- Li-Cor, Inc. 1990. The LI-6200 Primer. An introduction to operating the LI-6200 portable photosynthesis system. Lincoln, Nebraska, U. S. A.
- Long, S. P. y J. E. Hallgren. 1987. Medición de la asimilación de CO<sub>2</sub> por las plantas en el campo y el Laboratorio. En: *Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad* (eds. Coombs, J., D. Hall, S. Long y J. Scurlock). Editorial Futura. México. 2a edición.
- López, J., R. Ruiz, R. Ballesteros, R. Ciruelos and R. Ortiz. 2001. Color and lycopene content in several commercial tomato varieties at different harvesting dates. *Acta Horticulturae*. 542: 243-247.
- López, C. A. L., P. Gómez and F. Artés. 2003. Use of a\* and b\* colour parameters to assess the effect of some growth regulators on carotenoid biosynthesis during postharvest tomato ripening. *Acta Horticulturae*. 599: 305-308.
- Lovenstein, H., H. A. Lantinga and H. van Keulen. 1993. Principles of production ecology. Wageningen Agricultural University. Wageningen, The Netherlands.
- Magari, R. and M. Kang. 1993. Genotype selection via a new yield stability statistic in maize yield trials. *Euphytica*. 70: 105-111.
- Maroto, J. V., A. Bardisi, S. Lopez, B. Pascual and J. Alegards. 1995. Influence of relative humidity in the appearance of cracking in tomato fruit. *Acta Hort*. 412: 306-312.
- Marouelli, W. A., W. L. C. Silva and C. L. Moretti. 2004. Production, quality and water use efficiency of processing tomato as affected by the final irrigation timing. *Brasília. Horticultura Brasileira*. 22 (2): 226-231.

- Martinez, B. E. 2003. Análisis de la acumulación de azúcares en pericarpios de dos genotipos silvestres de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Departamento de Bioquímica, Facultad de Química. UNAM. México.
- Martinez, V. I., M. J. Periago, G. Provan and A. Chesson. 2002. Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). J. Sci. of Food Agriculture. 82 (3): 323-330.
- Marschner, H. 2003. Mineral Nutrition of higher plantas. 6<sup>th</sup> Ed. Academic Press. Boston, USA. 889 p.
- Matthew, J. P. and C. H. Foyer. 2001. Sink regulation of photosynthesis. J. Experimental Botany. 52 (360): 1383-1400.
- May, D. M. and L. Gonzales. 1999. Major California processing tomato cultivars respond differently in yield and fruit quality to various levels of moisture stress. Acta Horticulturae. 487: 525-529.
- McAvoy, R. J. and H. W. Janes. 1989. Tomato plant photosynthetic activity as related to canopy age and tomato development. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114 (3): 478-482.
- Mir, N., M. Canoles, R. Beaudry, E. Baldwin and P. M. Chhatar. 2004. Inhibiting tomato ripening with 1-methylcyclopropene. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129 (1): 112-120.
- Mulholland, B. J., R. N. Edmondson, M. Fussell, J. Basham and L. C. Ho. 2003. Effects of high temperature on tomato summer fruit quality. J. Horticultural Science and Biotechnology Trustees. 78 (3): 365-374.
- Nilsen, E. T. and D. M. Orcutt. 1996. The physiology of plants under stress: Abiotic factors. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Nishida, I. and N. Murata. 1996. Chilling sensitivity in plants and cyanobacteria: The crucial contribution of membrane lipids. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 47: 541-568.
- Nobel, P. S. 1999. Physicochemical and environmental plant physiology. 2nd Ed. San Diego, CA: Academic Press.
- Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa.
- Parry, M. A. J., J. Flexas and H. Medrano. 2005. Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. Ann. Appl. Biol. 147: 211-226.

- Passioura, J. B. 1994. The physical chemistry of the primary cell wall: implications for the control of expansion rate. *J. Experimental Botany*. 45: 1675-1682.
- Pearce, B. D., R. I. Grange and K. Hardwick. 1993. The growth of young tomato fruit. Effect of temperature and irradiance on fruit grown under controlled environments. *J. Hort. Sci.* 68 (1): 1-11.
- Peet, M. M. 1992. Fruit cracking in tomato. *Hort. Technology*. 2 (2): 216-223.
- Peet, M. M., D. H. Willits and R. Gardner. 1997. Response of ovule development and post-pollen production processes in male-sterile tomatoes to chronic, sub-acute high temperature stress. *J. Experimental Botany*. 48 (306): 101-111.
- Peiris, K., G. Dull, R. Leffler and S. Kays. 1998. Near infrared spectrometric technique for nondestructive determination of soluble solids content in processing tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 1089-1093.
- Peirce, L. C. 1992. "Super hybrid Newida and Gold Dust" tomatoes. *Hort. Sci.* 27 (8): 935-937.
- Peppelenbos, H. W. 1997. Gas exchange models and prediction of disorders in fruits. Workshop on Food Quality Modelling. Katholieke Universiteit Leuven. Belgium.
- Perera, N. H., E. Hartmann and A. S. Holoday. 1995. Regulation of cotton photosynthesis during moderate chilling. *Plant Sci.* 111: 33-143.
- Polley, H. W. 2002. Implications of atmospheric and climatic change for crop yield and water use efficiency. *Crop. Sci.* 42: 131:140.
- Powell, A. L. T., M. S. Kalamaki, P. A. Kurien, S. Gurrieri and A. B. Bennett. 2003. Simultaneous transgenic suppression of LePG and LeExp1 influences fruit texture and juice viscosity in a fresh market tomato variety. *J. Agric. Food Chem.* 51 (25): 7450-7455.
- Premuzic, Z. A., M. Clozza, F. Vilella, E. Mirabelli and C. Accorinti. 2001. Influence of fertilization on the production and vitamin C and sugar content of cherry tomatoes. *Acta Hort.* 559: 601-606.
- Ramírez, M. R. 1998. Evaluación fisiotécnica de genotipos sobresalientes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de suelo acolchado y sin acolchado, en una localidad de altas temperaturas. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- 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, México.

- Richards, R. A., A. G. Condon and G. J. Rebetzke. 2001. Traits to improve yield in dry environments. In: Application of physiology in wheat breeding. Reynolds, M. P., J. I. Ortiz and A. McNab (eds.) Mexico, D.F. CIMMYT. 7: 88-100.
- Rodríguez, E., A. Carballo, G. A. Baca, A. G. Martínez and M. R. Rosas. 2004. Genetic parameters of mean fruit weight and their components of tomato. *Acta Hort.* 637: 145-148.
- Rodríguez, L. 2000. Densidad de población vegetal y producción de materia seca. *Revista COMALFI.* 27 (1-2): 31-38.
- Rodríguez, P., M. A. Morales, A. Torrecillas, J. M. Dell'Amico, J. J. Alarcón and D. Camejo. 2005. High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. *J. Plant Physiology.* 162 (3): 281-289.
- Rodríguez, R., J. H. Tabares y J. A. Medina. 1984. Cultivo moderno del tomate. Mundi-Prensa. Madrid. 206 p.
- Sacks, E. and F. David. 2001. Genetic and environmental variation for tomato flesh color in a population of modern breeding lines. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126 (2): 221-226.
- Sage, R. F. 1994. Acclimation of photosynthesis to increasing atmospheric CO<sub>2</sub>: the gas exchange perspective. *Photosynth. Res.* 39: 351-368.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S. A. México. 759 p.
- Saltveit, M. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology.* 15: 279-292.
- Salvucci, M. E. and S. J. Crafts. 2004. Relationship between the heat tolerance of photosynthesis and the thermal stability of *Rubisco activase* in plants from contrasting thermal environments. *Plant Physiol.* 134 (4): 1460-1470.
- Sánchez, A. D. 2003. Selección de progenies de tomate tolerantes a la enfermedad del tizón temprano (*Alternaria solani*) y de alta eficiencia fisiotécnica. Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Sato, S., M. Kamiyama, T. Iwata, N. Makita, H. Furukawa and H. Ikeda. 2006. Moderate increase of mean daily temperature adversely affects fruit set of *Lycopersicon esculentum* Mill. by disrupting specific physiological processes in male reproductive development. *Annals of Botany.* 97 (5): 731-738.

- Shewfelt, R. L., C. N. Thai and J. W. Davis. 1988. Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures. *J. Food Sci.* 53 (5): 1433-1437.
- Shibuya, T., R. Terakura, Y. Kitaya and M. Kiyota. 2003. Effect of low relative humidity during tomato seedlings growth on quality of their cuttings under low-temperature and dim-light storage. *Environment Control in Biology.* 41 (4): 381-385.
- SIAP. 2006. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. <http://www.siap.gob.mx>.
- Sicher, R. C. and O. F. Krember. 1985. Possible control of maize leaf sucrose-phosphate synthase activity by light modulation. *Plant Physiol.* 79: 695-698.
- Silva, F., K. Chau, J. Brecht and S. Sargent, 1999. Modified atmosphere packaging for mixed loads of horticultural commodities exposed to two postharvest temperatures. *Postharvest Biology and Technology.* 17: 1-9.
- Spiertz, J. M. J., A., Havercot and P. M. Verelken. 1996. Environmentally safe and consumer-friendly potato production in the Netherlands. Development of ecologically sound production systems. *Potato Res.* 39: 371-378.
- Stanhill, G. 1986. Water use efficiency. *Advances in Agronomy.* 39: 53-85.
- Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics: A Biometrical Approach. 2nd Ed. McGraw-Hill Book Co. New York. 663 p.
- Sun, X. S., H. W. Zhi, Q. L. Zhi, H. W. Wen and Y. Z. Zhi. 2003. Effects of 1-MCP on post-harvest physiology of tomato. *Scientia Agricultura Sinica.* 36 (11): 1337-1342.
- Thompson, A. 1998. Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. London: CAB International. 278 p.
- Trewavas, A. 2003. Aspects of plant intelligence. *Annals of Botany.* 92: 1-20.
- Tucker, G., N. Robertson and D. Grierson. 1980. Changes in polygalacturonase isoenzymes during the ripening of normal and mutant tomato fruit. *European Journal of Biochemistry.* 112: 119-124.
- Ulrich, R. 1995. Le froid et le bien-être de l'homme. En: La chaîne du froid. Edit. Hermann. Paris. 1: 1-29.

- Vassey, L. T. 1989. Light/dark profiles of sucrose phosphate synthase, sucrose synthase, and acid invertase in leaves of sugar-beets. *Plant Physiol.* 89: 347-351.
- Vassey, L. T., W. P. Quick, T. D. Sharkey and M. Stitt. 1991. Water stress, carbon dioxide, and light effects on sucrose-phosphate synthase activity in *Phaseolus vulgaris* L. *Plant Physiol.* 81: 37-44.
- Vencovsky, R. y P. Barriga. 1992. Genética Biométrica no Fitomelhoramento de Plantas. Sociedade Brasileira de Genética. Riberáo Preto, Sao Paulo, Brasil. 486p.
- Vernieri, P., A. Lenzi, M. Figaro, F. Tognoni and A. Pardossi. 2001. How the roots contribute to the ability of *Phaseolus vulgaris* L. to cope with chilling-induced water stress. *J. Experimental Botany.* 52: 2199-2206.
- Vierling, E. 1991. The roles of heat shock proteins in plants. *Ann. Rev. Plant Physiology Plant Mol. Biol.* 42: 579-620.
- Walker, D. A. 1992. Excited leaves. *New Phytologist.* 121: 325-345.
- Walker, A. J. and L. C. Ho. 1977. Carbon translocation in the tomato: effects of fruit temperature on carbon metabolism and the rate of translocation. *Ann. Bot.* 41: 825-832.
- Warren, R. C. 2004. The photosynthetic limitation posed by internal conductance to CO<sub>2</sub> movement is increased by nutrient supply. *J. Experimental Botany.* 55 (406): 2313-2321.
- Watson, L. and M. J. Dallwitz. 2000. The families of flowering plants: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. <http://delta-intkey.com/angio/www/solanaceae.htm>
- Wills, R., T. Lee, D. Graham, W. Mcglasson and E. Hall. 1981. Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. Kensington, Australia. New South Wales University Press. 161 p.
- Yang, C. C. y M. S. Chinnan. 1987. Modelling of color development of tomatoes in modified atmosphere storage. *Transactions of the ASAE.* 30 (2): 548-553.
- Yang, R. and R. Baker. 1991. Genotype-environment interactions in two wheat crosses. *Crop Sci.* 31: 83-87.
- Young, T., J. Juvik and J. Sullivan. 1993. Accumulation of the components of total solids in ripening fruits of tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118 (2): 286-292.

## VII. APÉNDICES

### A1. Comparaciones de medias para las variables fenológicas en 12 genotipos de tomate saladette, promedio de los tres ambientes de evaluación.

GENEALOGIA	DPC	DUC	DEC
Z4XR1	68.83 a-c	121.33	52.50 ab
Z4XL1	64.50 c	121.33	56.83 a
Z4XU2	75.50 ab	119.67	44.17 b
Z4XD1	72.33 a-c	121.33	49.00 ab
TRXF3	68.83 a-c	118.00	49.17 ab
Z4XS21	68.83 a-c	118.00	49.17 ab
DRXR1	73.00 a-c	121.33	48.33 ab
DRXZ4	69.33 a-c	119.67	50.33 ab
DRXQ3	77.33 a	117.50	44.00 b
Z4	66.33 bc	119.67	53.33ab
DR	74.00 a-c	119.67	45.67 ab
TRXL1	70.67 a-c	121.33	50.67 ab

DPC (Días a Primer Corte), DUC (Días a Último Corte), DEC (Días en Corte). Valores con mismas literales dentro de columna son estadísticamente iguales ( $P \alpha \leq 0.05$ ).

### A2. Comparaciones de medias para las variables fenológicas en 12 genotipos de tomate saladette por ambiente de evaluación.

AMBIENTE	DPC	DUC	DEC
Buenavista	67.17 b	111.54 b	44.58 b
Providencia	65.04 b	124.92 a	59.88 a
Rancho Nvo.	80.17 a	124.00 a	43.83 b

DPC (Días a Primer Corte), DUC (Días a Último Corte), DEC (Días en Corte). Valores con mismas literales dentro de columna son estadísticamente iguales ( $P \alpha \leq 0.05$ ).

**A3. Comparaciones de medias para las variables agroclimáticas en 12 genotipos de tomate saladette, promedio de los tres ambientes de evaluación.**

GENEALOGIA	DFFF	TAIR	CO <sub>2</sub>	HR
Z4XR1	897 d	33.21 e	358.74 ab	32.36
Z4XL1	1286.9 a-d	33.55 de	336.28 b	33.47
Z4XU2	1282.7 a-d	34.20 b-e	371.91 ab	35.20
Z4XD1	1401.5 ab	34.38 a-e	415.53 a	27.91
TRXF3	1097.9 a-d	34.42 a-d	363.07 ab	31.54
Z4XS21	1323 a-d	34.93 a-c	378.74 ab	30.16
DRXR1	1249.6 a-d	34.70 a-d	385.02 ab	29.23
DRXZ4	982.4 b-d	34.02 c-e	365.85 ab	31.36
DRXQ3	909.2 cd	34.19 b-e	377.96 ab	28.56
Z4	1348.1 a-c	35.43 a	337.11 b	31.72
DR	1477.6 a	35.24 ab	399.89 ab	31.56
TRXL1	1174.4 a-d	34.99 a-c	399.75 ab	34.39

DFFF (Densidad de Flujo de Fotones Fotosintéticos), TAIR (Temperatura del Aire), CO<sub>2</sub> (Concentración de CO<sub>2</sub> ambiental), HR (Humedad Relativa). Valores con mismas literales dentro de columna son estadísticamente iguales ( $P \alpha \leq 0.05$ ).

**A4. Comparaciones de medias para las variables agroclimáticas en 12 genotipos de tomate saladette por ambiente de evaluación.**

AMBIENTE	DFFF	TAIR	CO <sub>2</sub>	HR
Buenavista	1693.7 a	37.38 a	376.31 ab	17.58 b
Providencia	485.7 c	31.55 c	401.52 a	38.53 a
Rancho Nvo.	1428.1 b	34.38 b	344.64 b	38.25 a

DFFF (Densidad de Flujo de Fotones Fotosintéticos), TAIR (Temperatura del Aire), CO<sub>2</sub> (Concentración de CO<sub>2</sub> ambiental), HR (Humedad Relativa). Valores con mismas literales dentro de columna son estadísticamente iguales ( $P \alpha \leq 0.05$ ).

**A5. Comparaciones de medias para las variables fisiológicas en 12 genotipos de tomate saladette, promedio de los tres ambientes de evaluación.**

GENEALOGIA	THOJA	RE	CE	CINT	FOTO	TRANS	UEAF
Z4XR1	31.43 e	1.17 b	1.29	289.01	10.13 ab	11.43	2.14
Z4XL1	32.23 de	1.31 b	1.42	264.81	9.78 ab	11.48	2.02
Z4XU2	32.83 b-e	1.35 b	1.25	314.56	5.94 ab	10.61	1.01
Z4XD1	33.37 a-d	1.75 ab	0.70	327.83	7.57 ab	8.37	2.35
TRXF3	32.63 c-e	1.32 b	0.91	275.99	12.21 ab	10.37	3.02
Z4XS21	34.39 a-c	1.96 ab	0.91	268.12	12.28 ab	10.30	3.52
DRXR1	33.62 a-d	1.48 b	1.07	298.09	8.61 ab	11.30	1.96
DRXZ4	32.57 de	1.29 b	1.07	287.84	11.26 ab	10.89	2.33
DRXQ3	32.99 a-e	1.69 ab	0.75	321.63	4.99 b	9.43	0.95
Z4	34.72 a	2.39 a	1.02	264.44	7.11 ab	9.60	1.70
DR	34.59 ab	1.43 b	0.96	310.76	12.87 ab	10.81	2.75
TRXL1	33.34 a-d	1.49 b	1.42	314.01	15.94 a	11.62	3.40

THOJA (Temperatura de la Hoja), COND (Conductancia), RE (Resistencia Estomática), CE (Conductancia Estomática), CINT (Concentración de CO<sub>2</sub> intracelular), FOTO (Fotosíntesis), TRANS (Transpiración), UEAF (Uso Eficiente de Agua Fisiológico). Valores con mismas literales dentro de columna son estadísticamente iguales ( $P \alpha \leq 0.05$ ).

**A6. Comparaciones de medias para las variables fisiológicas en 12 genotipos de tomate saladette por ambiente de evaluación.**

AMBIENTE	THOJ	RE	CE	CINT	FOTO	TRANS	UEAF
Buenavista	37.56 a	2.56 a	0.50 b	265.83 b	7.65	9.49 b	1.85
Providencia	29.47 c	1.21 b	1.34 a	339.36 a	9.98	9.00 b	2.67
Rancho Nvo.	32.64 b	0.89 b	1.35 a	279.09 b	12.04	13.06 a	2.27

THOJA (Temperatura de la Hoja), COND (Conductancia), RE (Resistencia Estomática), CE (Conductancia Estomática), CINT (Concentración de CO<sub>2</sub> intracelular), FOTO (Fotosíntesis), TRANS (Transpiración), UEAF (Uso Eficiente de Agua Fisiológico). Valores con mismas literales dentro de columna son estadísticamente iguales ( $P \alpha \leq 0.05$ ).

**A7. Comparaciones de medias para las variables de rendimiento en 12 genotipos de tomate saladette, promedio de los tres ambientes de evaluación.**

GENEALOGIA	NC	NF	RENDPTA	PPF	REND
Z4XR1	7 ab	11.22 c	2.01 ab	137.17 a	46.92 ab
Z4XL1	7.5 a	11.41 c	1.72 ab	119.54 a	40.47 ab
Z4XU2	6.3 b	11.06 c	1.79 ab	129.75 a	42.33 ab
Z4XD1	6.8 ab	11.48 c	1.82 ab	121.43 a	42.79 ab
TRXF3	7.3 ab	18.39 ab	2.17 a	93.41 b	51.54 a
Z4XS21	7 ab	15.91 bc	1.36 b	68.05 cd	31.25 b
DRXR1	7 ab	14.22 bc	1.62 ab	92.95 b	37.70 ab
DRXZ4	7.1 ab	18.50 ab	1.64 ab	74.92 b-d	37.88 ab
DRXQ3	7 ab	15.48 bc	1.58 ab	81.07 bc	37.12 ab
Z4	7.3 ab	14.07 bc	1.64 ab	94.39 b	37.67 ab
DR	6.8 ab	24.02 a	1.80 ab	60.22 d	41.40 ab
TRXL1	7.2 ab	13.80 bc	1.39 ab	77.67 b-d	32.70 b

NC (Número de Cortes), NF (Número de Frutos), RENDPTA (Rendimiento por planta), PPF (Peso Promedio de Frutos), REND (Rendimiento). Valores con mismas literales dentro de columna son estadísticamente iguales ( $P \alpha \leq 0.05$ ).

**A8. Comparaciones de medias para las variables de rendimiento en 12 genotipos de tomate saladette por ambiente de evaluación.**

AMBIENTE	NC	NF	RENDPTA	PPF	REND
Buenavista	5.08 c	6.15 c	1.33 b	71.76 c	33.99 b
Providencia	9.50 a	25.17 a	2.38 a	98.92 b	59.50 a
Rancho Nvo.	6.53 b	13.58 b	1.43 b	116.96 a	26.46 b

NC (Número de Cortes), NF (Número de Frutos), RENDPTA (Rendimiento por planta), PPF (Peso Promedio de Frutos), REND (Rendimiento). Valores con mismas literales dentro de columna son estadísticamente iguales ( $P \alpha \leq 0.05$ ).

**A9. Comparaciones de medias para las variables de calidad en 12 genotipos de tomate saladette, promedio de los tres ambientes de evaluación.**

GENEALOGIA	DP	DE	COLOR	pH	BRIX	LICOP	VITC
Z4XR1	6.24 a	6.17 a	2.44 bc	4.34 f	4.46 d	3.64 bc	15.78 c-e
Z4XL1	5.86 a-c	6.00 a	2.33 c	4.46 cd	4.46 d	3.77 bc	17.15 a-c
Z4XU2	5.78 a-c	5.53 a-d	2.44 bc	4.46 cd	4.52 d	6.40 ab	17.45 ab
Z4XD1	5.85 a-c	5.87 ab	2.78 ab	4.56 a	5.20 a	4.93 a-c	17.49 ab
TRXF3	5.71 a-c	5.68 a-c	2.67 a-c	4.41 de	4.49 d	6.77 a	16.34 b-d
Z4XS21	5.63 a-d	4.55 e	2.78 ab	4.53 ab	4.59 cd	4.71 a-c	17.30 a-c
DRXR1	4.95 d	5.21 b-e	2.89 a	4.49 bc	5.18 a	3.44 c	17.99 a
DRXZ4	5.36 cd	5.05 c-e	2.56 a-c	4.45 cd	4.67 cd	5.67 a-c	13.18 f
DRXQ3	5.38 cd	5.09 c-e	2.44 bc	4.46 cd	4.70 cd	3.26 c	16.27 b-d
Z4	6.22 ab	5.45 a-d	2.44 bc	4.57 a	5.09 ab	5.07 a-c	15.12 de
DR	5.68 a-c	4.87 de	2.33 c	4.54 ab	5.00 ab	4.79 a-c	14.97 de
TRXL1	5.54 b-d	5.20 b-e	2.44 bc	4.38 ef	4.88 bc	6.66 a	14.62 ef

DP (Diámetro Polar), DE (Diámetro Ecuatorial), pH (Potencial de Iones Hidrógeno), GBRIX (Grados Brix), LICOP (Licopeno), VITC (Vitamina C). Valores con mismas literales dentro de columna son estadísticamente iguales ( $P \alpha \leq 0.05$ ).

**A10. Comparaciones de medias para las variables de calidad en 12 genotipos de tomate saladette por ambiente de evaluación.**

AMBIENTE	DP	DE	COLOR	pH	BRIX	LICOP	VITC
Buenavista	5.46 b	4.83 b	2.00	4.41 c	4.51 c	3.76 b	17.20 a
Providencia	5.84 a	5.83 a	2.61	4.46 b	5.04 a	2.80 b	15.24 b
Rancho Nvo.	5.76 ab	5.51 a	3.00	4.54 a	4.79 b	8.22 a	15.98 b

DP (Diámetro Polar), DE (Diámetro Ecuatorial), pH (Potencial de Iones Hidrógeno), GBRIX (Grados Brix), LICOP (Licopeno), VITC (Vitamina C). Valores con mismas literales dentro de columna son estadísticamente iguales ( $P \alpha \leq 0.05$ ).

**A11. Correlaciones entre algunas variables fenológicas, agroclimáticas, fisiológicas y de rendimiento cuantitativo y cualitativo en 12 genotipos de tomate saladette en tres ambientes de evaluación.**

	RPT	PPF	RND	LI	TAIR	TH	CO <sub>2</sub>	HR	FOT	CI	RE	CE	TRNS	UEA	CLR	pH	BRX	LICP	VITC
RPT	1.0	0.5	1.0*	-0.2	-0.4	-0.5	-0.2	0.1	-0.1	0.0	-0.5	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.3	0.1	0.1
PPF		1.0	0.5	-0.1	-0.7*	-0.6*	-0.3	0.2	-0.5	0.0	-0.3	0.3	0.0	-0.5	-0.1	-0.3	-0.3	-0.1	0.4
RND			1.0	-0.2	-0.4	-0.5	-0.2	0.1	-0.1	0.0	-0.5	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1	-0.3	-0.3	0.1	0.1
LI				1.0	0.6*	0.7*	0.3	0.0	0.1	0.0	0.4	-0.1	-0.2	0.2	0.1	0.8*	0.5	0.1	0.3
TAIR					1.0	0.9*	0.3	-0.1	0.2	0.0	0.7*	-0.3	-0.2	0.3	0.2	0.6*	0.6*	0.3	-0.1
TH						1.0	0.3	-0.3	0.1	0.0	0.8*	-0.4	-0.3	0.2	0.2	0.8*	0.7*	0.1	0.0
CO <sub>2</sub>							1.0	-0.4	0.2	0.8*	-0.1	-0.4	-0.3	0.3	0.4	0.2	0.5	0.1	0.1
HR								1.0	0.3	-0.2	-0.4	0.8*	0.6*	0.0	-0.6*	-0.5	-0.5	0.5	-0.2
FOT									1.0	-0.2	-0.3	0.3	0.5	0.9*	0.0	-0.3	-0.1	0.4	-0.4
CI										1.0	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.1
RE											1.0	-0.4	-0.6*	0.0	0.2	0.7*	0.5	-0.1	0.1
CE												1.0	0.8*	0.0	-0.5	-0.6*	-0.4	0.1	-0.1
TRNS													1.0	0.2	-0.3	-0.6*	-0.4	0.0	-0.2
UEA														1.0	0.3	-0.1	0.0	0.4	-0.2
CLR															1.0	0.3	0.3	0.0	0.5
pH																1.0	0.6*	-0.1	0.2
BRX																	1.0	-0.1	0.0
LICP																		1.0	-0.3
VITC																			1.0

RPT (Rendimiento por planta); PPF (Peso Promedio de Frutos); LI (Luz Incidente); TAIR (Temperatura del Aire); TH (Temperatura de la Hoja); CO<sub>2</sub> (Concentración de CO<sub>2</sub> Ambiental); HR (Humedad Relativa); FOT (Fotosíntesis); CI (Concentración de CO<sub>2</sub> Intracelular); RE (Resistencia Estomática); CE (Conductancia Estomática); TRNS (Transpiración); UEA (Uso Eficiente de Agua Fisiológico); CLR (Color); PH (Potencial de Iones Hidrógeno); BRX (Grados Brix); LICP (Concentración de Licopeno); VITC (Concentración de Vitamina C).