

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

**Caracterización morfológica y molecular de tomate de árbol, *Solanum betaceum* Cav. (Solanaceae)**

**TESIS DOCTORAL**

Ing. Agr. Pablo Geovanny Acosta Quezada

2011



DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA VEGETAL  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS

**Caracterización morfológica y molecular de tomate de  
árbol, *Solanum betaceum* Cav. (Solanaceae)**

**TESIS DOCTORAL**

Ing. Agr. Pablo Geovanny Acosta Quezada

**CODIRECTORES:** Prof. Dr. Juan Bautista Martínez Laborde  
Prof. Dr. Jaime Prohens Tomás

2011





UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID

Tribunal nombrado por el Magfco. y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día.....de.....de 2011.

Presidente: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Secretario: \_\_\_\_\_

Suplente: \_\_\_\_\_

Suplente: \_\_\_\_\_

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día.....de.....de 2011 en la E.T.S.I. Agrónomos.

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO



D. Juan Bautista Martínez Laborde, Profesor Titular del Departamento de Biología Vegetal de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid y D. Jaime Prohens Tomás, Catedrático del Departamento de Biotecnología de la Universidad Politécnica de Valencia, y Subdirector del Centro de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana de la Universidad Politécnica de Valencia,

Certifican:

Que la tesis doctoral titulada “**Caracterización morfológica y molecular de tomate de árbol, *Solanum betaceum* Cav. (Solanaceae)**”, realizada por el Ing. Agr. Pablo Geovanny Acosta Quezada para optar al Grado de Doctor en “Gestión y Manejo de Recursos Fitogenéticos”, ha sido realizada bajo nuestra dirección y reúne los requisitos suficientes para su lectura y defensa.

Y para que así conste, firmamos el presente certificado en Madrid, a 13 de junio de 2011.

Fdo. Juan Bautista Martínez Laborde

Fdo. Jaime Prohens Tomás



*Dedicatoria*

*A mi hijo Pablo Israel, quien es mi vida y la razón de mi superación.*

*A mi esposa Lizbeth, quien me ha apoyado incondicionalmente para cumplir mis metas.*

*A mis padres Adriano y Lucrecia, y a mis hermanos Adriana y Mauricio; quienes siempre me han apoyado e impulsado para superarme.*

*A mis sobrinos Brian Andrés (+) y Emilio Salvatore, quienes al igual que mi hijo me inspiran felicidad.*



## **AGRADECIMIENTOS**

A mis directores de tesis, Juan Martínez y Jaime Prohens, quienes han sido el pilar científico de este trabajo; investigar y publicar junto a ustedes ha sido un gran privilegio. Juan, muchas gracias por toda tu ayuda, por tu tiempo, paciencia y por tus enseñanzas; no solo que he aprendido temas científicos sino también a saber expresar literalmente mis conocimientos, ideas, reflexiones, etc. Jaime, la mayor parte de mi estancia doctoral en España han sido en Valencia, tu amabilidad y entrega incondicional a hecho que me sienta como en casa; gracias por abrirme las puertas del COMAV; tus enseñanzas han sido de mucha importancia para mi formación. Estoy seguro que seguiremos siendo un equipo, siempre estaré muy orgulloso de ser parte de ello sabiendo que cuento con amigos con una verdadera humildad socrática.

Al Dr. Cesar Pérez, director del programa doctoral, quien ha depositado su confianza en quienes somos parte de la Universidad Técnica Particular de Loja y nos ha apoyado continuamente.

A las autoridades de la Universidad Técnica particular de Loja (UTPL), por impulsar la formación doctoral de quienes somos parte de dicha institución y por emprender la investigación para el desarrollo ecuatoriano; en especial al Dr. Luis Miguel Romero, ex Rector-Canciller de la UTPL quien me incentivó para iniciar con este proceso y ha sido el pilar fundamental para el desarrollo investigativo en la UTPL.

Al personal del Centro de Conservación y Mejora de la Agrobiodiversidad Valenciana (COMAV) de la Universidad Politécnica de Valencia, en especial al Dr. Fernando Nuez por permitir la realización de la caracterización molecular en los laboratorios de dicho centro; a Santiago Vilanova y a Julio Muñoz, quienes conjuntamente con Jaime Prohens me guiaron de la mejor forma en el desarrollo de la caracterización molecular.

A mis compañeros del Centro de Investigaciones Agropecuarias de la UTPL, quienes me han apoyado incondicionalmente durante todo el tiempo que ha tomado el desarrollo de este trabajo, especialmente por su valiosa ayuda en la fase de campo.

A la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología de Ecuador (SENESCYT), por el apoyo económico brindado a mi persona mediante una beca doctoral.



## ÍNDICE

### ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. EL TOMATE DE ÁRBOL: GENERALIDADES E IMPORTANCIA.....	3
1.2. RELACIONES TAXONÓMICAS Y FILOGENÉTICAS DEL TOMATE DE ÁRBOL: LA FAMILIA SOLANACEAE Y EL GÉNERO SOLANUM.....	5
1.2.1. Familia Solanaceae.....	5
1.2.2. El género <i>Solanum</i> .....	8
1.3. EL CULTIVO DEL TOMATE DE ÁRBOL .....	14
1.3.1. Descripción morfológica.....	14
1.3.2. Biología reproductiva.....	16
1.3.3. Condiciones ambientales.....	17
1.3.4. Origen y domesticación.....	19
1.3.5. Distribución geográfica.....	20
1.3.6. Características nutricionales del fruto y su aprovechamiento alimenticio ...	21
1.3.7. Fitoquímica del tomate de árbol.....	22
1.3.8. Fitotecnia.....	26
1.3.9. Tipos varietales y cultivares .....	43
1.4. CARACTERIZACIÓN DE RECURSOS FITOGENÉTICOS Y SU APLICACIÓN A TOMATE DE ÁRBOL.....	46
1.4.1. Antecedentes, necesidades y objetivos.....	46
1.4.2. Uso de descriptores morfológicos y marcadores moleculares.....	49
1.4.3. Caracterización morfológica y molecular en solanáceas.....	54
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>61</b>
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>65</b>
3.1. MATERIAL VEGETAL.....	67
3.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA.....	73

3.2.1. Localización y establecimiento del ensayo .....	73
3.2.2. Evaluación de caracteres morfológicos.....	76
3.2.3. Análisis estadístico de los datos (caracterización morfológica).....	85
3.3. CARACTERIZACIÓN MOLECULAR.....	87
3.3.1. Extracción de ADN y amplificación de fragmentos de longitud polimórfica (AFLPs).....	87
3.3.2. Análisis de datos de AFLPs (caracterización molecular).....	92
3.4. COMPARACIÓN ENTRE CARACTERES MORFOLÓGICOS Y MOLECULARES .....	93
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>95</b>
4.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA.....	97
4.1.1. Variación en los caracteres morfológicos (ANOVA).....	97
4.1.2. Correlación entre los caracteres morfológicos .....	126
4.1.3. Análisis de agrupamientos.....	130
4.1.4. Análisis de componentes principales (ACP).....	135
4.1.5. Heredabilidad de los caracteres.....	162
4.2. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN MOLECULAR.....	164
4.2.1. Descripción de los marcadores (AFLPs) obtenidos .....	164
4.2.2. Diversidad genética.....	167
4.2.3. Análisis de agrupamientos.....	171
4.2.4. Análisis de coordenadas principales (ACoP).....	175
4.3. COMPARACIÓN ENTRE EL ANÁLISIS DE LOS CARACTERES MORFOLÓGICOS Y EL DE LOS CARACTERES MOLECULARES (AFLPs).....	186
<b>V. DISCUSIÓN.....</b>	<b>187</b>
5.1. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD EN TOMATE DE ÁRBOL.....	189
5.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA.....	191
5.2.1. Variación de los caracteres morfológicos.....	191
5.2.2. Correlación entre los caracteres morfológicos .....	196

5.2.3. Análisis Multivariante.....	197
5.2.4. Heredabilidad de los caracteres.....	200
5.3. CARACTERIZACIÓN MOLECULAR.....	201
5.3.1. Descripción de los marcadores AFLPs obtenidos .....	201
5.3.2. Diversidad genética.....	203
5.3.3. Análisis Multivariante.....	204
– Análisis de agrupamientos.....	204
– Análisis de coordenadas principales (ACoP).....	206
5.4 COMPARACIÓN ENTRE CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y CARACTERIZACIÓN MOLECULAR.....	206
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>209</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>215</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>241</b>
ANEXO 1. Fichas morfológicas de 24 accesiones de tomate de árbol cultivadas..	243
ANEXO 2. Matriz de presencia-ausencia de marcadores moleculares (AFLPs) de 26 accesiones de tomate de árbol.....	269
ANEXO 3. Matriz de semejanzas (índice de Dice) entre 26 accesiones de tomate de árbol (25 cultivadas y una silvestre), obtenida a partir de la matriz presencia-ausencia de bandas AFLPs.....	275
ANEXO 4. Semejanzas (índice de Dice) entre 25 accesiones cultivadas de tomate de árbol, obtenida a partir de la matriz presencia-ausencia de bandas AFLPs.....	279
ANEXO 5. Artículo científico publicado (“Variation among tree tomato ( <i>Solanum betaceum</i> Cav.) accessions from different cultivar groups: implications for conservation of genetic resources and breeding”) .....	283

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Composición química de los frutos de tomate de árbol.....	24
Tabla 1.2.	Recomendaciones de fertilización para el cultivo de tomate de árbol.....	32
Tabla 1.3.	Características más relevantes de los principales marcadores de ADN ...	52
Tabla 3.1.	Accesiones de tomate de árbol estudiadas, banco de semillas y código de accesión de procedencia, origen geográfico y grupo agronómico.....	68
Tabla 3.2.	Tipos de caracterización a que se sometió cada accesión.....	69
Tabla 3.3.	Lista de caracteres morfológicos seleccionados para la caracterización del tomate de árbol .....	77
Tabla 3.4.	Programa de amplificación preselección de fragmentos de ADN digeridos y Ligados .....	89
Tabla 3.5.	Combinación de cebadores, enzimas de restricción, secuencias y fluorocromos usados en la amplificación selectiva .....	91
Tabla 3.6.	Programa de amplificación selectiva de fragmentos de ADN digeridos y ligados .....	91
Tabla 4.1.	Comparación múltiple de diferencias entre medias de las 24 accesiones para caracteres de la arquitectura de la planta .....	98
Tabla 4.2.	Análisis de la varianza de las 24 accesiones para caracteres morfológicos de arquitectura de la planta .....	99
Tabla 4.3.	Medidas de centralización y dispersión de los caracteres morfológicos de arquitectura de la planta en las 24 accesiones .....	99
Tabla 4.4.	Análisis de la varianza simple entre grupos agronómicos de accesiones para caracteres de arquitectura de la planta .....	100
Tabla 4.5.	Comparación múltiple de diferencias entre medias de grupos agronómicos de accesiones para caracteres de arquitectura de la planta	100
Tabla 4.6.	Comparación múltiple de diferencias entre medias de las 24 accesiones para caracteres de hojas provenientes del tallo principal.....	101
Tabla 4.7.	Análisis de la varianza de las 24 accesiones para caracteres morfológicos de hojas provenientes del tallo principal.....	103
Tabla 4.8.	Medidas de centralización y dispersión de los caracteres morfológicos de hojas del tallo principal en las 24 accesiones.....	103
Tabla 4.9.	Análisis de la varianza simple entre grupos agronómicos para caracteres morfológicos de hojas provenientes del tallo principal.....	104
Tabla 4.10.	Comparación múltiple de diferencias entre medias de grupos agronómicos, para caracteres de hojas del tallo principal.....	104
Tabla 4.11.	Comparación múltiple de diferencias entre medias de las 24 accesiones para caracteres de hojas provenientes de la copa .....	106
Tabla 4.12.	Análisis de la varianza de las 24 accesiones para caracteres morfológicos de hojas provenientes de la copa .....	108

Tabla 4.13.	Medidas de centralización y dispersión de los caracteres morfológicos de hojas de la copa en las 24 accesiones .....	109
Tabla 4.14.	Análisis de la varianza simple entre grupos agronómicos de accesiones para caracteres morfológicos de hojas provenientes de la copa.....	109
Tabla 4.15.	Comparación múltiple de diferencias entre medias de grupos agronómicos, para caracteres de hojas de la copa .....	109
Tabla 4.16.	Comparación múltiple de diferencias entre medias de las 24 accesiones para caracteres de Inflorescencia y flor .....	111
Tabla 4.17.	Análisis de la varianza de las 24 accesiones para caracteres morfológicos de inflorescencia y flor .....	112
Tabla 4.18.	Medidas de centralización y dispersión de los caracteres morfológicos de inflorescencia y flor en las 24 accesiones .....	113
Tabla 4.19.	Análisis de la varianza simple entre grupos agronómicos de accesiones para caracteres de inflorescencia y flor .....	113
Tabla 4.20.	Comparación múltiple de diferencias entre medias de grupos agronómicos de accesiones para caracteres de inflorescencia y flor .....	115
Tabla 4.21.	Comparación múltiple de diferencias entre medias de las 24 accesiones para caracteres de infrutescencia y fruto .....	116
Tabla 4.22.	Análisis de la varianza de las 24 accesiones para caracteres morfológicos de infrutescencia y fruto .....	120
Tabla 4.23.	Medidas de centralización y dispersión de los caracteres morfológicos de infrutescencia y fruto en las 24 accesiones .....	121
Tabla 4.24.	Análisis de la varianza simple entre grupos agronómicos de accesiones para caracteres de infrutescencia y fruto .....	121
Tabla 4.25.	Comparación múltiple de diferencias entre medias de grupos agronómicos de accesiones para caracteres de infrutescencia y fruto....	122
Tabla 4.26.	Comparación múltiple de diferencias entre medias de las 24 accesiones para caracteres de la semilla .....	123
Tabla 4.27.	Análisis de la varianza de las 24 accesiones para caracteres morfológicos de la semilla .....	125
Tabla 4.28.	Medidas de centralización y dispersión de los caracteres morfológicos de la semilla en las 24 accesiones .....	125
Tabla 4.29.	Análisis de la varianza simple entre grupos agronómicos de accesiones para caracteres de la semilla .....	125
Tabla 4.30.	Comparación múltiple de diferencias entre medias de grupos agronómicos de accesiones para caracteres de la semilla.....	125
Tabla 4.31.	Matriz de correlaciones (coeficiente de Pearson)* de 39 caracteres morfológicos.....	127
Tabla 4.32.	Número (y porcentaje) de correlaciones significativas según diferentes niveles de significación .....	129

Tabla 4.33.	Número de correlaciones significativas obtenidas entre caracteres morfológicos agrupados por partes de la planta, según diferentes pruebas de significación .....	129
Tabla 4.34.	Valores propios y proporción de la varianza explicada correspondientes a las componentes con valores propios superiores a 1 en el análisis de componentes principales de los caracteres morfológicos de 24 accesiones de tomate de árbol .....	136
Tabla 4.35.	Contribuciones de los caracteres (vectores propios o <i>eigen</i> -vectores) a la construcción de las tres primeras componentes principales.....	137
Tabla 4.36.	Valores propios y proporción de la varianza explicada correspondientes a las componentes con valores propios superiores a 1 en el análisis de componentes principales de los caracteres morfológicos de 23 accesiones de tomate de árbol (sin la accesión A-41) .....	150
Tabla 4.37.	Contribuciones de los caracteres (vectores propios o <i>eigen</i> -vectores) a la construcción de las tres primeras componentes principales.....	151
Tabla 4.38.	Varianzas ambiental, genética y fenotípica, e Índice de heredabilidad de los caracteres morfológicos evaluados en 24 accesiones de tomate de árbol .....	163
Tabla 4.39.	Número y porcentaje de marcadores polimórficos AFLPs obtenidos en 26 accesiones de tomate de árbol (25 cultivadas y una silvestre) utilizando once combinaciones de cebadores y dos enzimas de restricción .....	165
Tabla 4.40.	Número y porcentaje de marcadores polimórficos AFLPs obtenidos en las 25 accesiones cultivadas de tomate de árbol utilizando once combinaciones de cebadores y dos enzimas de restricción .....	166
Tabla 4.41.	Número de diferencias entre pares de accesiones en contenido de alelos (presencia-usencia de marcadores AFLPs) .....	168
Tabla 4.42.	Diversidad genética ( $H$ , $H_T$ , $H_S$ ) y diferenciación genética ( $G_{ST}$ ) de los cuatro grupos agronómicos de las accesiones cultivadas.....	169
Tabla 4.43.	Distancias genéticas ( $D_G$ ) entre grupos agronómicos de las accesiones cultivadas .....	169
Tabla 4.44.	Comparación de la diversidad genética ( $H$ , $H_T$ , $H_S$ ) y diferenciación genética ( $G_{ST}$ ) entre los grupos a) fruto anaranjado y b) fruto morado o rojo de las accesiones cultivadas .....	170
Tabla 4.45.	Comparación de la diversidad genética ( $H$ , $H_T$ , $H_S$ ) y diferenciación genética ( $G_{ST}$ ) entre accesiones cultivadas recolectadas en Ecuador y en otros países .....	171
Tabla 4.46.	Valores propios y proporción de la varianza explicada correspondientes a las coordenadas con valores propios superiores a 1,00 en el análisis de coordenadas principales de los caracteres moleculares de las 26 accesiones de tomate de árbol (25 cultivadas y una silvestre).....	175
Tabla 4.47.	Valores propios y proporción de la varianza explicada correspondientes a las coordenadas con valores propios superiores a 1,00 en el análisis de coordenadas principales de los caracteres moleculares de las 25 accesiones cultivadas de tomate de árbol .....	181

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Ejemplo de un árbol filogenético de la familia <i>Solanaceae</i> basado en datos moleculares y morfológicos .....	7
Figura 1.2.	Distribución de la familia <i>Solanaceae</i> en el mundo.....	8
Figura 1.3.	Lectotipo de <i>Solanum betaceum</i> Cav.....	10
Figura 1.4.	a) Planta de <i>S. maternum</i> , y b) Inflorescencia y flor de <i>S. maternum</i> , ambas en el Jardín Botánico de Nijmegen, Países Bajos.....	19
Figura 1.5.	Cultivo de tomate de árbol bajo condiciones protegidas .....	30
Figura 1.6.	Frutos de tres tipos comerciales de tomate de árbol diferenciados por el color de la piel (amarillo, morado y rojo) .....	45
Figura 1.7.	Tipos de datos y descriptores relacionados con la caracterización morfológica .....	50
Figura 1.8.	Esquema de procedimientos en la tecnología AFLPs.....	53
Figura 3.1.	Fruto de grupo agronómico anaranjado-elíptico-puntón <sup>®</sup> : a) fruto entero y b) corte longitudinal con vista del interior del fruto .....	71
Figura 3.2.	Fruto de grupo agronómico anaranjado-puntón: a) fruto entero y b) corte longitudinal con vista del interior del fruto .....	71
Figura 3.3.	Fruto de grupo agronómico morado: a) fruto entero y b) corte longitudinal con vista del interior del fruto y del mucílago morado .....	72
Figura 3.4.	Fruto de grupo agronómico rojo: a) fruto entero y b) corte longitudinal con vista del interior del fruto .....	72
Figura 3.5.	Fruto de grupo agronómico trompo: a) fruto entero y b) corte longitudinal con vista del interior del fruto .....	73
Figura 3.6.	Mapa de ubicación general del lugar de ensayo .....	74
Figura 3.7.	Plantas de tomate de árbol en fase de vivero: a) plántulas en bolsas de polietileno y b) plantas con tres a cuatro hojas .....	75
Figura 3.8.	Plantación de tomate de árbol establecida para caracterización morfológica: a) plantas en desarrollo inicial y b) plantas en producción de frutos .....	75
Figura 3.9.	Caracteres de la arquitectura de la planta .....	79
Figura 3.10.	Caracteres de las hojas del tallo y copa .....	79
Figura 3.11.	Caracteres de la inflorescencia.....	82
Figura 3.12.	Caracteres de la flor.....	82
Figura 3.13.	Frutos de tomate de árbol partidos longitudinalmente: a) en proceso de escaneado y b) análisis con programa Image Tool .....	83
Figura 3.14.	Caracteres del fruto .....	84
Figura 3.15.	Caracteres de la semilla .....	84

Figura 4.1.	Dendrograma de 24 accesiones de tomate de árbol, a partir de 39 caracteres morfológicos .....	131
Figura 4.2.	Dendrograma de 24 accesiones de tomate de árbol con referencia a su origen geográfico, a partir de 39 caracteres morfológicos.....	132
Figura 4.3.	Dendrograma de 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B), a partir de 39 caracteres morfológicos .....	133
Figura 4.4.	Dendrograma de 23 accesiones de tomate de árbol con referencia a su origen geográfico, a partir de 39 caracteres morfológicos.....	135
Figura 4.5.	Distribución de 39 caracteres morfológicos evaluados en 24 accesiones de tomate de árbol, según la CP1 y CP2 .....	138
Figura 4.6.	Distribución de 39 caracteres morfológicos evaluados en 24 accesiones de tomate de árbol, según las componentes CP1 y CP3.....	139
Figura 4.7.	Distribución de 39 caracteres morfológicos evaluados en 24 accesiones de tomate de árbol, según la CP2 y CP3 .....	140
Figura 4.8.	Distribución de 24 accesiones de tomate de árbol evaluadas a través de 39 caracteres morfológicos, según la CP1 y CP2 .....	143
Figura 4.9.	Distribución de 24 accesiones de tomate de árbol de acuerdo al origen geográfico, según la CP1 y CP2 .....	143
Figura 4.10.	Distribución de 24 accesiones de tomate de árbol evaluadas a través de 39 caracteres morfológicos, según la CP1 y CP3 .....	144
Figura 4.11.	Distribución gráfica de 24 accesiones de tomate de árbol de acuerdo al origen geográfico, según la CP1 y CP3 .....	145
Figura 4.12.	Distribución de 24 accesiones de tomate de árbol evaluadas a través de 39 caracteres morfológicos, según la CP2 y CP3 .....	146
Figura 4.13.	Distribución de 24 accesiones de tomate de árbol de acuerdo al origen geográfico, según la CP2 y CP3 .....	147
Figura 4.14.	Distribución de 24 accesiones de tomate de árbol, según las tres primeras componentes principales.....	149
Figura 4.15.	Distribución de 39 caracteres morfológicos evaluados en 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B), según la CP1 y CP2.....	153
Figura 4.16.	Distribución de 39 caracteres morfológicos evaluados en 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B), según la CP1 y CP3.....	154
Figura 4.17.	Distribución de 39 caracteres morfológicos evaluados en 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B), según la CP2 y CP3.....	155
Figura 4.18.	Distribución de las 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) evaluadas a través de 39 caracteres morfológicos, según la CP1 y CP2..	156
Figura 4.19.	Distribución de 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) de acuerdo al origen geográfico, según la CP1 y CP2.....	157
Figura 4.20.	Distribución de 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) evaluadas a través de 39 caracteres morfológicos, según la CP1 y CP2..	158
Figura 4.21.	Distribución de 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) de acuerdo al origen geográfico, según la CP1 y CP3.....	159

Figura 4.22.	Distribución de 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) evaluadas a través de 39 caracteres morfológicos, según la CP2 y CP3..	160
Figura 4.23.	Distribución de 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) de acuerdo al origen geográfico, según la CP2 y CP3.....	160
Figura 4.24.	Distribución de 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B), según las tres primeras componentes principales.....	161
Figura 4.25.	Dendrograma de 26 accesiones de tomate de árbol, obtenido a través del estudio de AFLPs .....	172
Figura 4.26.	Dendrograma de 26 accesiones de tomate de árbol con referencia a su origen geográfico, obtenido a través del estudio de AFLPs.....	172
Figura 4.27.	Dendrograma de 25 accesiones de tomate de árbol (conjunto B), obtenido a través del estudio de AFLPs .....	173
Figura 4.28.	Dendrograma de 25 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) con referencia a su origen geográfico, obtenido a través del estudio de AFLPs .....	174
Figura 4.29.	Distribución de 26 accesiones de tomate de árbol (una silvestre y 25 cultivadas) obtenida a través del estudio de AFLPs, según la CoP1y CoP2 .....	176
Figura 4.30.	Distribución de 26 accesiones de tomate de árbol (una silvestre y 25 cultivadas) obtenida a través del estudio de AFLPs y de acuerdo al origen geográfico, según la CoP1 y CoP2 .....	177
Figura 4.31.	Distribución de 26 accesiones de tomate de árbol (una silvestre y 25 cultivadas) a través del estudio de AFLPs, según la CoP1y CoP3.....	178
Figura 4.32.	Distribución de 26 accesiones de tomate de árbol (una silvestre y 25 cultivadas) obtenida a través del estudio de AFLPs y de acuerdo al origen geográfico, según la CoP1 y CoP3 .....	179
Figura 4.33.	Distribución de 26 accesiones de tomate de árbol (una silvestre y 25 cultivadas) obtenida a través del estudio de AFLPs, según las tres primeras coordenadas principales .....	180
Figura 4.34.	Distribución de 25 accesiones cultivadas de tomate de árbol (conjunto B) obtenida a través del estudio de AFLPs, según la CoP1y CoP2.....	182
Figura 4.35.	Distribución de 25 accesiones cultivadas de tomate de árbol (conjunto B) obtenida a través del estudio de AFLPs y de acuerdo al origen geográfico, según la CoP1 y CoP2 .....	183
Figura 4.36.	Distribución de 25 accesiones cultivadas de tomate de árbol (conjunto B) obtenida a través del estudio de AFLPs, según la CoP1y CoP3.....	184
Figura 4.37.	Distribución de 25 accesiones cultivadas de tomate de árbol (conjunto B) obtenida a través del estudio de AFLPs y de acuerdo al origen geográfico, según la CoP1 y CoP3 .....	184
Figura 4.38.	Distribución de 25 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) obtenida a través del estudio de AFLPs, según las tres primeras coordenadas.....	186



## RESUMEN

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav., Solanaceae) es muy popular en Sudamérica, especialmente por su consumo como fruta fresca. Se trata de una importante alternativa en la producción, diversificación y comercialización de productos no tradicionales, constituyendo además un cultivo prometedor para ciertas regiones de clima mediterráneo. En Ecuador la expansión de su producción se ve limitada por factores como falta de diferenciación clara entre variedades, baja calidad de fruta (heterogeneidad, problemas sanitarios), utilización de variedades no adecuadas o sustitución de las variedades locales por materiales de otros orígenes; además, es un cultivo de subsistencia y está catalogado como especie marginada, no considerada en programas de conservación y mejora de recursos fitogenéticos. Se plantea así la necesidad de emprender estudios de caracterización de su diversidad, esenciales para su aprovechamiento y conservación, ya que hasta la fecha no se han publicado descriptores morfológicos para la caracterización del tomate de árbol, ni se han dado a conocer las relaciones morfológicas y genéticas entre sus grupos agronómicos. La presente Tesis Doctoral supone una primera caracterización morfológica y molecular del tomate de árbol, con un importante número de descriptores morfológicos y de marcadores AFLPs, basada en una amplia diversidad de accesiones (27 cultivadas provenientes de la región andina, centro de origen de la especie, y de otros continentes y una de *S. cajanumense* Kunth, como control externo en la caracterización molecular), asignadas a cinco grupos agronómicos: anaranjado-elíptico-puntón, anaranjado-elíptico, rojo, morado y trompo.

Se han elaborado 39 descriptores morfológicos, útiles para diferenciar el germoplasma y conocer características de interés de accesiones y grupos agronómicos. Los análisis estadísticos realizados incluyen medidas de posición y dispersión (media, desviación estándar y coeficiente de variación), análisis de varianza (para validar la utilidad de los descriptores) y determinación de la heredabilidad. Se detectaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre accesiones en la mayoría de caracteres, especialmente en los relacionados con el fruto, lo que refleja una considerable variabilidad e indica que es posible seleccionar materiales con características de fruto más adecuadas para los mercados. Este tipo de caracteres han mostrado también altos valores de heredabilidad, por lo que la selección basada en ellos sería eficaz. Se ha encontrado una considerable diversidad dentro de grupos agronómicos (excepto para el grupo trompo, formado por una única accesión). Se encontraron diferencias significativas principalmente entre el grupo trompo, que se caracteriza por producir un alto número de frutos de tamaño muy pequeño y con bajo número de semillas, y el resto de

agrupaciones. La mayor parte de correlaciones significativas correspondieron a caracteres de una misma parte de la planta. El análisis multivariante de agrupamientos y de componentes principales separó a la accesión A-41 (grupo agronómico trompo) del resto de accesiones, que a su vez formaron grupos con mínimas diferencias entre sí, sin relación con grupos agronómicos u origen del material.

Para la caracterización molecular se utilizaron once combinaciones de cebadores, encontrándose 197 marcadores AFLPs, de los cuales 78 (39,59%) fueron polimórficos. Se obtuvieron huellas genéticas específicas y únicas para cada accesión; sin embargo no se detectaron marcadores específicos y universales para los grupos agronómicos, lo cual sugiere que existe una escasa diferenciación genética entre grupos. Los grupos agronómicos mostraron una considerable diversidad interna, indicando que cada uno contiene una parte importante de la diversidad de la especie, lo cual tiene implicaciones relevantes tanto para su conservación como para su mejora genética. El análisis de agrupamientos y el de coordenadas principales aplicados a la caracterización molecular no consiguieron una agrupación clara de las accesiones, mostrando escasa diferenciación genética entre grupos agronómicos y entre orígenes geográficos. La caracterización morfológica y molecular mostraron una baja correspondencia entre sí; sin embargo la información que proporcionan resulta complementaria y oportuna para la conservación y mejora genética del tomate de árbol.

El presente estudio supone una contribución importante para el conocimiento de la diversidad, conservación de recursos genéticos y mejora genética del tomate de árbol; lo cual es de importancia para el desarrollo de este cultivo marginado de alto potencial para los países andinos, en especial para Ecuador.

## ABSTRACT

Tree tomato or tamarillo (*Solanum betaceum* Cav., Solanaceae) is very popular in South America, especially for being consumed as a fresh fruit. This species represents an important alternative to production, diversification and commercialization of non-traditional products, and in addition, it is a promising crop for some regions with Mediterranean climate. In Ecuador, the expansion of the crop is limited by some factors, such as the lack of clear differentiation among varieties, low fruit quality (heterogeneity and phytosanitary problems), use of inappropriate varieties or substitution of local varieties with materials from other origins; moreover, the tree tomato is a subsistence crop and is considered a neglected crop, not included in programs of conservation and genetic improvement of genetic resources. This raises the need to undertake studies aimed at the characterization of its diversity, which is essential to its use and conservation, as up to now neither morphological descriptors for tree tomato characterization have been published, nor the morphological and genetic relationships among cultivar groups have been studied. This doctoral thesis represents the first morphological and molecular characterization of tree tomato including a significant number of morphological traits and AFLPs markers, based on a broad diversity of accessions (27 cultivated, collected in the Andean region -the center of origin of this species- or in other continents, and belonging to *S. cajanumense* Kunth, used as an outgroup in the molecular characterization). Accessions were assigned to five cultivar groups: orange, orange pointed, purple, red, and red conical.

In this research, we have elaborated a list of 39 quantitative morphological descriptors, useful to differentiate accessions and to identify characteristics of interest in accessions and cultivar groups. Statistical analyses performed include measures of position and dispersion (mean, standard deviation and coefficient of variation), analyses of variance (to validate the utility of descriptors), and heritability. Statistically significant differences ( $P < 0.05$ ) among accessions were found for most traits, especially for fruit traits, which indicates that a wide variation exists and that it is possible to select materials with fruit characteristics more appropriate for the markets. Fruit traits have also displayed high heritability values, showing that selection for fruit characteristics would be efficient. Considerable variation was found within each cultivar group (with the exception of the red conical group, which contains a single accession). Many significant morphological differences were found between the red conical group, characterized by producing a high number of small fruits containing very few seeds, and all other cultivar groups. Most of the significant correlations found corresponded to traits from the same part of

the plant. Multivariate cluster and principal component analysis separated accession A-41 (red conical cultivar group) from the rest of accessions, which in turn formed poorly differentiated groups not related to cultivar groups or origin of the materials.

Eleven combinations of primers were used in the molecular characterization, which yielded a total of 197 AFLPs fragments, of which 78 (39.59%) were polymorphic. Genetic fingerprints specific and unique to each accession were obtained; however, no AFLPs fragments specific and universal to cultivar groups were found, suggesting a low genetic differentiation among cultivar groups. Cultivar groups showed considerable within-group diversity, indicating that each of them contains an important fraction of the species diversity, which has significant implications for both conservation and breeding. Multivariate cluster and principal coordinates analysis of molecular data did not reveal a clear accession grouping, showing a low genetic differentiation among cultivar groups and among geographical origins. Morphological and molecular characterizations showed a low correlation between them but provided complementary information useful for the conservation and genetic breeding of tree tomato.

This study represents an important contribution to the knowledge on diversity, conservation of genetic resources and breeding of the tree tomato, which is relevant for the development of this neglected crop with high potential for Andean countries, and especially for Ecuador.

# ***I. INTRODUCCIÓN***



## 1.1. EL TOMATE DE ÁRBOL: GENERALIDADES E IMPORTANCIA

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav., Solanaceae), conocido internacionalmente como tamarillo, es originario de la región andina, habiendo planteado algunos autores la hipótesis de que su centro de origen se encuentra en Bolivia (Bohs, 1991; Bohs & Nelson, 1997; Lester & Hawkes, 2001). Los frutos de esta especie son comestibles, de sabor agradable, ligeramente ácidos y con un alto contenido de provitamina A, vitaminas C y B<sub>6</sub> y minerales como el hierro y potasio (Sánchez-Vega, 1992; Romero-Rodríguez, 1994; Vasco *et al.*, 2009), por lo que su cultivo y consumo son muy populares en la región andina tropical y subtropical (Bohs, 1989a, Prohens & Nuez, 2000). Es además una importante alternativa en la producción, diversificación y mercadeo de productos no tradicionales, los cuales son una opción importante en la comercialización (Hallam *et al.*, 2004).

Algunos autores consideran que el tomate de árbol es también un cultivo prometedor para ciertas regiones de clima mediterráneo, como por ejemplo España e Italia; mientras que en Oceanía, específicamente en Nueva Zelanda, su producción y exportación han crecido de forma considerable en las últimas décadas (Pileri, 1989; Boyes & Strübi, 1997; Prohens & Nuez, 2000). Por lo que respecta a la región andina, en especial Ecuador, el cultivo y comercialización del tomate de árbol representa una importante oportunidad económica tanto nacional como internacional; pese a esto, aún es considerado como una especie marginada (Hernández-Bermejo & León, 1992). En Ecuador la producción de esta fruta atraviesa actualmente por graves problemas reflejados en una inadecuada comercialización del producto (a escala local y de exportación); como referencia, en el año 2001 se exportaron 103,45 t, pero entre los años 2008 y 2010 el volumen promedio exportado fue de 30,2 t, lo que significa una reducción superior al 70% con referencia al volumen exportado 10 años antes (Banco Central de Ecuador, 2011).

Hoy en día el tomate de árbol en Ecuador es un cultivo de subsistencia, el cual no ha sido considerado en estudios de diversidad y menos aún en programas de conservación y mejora de los recursos fitogenéticos; en este sentido, a más de ser un cultivo marginado constituye una especie aún no caracterizada e ignorada por los programas de investigación y conservación (Thies, 2000). El estudio de la diversidad de los recursos fitogenéticos es fundamental para el adecuado aprovechamiento de una determinada especie, como el tomate de árbol, y su conservación (Hammer *et al.*, 2003; de Vicente *et al.*, 2006). A este respecto, lo más oportuno se considera la

## Introducción

integración de la caracterización morfológica y la molecular (Hillis, 1987; Furini & Wunder, 2004); ambos tipos de caracterización han demostrado ser positivamente complementarios, a través de un sinnúmero de estudios desarrollados en diversas especies, entre ellas las más importantes (económicamente) del género *Solanum* como la patata, *S. tuberosum* L., el tomate, *S. lycopersicum* L., y la berenjena, *S. melongena* L. (Nuez *et al.*, 2004; Geleta *et al.*, 2005; Veteläinen *et al.*, 2005; Muñoz-Falcón *et al.*, 2008a; Kwon *et al.*, 2009; entre otros).

Los estudios realizados hasta ahora en tomate de árbol se han enfocado principalmente a la taxonomía, la filogenia y la etnobotánica del género *Cyphomandra*, en el que anteriormente se ubicaba esta especie y que actualmente es considerado parte del género *Solanum*; estos trabajos han sido desarrollados principalmente por Bohs (1989a, 1989b, 1991, 1994, 1995, 2001, 2007) y Bohs y colaboradores (Bohs & Nelson, 1997; Bohs & Olmstead, 1997; Weese & Bohs, 2007; entre otros). Pocos estudios se han enfocado hacia su mejoramiento (Pringle & Murray, 1991a; Pringle & Murray, 1992a, 1992b), y únicamente se ha encontrado una publicación que trata de las relaciones dentro de la especie a través de una caracterización molecular usando marcadores COS II (Enciso-Rodríguez *et al.*, 2010). Ha existido un mayor interés en temas relacionados con la postcosecha del fruto y con sus características químicas (Mwithiga *et al.*, 2007; Mertz *et al.*, 2009; Vasco *et al.*, 2009; entre otros), lo cual refleja la potencialidad que puede tener este cultivo.

A conocimiento del autor de la presente Tesis Doctoral, hasta la actualidad no se han publicado trabajos relacionados con el desarrollo de descriptores morfológicos para la caracterización del tomate de árbol, ni con las relaciones morfológicas y genéticas entre grupos agronómicos de esta especie. Debido a la falta de trabajos de investigación que aporten a su mejora productiva en Ecuador, así como a la conservación y disponibilidad de su variabilidad genética, la presente investigación busca profundizar en el conocimiento de la diversidad genética del tomate de árbol a través de la caracterización morfológica y molecular (mediante AFLPs) de un conjunto representativo de la diversidad de la especie (27 accesiones), recolectadas en Ecuador (en su mayoría) y otros países de Sudamérica (Colombia, Perú y Bolivia), así como en Nueva Zelanda, España y Portugal. De esta forma la presente investigación supone una primera caracterización morfológica y molecular con un importante número de descriptores morfológicos y de marcadores AFLPs, basada en una amplia diversidad de accesiones provenientes de la región andina, que constituye el centro de

origen del tomate de árbol (Bohs, 1991; Bohs & Nelson, 1997; Lester & Hawkes, 2001), así como de otros continentes.

## 1.2. RELACIONES TAXONÓMICAS Y FILOGENÉTICAS DEL TOMATE DE ÁRBOL: LA FAMILIA *SOLANACEAE* Y EL GÉNERO *SOLANUM*

### 1.2.1. Familia Solanaceae

#### - Generalidades

La familia Solanaceae se ubica en el orden Solanales de la clase Magnoliopsida (o Dicotiledóneas). Actualmente se acepta que comprende seis o siete subfamilias, con 90-100 géneros y entre 2.300 y 2.500 especies (Martins & Barkman, 2005; Stevens, 2008), caracterizadas por una gran diversidad de hábito, morfología y ecología, muchas de las cuales son de importancia alimenticia, medicinal e industrial (Hawkes *et al.*, 1979; Knapp, 2002; Knapp *et al.*, 2004). De todos los géneros que conforman esta familia, *Solanum* (subfamilia Solanoideae) es el más representado, con al menos el 50% de las especies de la familia (Frodin, 2004; Knapp *et al.*, 2004; Stevens, 2008).

#### - Características morfológicas de la familia Solanaceae

Las plantas de esta familia son hierbas anuales, bienales o perennes, arbustos, árboles o lianas, monoicas, andromonoicas o dioicas (Hawkes *et al.*, 1979). De acuerdo con varios autores (Hawkes *et al.*, 1979; Knapp, 2002; Stevens, 2008, entre otros), las principales características morfológicas que asocian a las especies de esta familia son las siguientes:

**Hojas.-** Son alternas, sin estípulas, generalmente pecioladas; lámina foliar simple o compuesta, ternada o pinnada, retinervada.

**Flores.-** Son solitarias o en inflorescencias, hermafroditas, actinomorfas o zigomorfas, pentámeras. En la mayoría de casos presentan un perianto diferenciado en cáliz sinsépalo y corola simpétala, estambres alternipétalos libres entre sí o conniventes,

## *Introducción*

con anteras de dehiscencia poricida o longitudinal, y gineceo bicarpelar sincárpico con ovario súpero bilocular, un estilo y estigma bilobado; cada lóculo contiene entre 1 y 50 rudimentos seminales anátropos o hemianátropos de placentación axilar.

**Frutos y semillas.-** La familia Solanaceae es muy diversa en lo que respecta a los tipos de frutos, que pueden ser bayas o cápsulas (muy raramente drupas), con semillas usualmente endospermadas y oleosas.

### **- Diversidad morfológica y molecular en la familia Solanaceae**

La familia Solanaceae está conformada por muchas especies de importancia agrícola que se cultivan principalmente por la demanda de sus frutos, como es el caso del tomate, el pimiento y la berenjena (Hawkes *et al.*, 1979; Knapp, 2002; Knapp *et al.*, 2004). A este respecto, los caracteres relacionados con las hojas, flores y especialmente los frutos son los descriptores de mayor utilidad para los estudios de diversidad de esta familia, ya que dichos órganos han sido el principal objetivo en los procesos de domesticación de estas especies (Knapp, 2002; Knapp *et al.*, 2004; Pickersgill, 2007). Otros caracteres morfológicos que muestran diferencias significativas entre las solanáceas corresponden a la ausencia-presencia de tricomas o espinas en diferentes órganos, a la altura de la planta y a la longitud de sus partes u órganos (Doganlar, 2002; Frary *et al.*, 2003).

La gran variabilidad morfológica encontrada en esta familia ha sido analizada conjuntamente con la molecular en estudios filogenéticos. En este sentido, la revisión bibliográfica publicada por Knapp *et al.* (2004) muestra un árbol filogenético de la familia Solanaceae (Figura 1.1) obtenido mediante la combinación de información molecular y morfológica, considerando los tipos de fruto (bayas o cápsulas), el ciclo vital (anual o perenne) y la simetría de la flor (actinomorfa o zigomorfa).

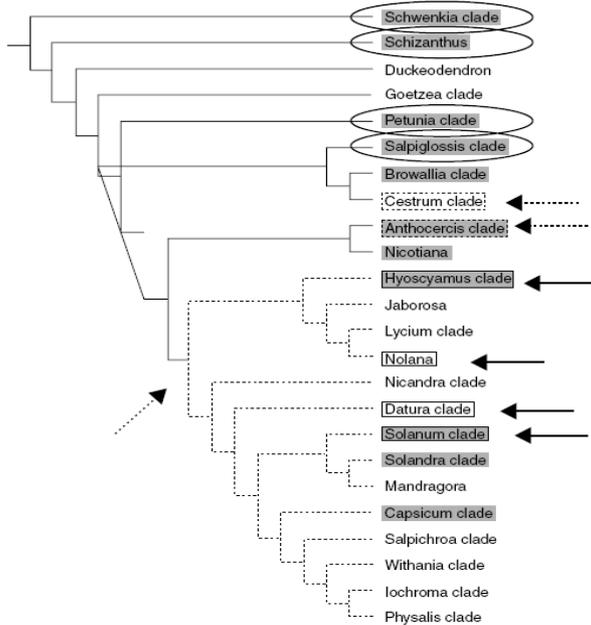


Figura 1.1. Ejemplo de un árbol filogenético de la familia *Solanaceae* basado en datos moleculares y morfológicos (tomado de Knapp *et al.*, 2004). Las líneas de puntos indican el clado (grupo monofilético) caracterizado por fruto en baya, las líneas continuas señalan clados con fruto en cápsula, los nombres sombreados corresponden a clados con flores zigomorfas y los marcados con anillos corresponden a aquellos clados cuyas especies son anuales

- **Origen, distribución geográfica e importancia de las Solanaceae**

La mayor parte de las especies de Solanaceae son originarias del Nuevo Mundo, principalmente de zonas templadas y tropicales de Sudamérica, región que concentra la mayor diversidad de especies de esta familia; otros centros de diversidad son Australia y África (Heywood, 1978; Bohs, 1994; Knapp *et al.*, 2004). Con el paso del tiempo sus especies se han distribuido por todos los continentes (Figura 1.2).

Las especies de esta familia se han adaptado satisfactoriamente a diversas condiciones ambientales y ocupan una gran variedad de hábitats, desde los desiertos hasta las selvas tropicales. Debido a la creciente demanda de especies vegetales útiles al hombre para su dieta, salud, belleza y ornamentación, las solanáceas ocupan el tercer lugar entre las Angiospermas en importancia económica en el mundo, debido a que esta familia comprende un considerable número de especies cultivadas de relevancia económica, como lo son el tomate, la patata, la berenjena, el pimiento, las petunias o las daturas, entre otras (Furini & Wunder, 2004; Knapp *et al.*, 2004; Mueller *et al.*, 2005). Muchas especies de esta familia, además, se caracterizan por la producción de diversos tipos de alcaloides, de los que una gran cantidad, a pesar de

## Introducción

su toxicidad, son o podrían ser muy beneficiosos en medicina por sus invaluables propiedades farmacéuticas, o en la obtención de insecticidas, entre otras cualidades.

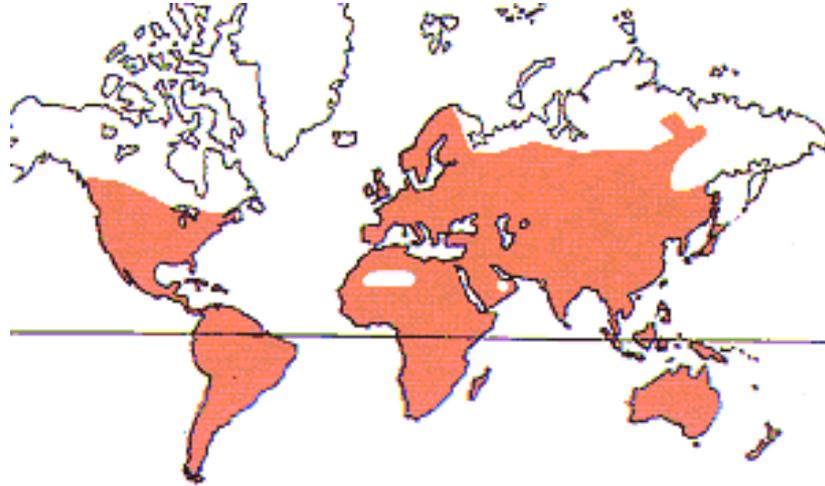


Figura 1.2. Distribución de la familia *Solanaceae* en el mundo (tomada de Heywood, 1978)

Los principales tipos de alcaloides encontrados en diversas especies de esta familia son los siguientes: **solanina**, glucoalcaloide presente principalmente en la patata, tomate y berenjena; **alcaloides tropánicos**, como la escopolamina (en especies de *Hyoscyamus*, *Datura*, *Brugmansia*, etc.) y atropina (*Atropa*); **nicotina**, principalmente en el tabaco; y la **capsaicina**, un capsaicinoide causante del sabor picante en especies del género *Capsicum* (Evans, 1979; Zeiger, 1998; Eich, 2008).

### 1.2.2. El género *Solanum*

El género *Solanum* pertenece a la tribu Solaneae y fue establecido por Linneo en 1753, en su obra "*Species plantarum*" (D'Arcy, 1972; Bohs, 1995). El número de especies que conforman el género *Solanum*, se estima entre 1.200 y 1.500 especies (Frodin, 2004; Natural History Museum, 2011); se trata del género más rico en especies de la familia Solanaceae y uno de los más ricos de todas las Angiospermas.

**- Características morfológicas del género *Solanum***

Las plantas de este género, por su hábito de crecimiento pueden ser herbáceas, arbustos, árboles e incluso lianas, glabras o pubescentes, con las siguientes características morfológicas que las distinguen (Hawkes *et al.*, 1979; Bohs, 1995; León, 2000; Knapp, 2002; Spooner & Salas, 2006):

**Tallo.-** Un pequeño grupo de especies americanas (subgénero *Potatoe*, sección *Petota*) presentan, además del tallo aéreo, dos tipos de tallos subterráneos: rizomas y tubérculos; los rizomas son brotes laterales originados en la región basal del tallo aéreo, crecen horizontalmente bajo la superficie del suelo y originan un tubérculo como resultado de su engrosamiento en el extremo distal.

**Hojas.-** Suelen ser alternas (raramente geminadas); carecen de estípulas, y son pecioladas, simples o compuestas.

**Flores.-** Se presentan en inflorescencias cimosas (cerradas) y son hermafroditas, actinomorfas o zigomorfas; con cáliz campanulado y corola rotada, campanulada, estrellada o urceolada, de diversos colores (blanco, rosado, amarillo, verde o púrpura). Los estambres presentan filamentos cortos, insertos en la base de la corola, y anteras basifijas, dehiscentes por poros terminales; el ovario aloja numerosos rudimentos seminales, el estilo está articulado en la base y el estigma es capitado.

**Frutos y semillas.-** El fruto es una baya comúnmente carnosa y en ciertos casos seca, globosa, a veces ovoide o elipsoide, y contiene una gran cantidad de semillas de forma aplanada y usualmente rodeadas de una sustancia mucilaginosa; el embrión es curvo y el endosperma abundante. Los frutos de este género presentan una marcada variación en caracteres como el color (encontrándose bayas de color negro, rojo, anaranjado, amarillo y verde) y el tamaño.

**- Grupos de especies recientemente integrados en el género *Solanum***

Los géneros *Lycopersicon*, *Cyphomandra*, *Normania* y *Triguera* constituyen grupos de especies de la familia Solanaceae que durante largo tiempo, y sobre la base de algunas características morfológicas, fueron considerados géneros independientes, diferentes de *Solanum*. Sin embargo, desde hace algunos años han ido siendo formalmente transferidos a *Solanum* (en el año 1995 para el caso de *Cyphomandra*; cf.

## Introducción

Bohs, 1995). Este cambio en la clasificación de este grupo obedece a estudios filogenéticos desarrollados con herramientas moleculares, y principalmente basados en el estudio de sitios de restricción de ADN cloroplástico (Olmstead & Palmer 1992, 1997; Spooner *et al.*, 1993; Bohs & Olmstead, 1997) que han permitido proponer o confirmar que los géneros antes mencionados deben incluirse en *Solanum* (Bohs, 1994, 1995, 2004; Peralta & Spooner, 2000; Bohs & Olmstead, 2001).

De siete subgéneros en que D'Arcy (1991) subdividió a *Solanum* (*Archaeosolanum*, *Leptostemonum*, *Lyciosolanum*, *Minon*, *Potatoe*, *Solanum* y *Bassovia*), es *Bassovia* el que reúne a las especies antes pertenecientes a *Cyphomandra*, es decir, el tomate de árbol (*S. betaceum*) y sus especies relacionadas, como *S. diploconos* (Mart.) Bohs, *S. unilobum* (Rusby) Bohs, *S. maternum* Bohs y *S. circinatum* Bohs, entre otras (Bohs, 1995; Weese & Bohs, 2007). Algunas de estas especies habían sido inicialmente (en ciertos casos hace más de 200 años) descritas en *Solanum*; por ejemplo, *S. betaceum* fue descrito por Cavanilles en el año 1799 basándose en una planta cultivada en el Real Jardín Botánico de Madrid, de la que se obtuvo el ejemplar (Figura 1.3) que hoy constituye el lectotipo de la especie (Knapp, 2007). En 1845 se estableció *Cyphomandra* como género distinto de *Solanum*, sobre la base de la forma curvada y ensanchada del conectivo de la antera (Bohs, 1994).



Figura 1.3. Lectotipo de *Solanum betaceum* Cav. (MA 308535) (tomado de Knapp, 2007)

## - Origen, distribución geográfica e importancia de *Solanum*

Las más de 1.000 especies de *Solanum* presentan una distribución cosmopolita, con la mayor concentración en el trópico y subtropico (Hawkes *et al.*, 1979; Knapp *et al.*, 2004). La mayor parte de las especies de *Solanum* se han originado principalmente en la región andina (Sudamérica), existiendo centros secundarios de diversidad y endemismo en regiones de Norteamérica, Centroamérica, Caribe, el este brasileño, y también en Australia, África y Asia (Hijmans & Spooner, 2001; Spooner & Hetterscheid, 2005). Se trata de un género de relevancia económica mundial que incluye importantes cultivos tales como la patata y el tomate, originarios de Sudamérica, y la berenjena (Bohs, 1989a; Knapp *et al.*, 1994), proveniente de la India; en el centro asiático se considera que existen aproximadamente 37 especies nativas de *Solanum* (Khan, 1979; Spooner & Hetterscheid, 2005). A más de la patata, tomate y berenjena, otras especies de *Solanum* de gran importancia en diversas regiones andinas constituyen un potencial alimenticio, farmacéutico, industrial y económico para dichas zonas y para el mundo, como son el tomate de árbol, la naranjilla (*S. quitoense* L.) y el pepino (*S. muricatum* Aiton) (Bohs, 1989a, 1994).

**Patata.-** En el mundo existen aproximadamente 200 especies silvestres y siete cultivadas de patata, todas originarias del continente americano, desde el suroeste de los Estados Unidos hasta las regiones centrales de Argentina y Chile, siendo Perú, Argentina, Bolivia y México los países con mayor diversidad. De las especies cultivadas, seis se han mantenido únicamente en la región andina pero *S. tuberosum*, que alberga una gran diversidad, se produce y consume en todos los continentes (Hijmans & Spooner, 2001; Spooner & Hetterscheid, 2005; Hijmans *et al.*, 2007), siendo China en 2009 (FAO, 2011) el mayor productor de patata en el mundo (69.000 x 10<sup>3</sup> t), seguida por India (34.000 x 10<sup>3</sup> t), mientras que los mayores consumidores son los europeos (87 kg/persona/año).

El tubérculo de la patata es fácilmente digerible, tiene un alto valor nutricional y diversas alternativas para su aprovechamiento; es uno de los cultivos más importantes en el mundo después del trigo, arroz y maíz (Hawkes, 1990; FAO, 2011). La patata se emplea en la preparación de diversas comidas, alimentos procesados, en la producción de bebidas alcohólicas como el vodka y en la alimentación animal (Li *et al.*, 2006). Su almidón ofrece además diversas aplicaciones en la industria del papel (confección de cartón corrugado, papel de embalaje, etc.) y en la de productos de higiene y cosméticos (Guenther, 2001; Li *et al.*, 2006). La patata es un organismo

## Introducción

modelo de investigación, permitiendo encontrar respuestas desde un punto de vista genético y agrícola; por ser autoploiploide, permite estudiar el efecto de diferentes dosis de un determinado alelo (The NSF Potato Genome Project, 2011). La importancia de esta especie ha conllevado la creación del Centro Internacional de la Papa (CIP), que busca reducir la pobreza y alcanzar seguridad alimentaria en los países en desarrollo mediante la investigación científica y el manejo de los recursos naturales en los Andes y otras áreas (CIP, 2011).

**Tomate.-** Las especies silvestres relacionadas con el tomate son nativas del oeste de Sudamérica, desde la parte central de Ecuador hasta el norte de Chile, encontrándose también una especie endémica, *S. cheesmaniae* (L. Riley) Fosberg, en las islas Galápagos (Peralta & Spooner, 2000; Nuez *et al.*, 2004; Sifres *et al.*, 2011). Se considera que el antepasado silvestre del tomate cultivado, *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* (Alef.) Fosberg, alcanzó una mayor distribución, y quizás más reciente, hasta México, Colombia y Bolivia (Rick & Holle, 1990; Esquinas-Alcázar & Nuez, 1995). El tomate cultivado fue introducido en Europa en el siglo XVI; españoles y portugueses, y posteriormente otras potencias, lo difundieron por el mundo a través de sus colonias ultramarinas (Esquinas-Alcázar & Nuez, 1995).

El tomate es demandado por sus características nutritivas, por la alta actividad antioxidante del licopeno, y por su sabor particular, ligeramente dulce y ácido a la vez. Puede utilizarse fresco, o procesado para obtener zumo, tomates deshidratados, diversos concentrados como el puré o la pasta de tomate, elaboración de cócteles, etc. (ForeignAgriculturalService/USDA, 2007; FAO, 2011). China e India son los mayores productores, con  $34.120 \times 10^3$  t y  $11.140 \times 10^3$  t, respectivamente, en 2009; mientras que Estados Unidos ( $14.141 \times 10^3$  t) y Egipto ( $10.000 \times 10^3$  t) alcanzan también altas producciones (ForeignAgriculturalService/USDA, 2007; FAO, 2011).

La importancia de esta especie ha incidido en el planteamiento de investigaciones de interés mundial, como lo es la secuenciación del genoma del tomate. Para ello, cada cromosoma del genoma haploide ha sido asignado a un centro de secuenciación diferente: los cromosomas 1 y 10 centros de Estados Unidos, el 3 y 11 a centros de China, el 2 a Corea, el 4 al Reino Unido, el 5 a India, el 7 a Francia, el 8 a Japón, el 9 a España y el 12 a Italia; el genoma mitocondrial, será secuenciado en Argentina y el genoma del cloroplasto lo será por la Unión Europea (Knapp *et al.*, 2004).

**Berenjena.-** A diferencia de la mayoría de especies de *Solanum*, la berenjena (*S. melongena*) y sus especies relacionadas no provienen de América (Khan, 1979; Daunay *et al.*, 2001). Trabajos de diversidad morfológica y molecular sugieren que la berenjena ha sido domesticada en la región indo-birmana a partir de la especie silvestre *S. incanum* L., con la que la berenjena muestra una significativa analogía (IBPGR, 1990; Anis *et al.*, 1994). Por otra parte, otro estudio basado en análisis morfométricos, isoenzimas, y proteínas de semillas, propone que las formas ancestrales de *S. melongena* son originarias de África y el Oriente Medio (Lester & Hasan, 1991). La berenjena fue introducida prematuramente en China y Persia como cultivo, y de allí fue transportada al este de África por persas y árabes donde adquirió una gran importancia como cultivo hortícola; a partir del siglo X se tienen indicios de su cultivo y consumo en la Península Ibérica, desde donde se ha distribuido a otros países europeos y luego introducido en América, probablemente por los españoles (Esquinas-Alcázar & Nuez, 1995; Watson, 1998; Daunay, 2008).

La berenjena está emparentada con un grupo de especies silvestres y formas asilvestradas de África y el sureste de Asia, así como con dos especies cultivadas de África Occidental, *S. aethiopicum* L. y *S. macrocarpon* L.; éstas últimas son cultivos importantes en África y se utilizan tanto sus frutos como sus hojas (Schippers, 2000; Rodríguez-Burruezo *et al.*, 2004a). Por otra parte, *S. melongena* junto con *S. insanum* L. y *S. incanum* (consideradas como formas adventicias naturalizadas del sudeste asiático) forman el conocido “complejo berenjena”, conformado por materiales que constituyen su germoplasma primario, ya que se cruzan y dan híbridos fértiles con la berenjena cultivada (Pearce & Lester, 1979; Lester & Hasan, 1991).

Los frutos de esta hortaliza tienen un alto porcentaje de agua (92% aproximadamente) y su valor energético no es muy significativo en comparación con otras frutas, verduras y hortalizas; sin embargo, destaca por su alto contenido en compuestos fenólicos (Hanson *et al.*, 2006; Eich, 2008). Las berenjenas se aprovechan en diversas recetas culinarias, en la industria para precocinados, congelados, encurtidos y enlatados, e incluso como planta medicinal (Muñoz-Falcón, 2009). Actualmente son China e India los países que más berenjena producen,  $19.000 \times 10^3$  t y  $10.378 \times 10^3$  t, respectivamente, en el año 2009 (FAO, 2011).

### 1.3. EL CULTIVO DEL TOMATE DE ÁRBOL

#### 1.3.1. Descripción morfológica

El tomate de árbol es una planta arbustiva de rápido crecimiento, caracterizada por tener una vida corta, pudiendo vivir entre 5 a 12 años (Bohs, 1989a, 1994; Richardson & Patterson, 1993; Prohens & Nuez, 2000). Las principales características morfológicas son las siguientes:

- **Sistema radical.-** Es superficial y no muy extenso (Bohs, 1989a; National Research Council, 1989). Según un estudio de caracterización del sistema radical del tomate de árbol (Martínez, 2001), sus raíces pueden alcanzar una profundidad de hasta 1 m; mientras que la mayor concentración de raíces absorbentes se distribuye en los primeros 25 cm de profundidad.
- **Tallo.-** La planta presenta un único tronco de forma cilíndrica, inicialmente suculento y, conforme se desarrolla, leñoso; generalmente se divide en tres ramas a un rango de altura comprendido entre 1 y 1,50 m, y la altura total de la planta puede alcanzar alturas entre 2,5 y 3 m (León *et al.*, 2004). Según Bohs (1989a, 1994), la altura a partir de la cual se forma la copa está comprendida entre 1,5 y 2 m y la planta en general puede medir de 2 a 4 m, encontrándose ocasionalmente plantas con una altura de hasta 8 m.
- **Hojas.-** Son perennes, alternas, simples, enteras, de forma ovada y ápice agudo. Tienen pubescencia moderada en el haz, más densa en el envés, y presente también en su peciolo. Las hojas del tallo principal son muy similares a las de la copa, diferenciándose únicamente por ser de mayor tamaño las primeras. El limbo de las hojas del tallo principal presenta longitudes comprendidas entre 25 y 40 cm, y anchuras de 20 a 35 cm; su base es cordada, con lóbulos basales de 3 a 6 cm de longitud, y el peciolo mide entre 15 y 25 cm; las hojas de la copa tienen limbos de una longitud que va desde 7 a 20 cm y un ancho comprendido entre 6 y 15 cm; la base presenta lóbulos basales de 1,5 a 3 cm de longitud y los peciolos miden entre 3 y 10 cm (Bohs, 1989a, 1994; Prohens & Nuez, 2000).

Son de color verde con matices que van desde verde claro (amarillento) hasta verde oscuro (purpúreo); Sánchez-Vega (1992) menciona que según los agricultores el color del follaje verde amarillento está relacionado con la producción de frutos con piel de color amarilla, y el follaje verde purpúreo con la producción de frutos con piel de color anaranjado-rojo.

- **Inflorescencias.**- Son cimas escorpioideas y sus flores se distribuyen en doble serie a lo largo de su eje. Se identifican tres partes principales: pedúnculo, raquis y pedicelos, todas ellas moderadamente pubescentes; el pedúnculo y el pedicelo son generalmente péndulos. Las inflorescencias tienen una longitud total de 2,5 a 15 cm; el pedúnculo mide de 1,5 a 9 cm y su raquis puede medir de 2 a 8 cm, mientras que los pedicelos miden de 1 a 2 cm de longitud, y de 1,5 a 5 cm una vez que el fruto ha cuajado. Cada una de las inflorescencias puede contener entre 10 y 50 flores (Bohs, 1989a, 1994).

- **Flores.**- Son perfectas (hermafroditas), actinomorfas, de forma estrellada y pentámeras. Los botones florales tienen forma elipsoidal a ovoide, con ángulos obtusos a agudos en su ápice. El cáliz sinsépalo tiene un radio de 0,3 a 0,5 cm, los lóbulos miden de 0,1 a 0,2 cm de longitud y de 0,2 a 0,3 cm de ancho, con forma obtusa, apiculada y presentan una pubescencia entre ligeramente esparcida a muy densa. La corola simpétala es de color rosáceo y tiene un radio de 1 a 1,5 cm; los lóbulos tienen una forma estrechamente triangular con una longitud de 0,7 a 1,2 cm y 0,25 a 0,4 cm de ancho, con margen tomentoso y ápice agudo. Los cinco estambres son de igual longitud y se insertan en la base de la corola; las tecas son de un color amarillo pálido, de forma lanceolada, con una longitud de 0,5 a 0,6 cm y un ancho de 0,2 a 0,25 cm. El conectivo es de color verde-amarillo (brillante), estrechamente triangular, con una longitud de 0,45 a 0,5 cm y un ancho de 0,1 a 0,2 cm. El ovario y el estilo son glabros; este último es de forma cilíndrica con una longitud de 0,5 a 0,6 cm y un diámetro comprendido entre 0,05 y 0,1 cm (Lewis & Considine, 1999a; Bohs, 1994).

- **Frutos.**- Son bayas de forma elipsoidal u ovoide, con ápice agudo u obtuso. El tamaño del fruto maduro oscila entre 4 y 10 cm de longitud y de 3 a 5 cm de diámetro. El exocarpo (piel) es suave y glabro, de color amarillo, naranja, rojo ó morado (dependiendo del genotipo); generalmente posee franjas longitudinales oscuras como un vetado. El mesocarpo (pulpa) es de sabor semi-ácido dulce, generalmente de color amarillo, anaranjado, o morado y posee dos lóculos (Morton, 1982; Bohs, 1989a; 1994; Sánchez-Vega, 1992).

- **Semillas.**- Son aplanadas, reniformes y con densa “pubescencia” (en realidad, restos de paredes celulares rotas); tienen una longitud de 0,3 a 0,4 cm y un ancho comprendido entre 0,35 y 0,4 cm. Se caracterizan por ser de color blanco cuando están aún en periodo de formación; a medida que alcanzan su madurez son cubiertas por un mucílago de color negro en los frutos de piel morada y amarillo en los frutos de piel amarilla, roja o anaranjada (Morton, 1982; Bohs, 1989a, 1994; León, 2002; Meza & Manzano-Méndez, 2009).

### 1.3.2. Biología reproductiva

El tomate de árbol es una planta diploide con  $2n = 24$  cromosomas, aunque de manera espontánea se han identificado individuos triploides y tetraploides en huertos comerciales (Pringle, 1991; Pringle & Murray 1991b). Se caracteriza por ser una especie autocompatible (Pringle & Murray, 1991b; Bohs, 1994).

La biología reproductiva del tomate de árbol ha sido poco estudiada; Bohs (1994) hace una síntesis de los pocos trabajos relacionados con este tema, refiriéndose al ex género *Cyphomandra* y en particular al tomate de árbol. Rao & Rauoof (1970) en la India, y Lewis (1985), Pringle (1991) y Pringle & Murray (1991b) en Nueva Zelanda, han estudiado algunos aspectos de la biología reproductiva en *S. betaceum*, determinando que la antesis tiene lugar principalmente de 8:00 h a 14:00 h; la dehiscencia de las anteras se presenta durante todo el día, aunque éstas suelen madurar y liberar su polen antes de que el estigma esté receptivo (Rao & Rauoof, 1970). La abscisión de las flores que no han sido polinizadas tiene lugar entre tres y cuatro días después de la antesis. Cada antera contiene un promedio de 793.000 granos de polen (Lewis, 1985).

Pringle & Murray (1991b) han examinado el número de rudimentos seminales contenidos en cada flor, encontrando entre 323 y 467; además, han determinado que la relación polen/rudimentos seminales (P/O) se encuentra en un rango comprendido entre 8.500 y 12.300. La relación P/O se utiliza como una estimación de la probabilidad de que un número suficiente de granos de polen alcance un estigma receptivo, lo cual está relacionado directamente con el sistema reproductivo; en general, las especies alógamas tienden a tener altas relaciones P/O mientras que las especies autógamias presentan menores valores en esta relación (Cruden, 1977,

2000). La fecundación ocurre 48 horas después de la polinización (Rao & Rauoof, 1970; Bohs, 1991; Pringle & Murray, 1991b).

La polinización requiere la influencia del viento o, principalmente, de la presencia de insectos (Bohs, 1991; Pringle & Murray, 1991b); según Lewis & Considine (1999a, 1999b) los insectos que mayor incidencia tienen en la polinización de esta especie son las abejas (*Apis mellifera*). Por otra parte, cuando la disponibilidad del viento es baja o el cultivo se encuentra bajo condiciones controladas, la polinización y consecuente fructificación se pueden ver afectadas notoriamente (Sale, 1983a).

En estudios de compatibilidad reproductiva de *S. betaceum* con otras especies relacionadas (Bohs, 1991; Bohs & Nelson, 1997) se obtuvieron plantas híbridas F<sub>1</sub> de combinaciones interespecíficas entre algunas especies del grupo *Cyphomandra* (ahora en el género *Solanum*), entre ellas el tomate de árbol: *S. betaceum* x *S. roseum* Bohs, *S. betaceum* x *S. unilobum* y *S. betaceum* x *S. maternum*. Todos los híbridos presentaron características morfológicas intermedias entre sus especies parentales y fueron autocompatibles. Dichos autores mencionan que la compatibilidad de *S. roseum*, *S. unilobum* y *S. maternum* en la formación de híbridos con *S. betaceum* es un importante factor a considerar para el desarrollo de programas de mejoramiento del tomate de árbol.

### 1.3.3. Condiciones ambientales

El tomate de árbol es una planta de los Andes subtropicales; se desarrolla también en zonas tropicales, preferentemente en rangos de altitud media a alta de los bosques montanos del neotrópico (Bohs, 1989a; Morley-Bunker, 1999; Prohens & Nuez, 2000). En la región andina se cultiva en zonas con una pluviometría comprendida entre 600 y 4.000 mm/año, con temperaturas anuales comprendidas entre 15 y 25 °C y suelos con pH de 5 a 8,5 (Rotundo *et al.*, 1981; Morton, 1982; Prohens & Nuez, 2000). Las condiciones requeridas por esta especie hacen que se pueda cultivar en zonas donde se producen los cítricos (Carnevali, 1974), por lo que su cultivo podría desarrollarse también en diversas zonas de clima mediterráneo (Prohens & Nuez, 2000). Las plantas de tomate de árbol pueden crecer en amplios rangos de altitud; por citar varios ejemplos, en zonas andinas de Ecuador y Colombia se produce entre 1.000 y 3.000 m, entre 300 y 900 m en Puerto Rico, entre 300 y 2.200 m en la India y a alrededor de 1.800 m en Haití (Morton, 1982; Bohs, 1989a, Duke & duCellier 1993; Bohs, 1994;

## *Introducción*

Prohens & Nuez, 2000). Por lo que respecta a Ecuador esta especie presenta un excelente desarrollo vegetativo y productivo, principalmente en los valles subtropicales y estribaciones de montaña de la sierra y Amazonía; las zonas ecológicas más adecuadas para su cultivo (Cañadas, 1993; León *et al.*, 2004) son: bosque seco montano bajo (bsMB), bosque húmedo montano bajo (bhMB), bosque húmedo premontano (bhPM) y bosque seco premontano (bsPM).

En regiones de climas fríos el cultivo se puede desarrollar en zonas con altitudes bajas; sin embargo la presencia de heladas intensas podría causar la muerte de la planta, mientras que la incidencia de heladas más leves causaría daños al follaje y a pequeñas ramas, de lo cual la planta se puede recuperar (Morton, 1982).

Las plantas de tomate de árbol son susceptibles a una intensa radiación solar, desarrollándose mejor bajo condiciones de cierta nubosidad, características de las zonas de la región andina donde se origina esta especie (Prohens *et al.*, 1996).

El viento es uno de los factores ambientales que mayor problema causa en el cultivo, por lo que en zonas con fuertes vientos se deben implementar sistemas de protección; la susceptibilidad de esta especie a la incidencia del viento se debe a que sus ramas son muy frágiles, pudiendo provocar su quiebre y la caída de sus flores y frutos. Las plantas jóvenes (de uno a dos años de edad) son las más susceptibles a los fuertes vientos, ya que sus ramificaciones aun no están totalmente lignificadas; por otra parte, debido a que su sistema radical es muy superficial y no permite un adecuado anclaje al suelo, la planta tiende a caerse (Carnevali, 1974; Morton, 1982).

Las plantas de tomate de árbol se desarrollan mejor en suelos fértiles, profundos, preferentemente de textura suelta (suelos francos) y bien drenados (Carnevali, 1974; Pileri, 1989; Santillán, 2001; León *et al.*, 2004). Sin embargo, se debe considerar que las exigencias de este cultivo no necesariamente son las mismas si se establece en diferentes condiciones ambientales. Duke & duCellier (1993) mencionan que en Haití es cultivado en laderas, en las que los suelos contienen bajos niveles de nutrientes; esto también sucede en países como Ecuador y Colombia.

#### 1.3.4. Origen y domesticación

El tomate de árbol se conoce únicamente en estado cultivado; se considera que la especie es nativa de los Andes subtropicales y su domesticación y cultivo son anteriores al descubrimiento de América (Bohs, 1989a; Sánchez-Vega, 1992). Sin embargo tanto el origen como la domesticación de esta especie son temas que aún no han sido claramente definidos. Por lo que respecta al origen, Bohs (1991) y Bohs & Nelson (1997) sugieren que *S. betaceum* podría ser originario de Bolivia, debido a las estrechas relaciones encontradas con tres especies silvestres del grupo *Cyphomandra* provenientes de este país (*S. maternum*, *S. unilobum* y *S. roseum*), que conjuntamente con *S. betaceum* conforman un complejo taxonómico estrechamente relacionado (Bohs, 1994, 1995; Lester & Hawkes, 2001). De estas especies, *S. maternum* es morfológicamente muy similar a *S. betaceum*, tanto así que si estas dos especies se comparasen únicamente de acuerdo con ejemplares de herbario, serían difíciles de distinguir; el epíteto “*maternum*” se debe a la posibilidad de que esta especie represente al ancestro silvestre del tomate de árbol (Bohs & Nelson, 1997). Las Figuras 1.4 a y b son fotografías de una planta de *S. maternum* conservada en el Jardín Botánico de Nijmegen, Países Bajos.



Figura 1.4. a) Planta de *S. maternum*, y b) Inflorescencia y flor de *S. maternum*, ambas en el Jardín Botánico de Nijmegen, Países Bajos (imágenes cedidas por J. Prohens)

## Introducción

En lo que respecta a la domesticación del tomate de árbol, se desconoce cuándo o en qué lugar se desarrolló este proceso; las representaciones de la planta sobre piezas de cerámica del Perú referidas por Towle (1961) corresponden a culturas precolombinas modernas, lo que significa que el tomate de árbol pudo ser domesticado hace relativamente poco tiempo; además, según Heiser (1969), los nombres con los que se conoce a esta planta en los lugares de donde podría originarse provienen del español o portugués, más que de las lenguas nativas de estas regiones, lo que respaldaría dicha hipótesis.

Las especies del grupo *Cyphomandra* son nativas de la región tropical de América, especialmente de Sudamérica. Su presencia es más abundante en los bosques húmedos de Centroamérica y la región centro-sur de Sudamérica, constituyendo el sureste de Brasil otro centro de diversidad de estas especies (Bohs, 1994).

### 1.3.5. Distribución geográfica

A través del tiempo el cultivo del tomate de árbol se ha dispersado por diversas regiones del mundo, especialmente en Sudamérica (Bohs, 1994); Bohs (1989a) ha realizado un pormenorizado compendio de diversos autores sobre la expansión del cultivo de esta especie, que sintéticamente se expone a continuación.

El aprovechamiento de los frutos de tomate de árbol en Argentina está referido desde el año 1845, pudiendo haberse extendido hacia estas regiones mucho antes (Miers, 1845). Al parecer las plantas de esta especie fueron llevadas desde Sudamérica hacia el Caribe (Jamaica y Cuba) aproximadamente por el año 1884 (Morris, 1884; Roig, 1953); mientras que en las Antillas Menores fueron introducidas (en la isla Martinica) antes del año 1900. Hacia 1948 esta especie había sido reportada también en Puerto Rico (Hume & Winters, 1948), mientras que su presencia en Estados Unidos está registrada desde los años 1886 y 1887 (Fisch, 1974).

Por lo que respecta al Viejo Mundo, la publicación del nombre *Solanum betaceum* y descripción de la especie por Cavanilles (1799) se basa en una planta cultivada en el Real Jardín Botánico de Madrid (Figura 1.3) (Knapp, 2007), y durante la primera década del siglo XIX se habría distribuido por algunos países de Europa, como Inglaterra, Francia y Alemania (Andrews, 1801; Aiton, 1810; Dunal, 1816; entre otros). Entre inicios y mediados de ese siglo el tomate de árbol se extendió desde el sur de

Europa hasta Egipto (Alliaume, 1880; Morris, 1884), mientras que por el año 1880, semillas de esta especie fueron transportadas desde Jamaica hacia Sudáfrica, India, Sri Lanka, Hong Kong y Australia (Morris, 1884; Anónimo, 1887). Hacia 1886 *S. betaceum* fue distribuido por todas las colonias europeas en el sureste asiático (Maiden, 1894; Burkill, 1966) y en 1899 se reportaron cultivos en China (Hooker, 1899; Lu, 1986). En Filipinas habría sido introducido a partir de 1911 (Wester, 1925); a partir de 1922, luego de la “guerra de los Bóers”, sus semillas fueron transportadas desde el Cabo de Buena Esperanza hasta Kenia y Tanzania (Anónimo, 1922). Por otra parte, a finales del siglo XIX el tomate de árbol fue llevado desde Oporto (Portugal) hacia África Suroccidental (Hiern, 1898; Warburg, 1903). En 1891 fue introducido en Nueva Zelanda donde, debido a la escasez de frutas y verduras sufrida durante la segunda guerra mundial, el “tamarillo”, como lo han renombrado los neozelandeses, se convirtió en un cultivo de gran importancia (Fletcher, 1979).

Nueva Zelanda, desde hace varias décadas hasta la actualidad, es considerado como el mayor productor de esta fruta en el mundo (Morton, 1982; Bohs, 1994; Eagles *et al.*, 1994; Prohens & Nuez, 2000). En la actualidad, el tomate de árbol es cultivado especialmente en áreas subtropicales de los países andinos, principalmente de Ecuador y Colombia, mientras que en el resto de los países de dicha región (Bolivia, Perú, Venezuela y Chile) es producido en menor escala.

#### **1.3.6. Características nutricionales del fruto y su aprovechamiento alimenticio**

Los frutos de tomate de árbol son bayas; su piel es de textura áspera con un sabor desagradable, su pulpa es succulenta y ligeramente ácida, y el mucílago que rodea a la semilla es jugoso y de sabor agridulce (Morton, 1982; Bohs, 1989a; Vasco *et al.*, 2009). Tienen un sabor parecido al del tomate (*S. lycopersicum*), aunque son más ácidos, menos jugosos y de sabor muy perdurable en el paladar; además, las formas de consumirlo también pueden ser muy parecidas (Bohs, 1989a). Debido al sabor agradable del tomate de árbol y a sus características físico-químicas los frutos maduros son aprovechados en diversas formas, utilizándose principalmente en forma cruda como fruta fresca, en zumos, batidos con leche, sándwiches, ensaladas (de frutas y de verduras), etc.; para su uso directo se suele eliminar el exocarpo y la parte interna del mesocarpo debido a que estas partes del fruto son de sabor amargo (Bohs, 1989a; Sánchez-Vega, 1992; Prohens & Nuez, 2000). Se utilizan además en la

## Introducción

elaboración de tortas, helados, gelatinas, mermeladas, cócteles y zumos envasados, así como también en la obtención de salsas o enlatados (Morton, 1982; Biltons, 1986; Bohs, 1989a; Duke & duDucellier, 1993; Prohens & Nuez, 2000). Los frutos de esta especie se utilizan también como ingredientes en la preparación de sopas, guisos, horneados, etc.; en Nueva Zelanda su consumo es de mucha relevancia, tanto así que se ha publicado un libro de cocina (denominado “Tamarillo cook book”) que incluye a los frutos de tomate de árbol en todas sus recetas (Biltons, 1986; Pileri, 1989).

En Bolivia y Perú, desde hace muchos años los frutos de tomate de árbol han sido utilizados en la preparación de una salsa picante conocida como “ají”, para lo cual se mezclan con frutos de pimiento, *Capsicum* spp. (Sánchez-Vega, 1992). En la actualidad esta salsa también se prepara en Ecuador y se la conoce como “ají de tomate de árbol”; y se mezcla también con granos de chocho (la leguminosa *Lupinus mutabilis* Sweet), en cuyo caso se la conoce como “ají con chochos”.

En ciertas poblaciones de Ecuador y Colombia los frutos de tomate de árbol, e incluso sus hojas, son utilizados en la medicina tradicional, atribuyéndoseles excelentes propiedades contra las afecciones de la garganta y para la reducción del colesterol; mientras que en países como Jamaica y Bolivia se utilizan para combatir problemas hepáticos (Bohs, 1989a; León *et al.*, 2004). Según Sánchez-Vega (1992), los campesinos de la región andina atribuyen a los frutos de esta especie propiedades medicinales para aliviar enfermedades respiratorias y combatir la anemia.

### 1.3.7. Fitoquímica del tomate de árbol

La composición nutricional de los frutos de esta especie es de importancia debido a que contienen diversos componentes que contribuyen significativamente en la dieta humana; los niveles principalmente de provitamina A y vitaminas C, B<sub>6</sub> y E encontrados en la parte comestible del tomate de árbol indican que el consumo de un fruto podría aportar más del 5% de la ingesta diaria recomendada de estos nutrientes; asimismo, el consumo diario de uno o dos frutos podría suplir más del 5% de otros elementos nutricionales como hierro, magnesio y potasio (Lister *et al.*, 2005; Vasco *et al.*, 2009). Además, estos frutos son bajos en calorías, constituyen un excelente recurso en fibra, contienen niveles muy bajos en grasa, y están libres de colesterol y sodio; en el plano energético el consumo de 100 g de pulpa aportarían entre 110 y 151

kJ (Zuang *et al.*, 1992; Romero-Rodríguez *et al.*, 1994; Lister *et al.*, 2005). La Tabla 1.1 indica la composición química de la parte comestible de los frutos de tomate de árbol.

El contenido de ciertos compuestos fenólicos conjuntamente con la disponibilidad de carotenoides y vitamina C constituyen indicadores de la calidad nutricional de los frutos carnosos, debido principalmente a su capacidad antioxidante (Bravo, 1998; Mertz *et al.*, 2009). A este respecto, los frutos de tomate de árbol se caracterizan por poseer una alta actividad antioxidante, superior a la de otras solanáceas, como la berenjena y una de sus especies relacionadas (*S. macrocarpon*), el pimiento (*Capsicum annuum* L.), el tomate y otras especies comunes (Lister *et al.*, 2005; Stangeland *et al.*, 2009), que los hace interesantes en relación con la salud y la tecnología de alimentos (Mertz *et al.*, 2009). Se ha determinado que contienen compuestos fenólicos, especialmente flavonoides, como las antocianinas, flavonas y flavonoles (De Rosso & Mercadante, 2007; Mei-Chun *et al.*, 2009; Mertz *et al.*, 2009; Ordoñez *et al.*, 2010; entre otros) y carotenoides (Vasco *et al.*, 2009; Mertz *et al.*, 2010; Ordoñez *et al.*, 2010; entre otros). En este sentido, los productos y subproductos de los frutos del tomate de árbol (considerando la pulpa, el zumo, la piel y la semilla) podrían generar un importante valor agregado destacando un potencial interés nutricional, medicinal, industrial y económico (Belén-Camacho *et al.*, 2004; Ordoñez *et al.*, 2010).

Los compuestos fenólicos son conocidos por su actividad antioxidante y su rol benéfico para la salud humana (reducción de riesgos de contraer cáncer, prevención de enfermedades cardiovasculares y otras patologías) (Hollman *et al.*, 1996; Bravo, 1998). Los frutos de tomate de árbol representan un recurso potencial de compuestos antioxidantes como productos nutracéuticos y alimentos funcionales (Mei-Chun *et al.*, 2009; Hurtado *et al.*, 2009; Ordoñez *et al.*, 2010). Según Mei-Chun *et al.* (2009) el principal componente antioxidante presente en los frutos de tomate de árbol lo constituyen los compuestos polifenólicos, especialmente las antocianinas, cuyo consumo protege al organismo contra las lipoproteínas de baja densidad (conocidas por sus siglas en inglés como LDL) que son las principales productoras de la aterosclerosis; así como también de enfermedades neurodegenerativas, protegiendo a las células neuronales PC12 del estrés oxidativo.

**Tabla 1.1 Composición química de los frutos de tomate de árbol, según valores recopilados de varios autores (Morton, 1982; Pileri, 1989; Rathore, 1992; Romero-Rodríguez *et al.*, 1994; Boyes & Strübi, 1997; Lister *et al.*, 2005; Mwithiga *et al.*, 2007; Pantoja *et al.*, 2009 y Vasco *et al.*, 2009). Valores determinados en 100 g de muestra**

Características	Unidad de medida	Rango
Contenido de sólidos solubles	°Brix	9,4 - 13,5
pH	U	3,2 - 3,85
Acidez total (expresada en ácido málico)	g	1,0 - 2,4
Humedad	g	81,0 - 89,0
Proteínas	g	1,5 - 2,5
Grasa	g	0,05 - 1,28
Glucosa	g	0,45 - 1,22
Fructosa	g	0,61 - 1,5
Sacarosa	g	0,3 - 2,97
Fibra	g	1,4 - 6,0
Ácido cítrico	g	1,27 - 1,8
Ácido málico	g	0,05 - 0,15
Ácido quínico	g	0,4 - 0,8
Ceniza	g	0,05 - 1,5
Vitamina A	I.U.	540 - 2475
Vitamina B	mg	0,20 - 0,58
Vitamina C (ácido ascórbico)	mg	19,7 - 57,8
Vitamina E	mg	1,8 - 3,5
Sodio	mg	0,6 - 8,9
Potasio	mg	290 - 495
Calcio	mg	3,9 - 14,5
Magnesio	mg	19,7 - 24,0
Hierro	mg	0,32 - 0,94
Cobre	mg	0,05 - 0,2
Zinc	mg	0,1 - 0,2
Magnesio	mg	19,7 - 24,0
Fósforo	mg	32,0 - 40,2

Por otra parte, en otro estudio (Ordoñez *et al.*, 2010) relacionado con la evaluación del potencial antioxidante de la fruta de esta especie con diferentes alternativas de preparación (con y sin tratamientos térmicos: cocción, maceración, zumo y pulpa de fruta fresca) se han identificado diversas propiedades relacionadas principalmente con la obtención de alimentos funcionales, determinando además que los componentes

responsables de la actividad antioxidante (antocianinas, flavonas y flavonoles) son termoestables, por lo que pueden ser usados en la elaboración de mermeladas y jaleas.

Los frutos de tomate de árbol se caracterizan por presentar un mayor contenido de carotenoides en comparación con la mayor parte de frutos tropicales (Kimura *et al.*, 1991; Rodríguez-Amaya, 1999; Breithaupt & Bamedi, 2001; Mertz *et al.*, 2009), siendo una importante alternativa especialmente en la nutrición y salud debido a la capacidad antioxidante de los carotenoides. En esta especie los carotenoides están presentes principalmente en forma esterificada, siendo los ésteres de  $\beta$ -criptoxantina,  $\beta$ -caroteno, y  $\beta$ -criptoxantina los más importantes (De Rosso & Mercadante, 2007; Mertz *et al.*, 2009, 2010).

La mayoría de los estudios relacionados con el contenido de fenoles y carotenoides en el tomate de árbol han sido realizados con una sola variedad y pocos se han referido a una comparación entre grupos varietales; con respecto a estos últimos, de acuerdo con Mertz *et al.* (2009) y Vasco *et al.* (2009), no se han encontrado diferencias significativas entre cultivares en el contenido tanto de fenoles como de carotenoides. Sin embargo, según Lister *et al.* (2005) los frutos de piel roja muestran una mayor actividad antioxidante que los frutos de piel amarilla, aunque ambos tipos presentan una actividad antioxidante superior a la de muchas otras especies comunes.

Otra alternativa para el aprovechamiento del tomate de árbol son las semillas; su contenido graso (Belén-Camacho *et al.*, 2004) evidencia su potencial como materia prima oleaginosa y por tanto como una oportunidad para la industria aceitera, generando un valor agregado en el residuo proveniente del procesamiento del fruto. Las características físico-químicas y el perfil de ácidos grasos del aceite de esta especie no están influidos por la variedad (amarilla ó roja), por lo que la procedencia varietal de la materia prima empleada no sería de importancia a este respecto (Belén-Camacho *et al.*, 2004). Por otra parte, se ha encontrado que los frutos contienen una proteína (invertasa) inhibidora de ciertos hongos y bacterias, la cual impide el crecimiento de hongos xilófagos y fitopatógenos, así como también de bacterias fitopatógenas; el contenido de invertasa en los frutos del tomate de árbol involucraría un posible mecanismo de defensa de la planta y un potencial aprovechamiento para el control biológico de hongos y bacterias fitopatógenas (Ordoñez *et al.*, 2006).

## Introducción

En lo que respecta a los alcaloides, su presencia en los frutos de tomate de árbol, como en el resto de especies del grupo *Cyphomandra* (Bohs, 1989a), aún no está confirmada. En un estudio realizado con muestras de raíces frescas y secas de la planta de tomate de árbol se han encontrado diferentes tipos de alcaloides, como solanina, solacaproina, tropinona y cuscohigrina, principalmente, y eventualmente atropina, hiosciamina y tigloidina (Evans *et al.*, 1972). Así mismo, Eich (2008) se refiere a algunos estudios en los que se han encontrado ciertos tipos de alcaloides (como pirrolidina, tropano, calystegine, solasodina y tomatidenol) en esta misma especie, pero sin especificar en qué parte de la planta, y reportando además la presencia de solanina en las raíces. Pero un reciente trabajo publicado por Vasco *et al.* (2009) ha estudiado la presencia de alcaloides, tanto en la piel como en la pulpa de frutos anaranjados y morados del tomate de árbol, sin haber podido encontrarlos.

### 1.3.8. Fitotecnia

#### a) Propagación

Las plantas de tomate de árbol pueden ser propagadas en forma sexual (utilización de semillas) o asexual (por estacas e injertos), siendo la reproducción por semillas la forma más utilizada (Morton, 1982; Richardson & Patterson, 1993; Santillán, 2001). La elección del tipo de propagación estará en función de varios factores a considerar, como el conocimiento de la técnica, las condiciones ambientales del sitio en el que se establecerá el cultivo e implicación económica, entre otros; en todos los casos, es fundamental que las plantas propagadas permanezcan bajo condiciones adecuadas de vivero hasta su posterior trasplante (Feicán *et al.*, 1999; Santillán, 2001).

Las plantas propagadas a través de semillas crecen hasta una altura comprendida entre 1,5 y 1,8 m (distancia desde la base del tallo hasta el inicio de su ramificación), obteniéndose plantas altas, por lo que su establecimiento es más recomendable para zonas con baja incidencia del viento. La reproducción sexual del tomate de árbol permite obtener plantas con buena uniformidad, pero sin embargo, si la semilla procede de plantaciones en las que coexisten diversas variedades, lo que comúnmente sucede en Ecuador, es posible que se hayan presentado cruzamientos entre ellas y producirse heterocigosidad (Morton, 1982; Pringle & Murray, 1991b;

Prohens & Nuez, 2000; Santillán, 2001). Son plantas con raíces relativamente profundas y ramificadas; aunque su desarrollo dependerá de las condiciones físicas del suelo donde se cultivan (León *et al.*, 2004). Por otra parte, las plantas propagadas por estacas son más precoces en ramificarse, produciendo plantas más arbustivas y de menor altura que las obtenidas mediante semillas, lo que las hace más adecuadas para zonas expuestas a una mayor incidencia del viento (Morton, 1982). Las raíces de estas plantas son muy superficiales, lo que por otra parte tiene como desventaja un mayor riesgo de caída de las plantas (Martínez, 2001; León *et al.*, 2004).

Para la propagación por semillas es necesario efectuar una selección muy detallada de las plantas de las cuales se obtendrá el material, tomando en cuenta las características del tipo de cultivar a establecer. Las plantas madre deben ser vigorosas, con una buena formación arquitectónica, libres de insectos y enfermedades; mientras que sus frutos deberán ser de un buen tamaño, de coloración uniforme y completamente maduros. De los frutos seleccionados se extraen las semillas y se procede a lavarlas de manera que se elimine completamente todo el mucílago que las cubre; luego deben secarse a la sombra. La siembra puede efectuarse en semilleros o en bolsas de polietileno (aproximadamente de 7 x 15 cm); en ambos casos el sustrato puede elaborarse mezclando suelo orgánico con arena (relación 2:1) u otro material que permita obtener una estructura suelta para facilitar la germinación y el posterior crecimiento de las plántulas. Es importante que antes de la siembra el sustrato sea desinfectado, existiendo algunas alternativas como la solarización, vaporización y la aplicación de productos químicos. Con estos sistemas las plantas se suelen trasplantar cuando alcanzan una altura superior a 25 cm (Santillán, 2001; León *et al.*, 2004).

Por lo que respecta a la propagación por estacas el material vegetal más adecuado es el procedente de los chupones basales o aéreos; las estacas deben tener una longitud aproximada de 30 cm y contener varias yemas (Santillán, 2001). Las estacas deben provenir de plantas sanas, ya que si están infectadas por virus, las plantas procedentes de este material también lo estarán. Se pondrán en un sustrato de vermiculita o turba, siendo importante la aplicación de auxinas para mejorar el enraizamiento. Con este sistema las plantas pueden permanecer en el vivero hasta que alcancen una altura de 0,7 a 1,0 m (Cazar *et al.*, 1989; Richardson & Patterson, 1993).

## Introducción

Otra de las alternativas para la obtención de plantas de tomate de árbol es la propagación por injerto. Según Santillán (2001) se ha observado que el tomate de árbol es compatible con varios portainjertos provenientes de especies de su mismo grupo *Cyphomandra* (18 especies de *Solanum*) que son tolerantes al ataque de nematodos. El uso de este tipo de propagación puede influir significativamente en la mayor precocidad de las plantas, en el incremento de la producción, y en la menor incidencia de nematodos. Los tipos de injerto más recomendados para el tomate de árbol son los de púa terminal y lateral; el de púa terminal es el más recomendado debido a que las plantas tienen un crecimiento más erecto. Además, es importante mencionar que los injertos se deben realizar con ramillas jóvenes ya que en este tipo de material existe una mayor concentración de giberelinas, ayudando a un mejor desarrollo de la planta (Santillán, 2001; León & Viteri, 2003; León *et al.*, 2004).

### **b) Establecimiento de la plantación**

Las plantaciones comerciales de tomate de árbol generalmente se mantienen entre tres y ocho años (Carnevali, 1974; Clark & Richardson, 2002; León *et al.*, 2004), por lo que es importante que antes de su establecimiento se realice una adecuada selección del terreno y una buena preparación del suelo, buscando obtener las mejores condiciones para el desarrollo de las plantas (Santillán, 2001).

El terreno en el que se establezca el cultivo debe tener un adecuado drenaje, debido a que las plantas de esta especie son muy susceptibles al exceso de humedad en el suelo (Morton, 1982; Duke & duCellier, 1993); si el suelo es arcilloso es aconsejable preparar montículos (camellones) de 0,5 a 0,75 m, sobre los que serán ubicadas las plantas (Sale, 1983a; León *et al.*, 2004). Se deben evitar terrenos que anteriormente hayan sido ocupados por cultivos con problemas fitosanitarios radicales, similares a los del tomate de árbol, como es el caso de otras solanáceas como el tomate y la naranjilla (*S. quitoense*), y de otras especies como las judías (*Phaseolus vulgaris* L.) y el babaco (*Carica pentagona* Heil.) que son muy susceptibles a la incidencia de nematodos, principalmente del género *Meloidogyne* (Cooper & Grandison, 1987; Knighth, 2001; León *et al.*, 2004).

La preparación del suelo dependerá de sus características físicas y de las condiciones topográficas del terreno. En zonas planas o con poca pendiente es necesario eliminar en lo posible la presencia de piedras, montículos, etc.; posteriormente se procede a

afojar el suelo con un arado y luego con un subsolador a una profundidad de al menos 50 cm, con el fin de facilitar el desarrollo radical y la circulación del agua. En caso de que el cultivo se establezca en terrenos con pendiente pronunciada será necesario implementar ciertas prácticas de conservación del suelo, como la plantación en curvas de nivel y las terrazas individuales, con el fin de minimizar los efectos erosivos (Santillán, 2001; León *et al.*, 2004). En algunas comunidades indígenas de los países andinos la preparación del suelo se realiza mediante el uso de “yunta”, que es un sistema de labrar la tierra con dos bueyes (una yunta) a los cual se les acopla un implemento de madera (vertedera) que es arrastrado por el animal.

El tomate de árbol se puede cultivar también bajo condiciones protegidas (invernaderos); sin embargo, su larga permanencia en esta infraestructura (> 5 años) comparada con la de otros cultivos habituales de este tipo de explotación (< 1 año), y ciertos problemas que suelen presentarse bajo dichas condiciones, como el bajo porcentaje del cuajado de los frutos y la incidencia de plagas como la mosca blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum*), hacen que la producción de tomate de árbol en invernaderos sea menos conveniente y por ende menos frecuente (Bohs, 1989a; Blank *et al.*, 1991). En los países andinos el cultivo de tomate de árbol en condiciones protegidas no es de relevancia, debido a que las condiciones climáticas son óptimas para la especie, siendo Colombia el único país de la región en el que ha existido un mayor interés por este tipo de explotación (Santillán, 2001). Otro país que produce tomate de árbol en invernadero es Nueva Zelanda, aunque su superficie es muy limitada en comparación con la del sistema convencional (Bohs, 1989a; Osorio, 1992; Fisher *et al.*, 1994; NZ Tamarillo Export Council Ltd, 2010). La Figura 1.5 muestra un cultivo de tomate de árbol en un ensayo en Valencia, España.

### **c) Marcos de plantación**

El marco de plantación dependerá principalmente del tipo de planta (propagada por semilla, estaca o injerto), el cultivar, las condiciones ambientales y la clase de maquinaria a utilizar, entre otros aspectos. En la región andina se utilizan marcos de plantación muy densos con aproximadamente 5.000 plantas por hectárea, debido principalmente a que en estas zonas las prácticas culturales no están mecanizadas, mientras que en Nueva Zelanda, donde existe un mayor grado de mecanización, se utilizan densidades comprendidas entre 1.300 y 2.200 plantas por hectárea (Carnevali, 1974; León *et al.*, 2004). Los marcos más usados en Ecuador son: 1,5 x 1,5 m (4.444

## Introducción

plantas/ha), 2,0 x 2,0 m (2.500 plantas/ha), 1,8 x 1,8 m (3.086 plantas/ha) y 1,5 x 2,0 m (3.333 plantas/ha); siendo 1,5 x 2,0 m y 2,0 x 2,0 m, los mas recomendados (Morales, 2001; León *et al.*, 2004). En Nueva Zelanda se recomiendan distancias de 1,0 a 1,5 m entre plantas y 4,5 a 5,0 m entre filas; otra alternativa es la disposición de filas dobles con marcos de 2,5 a 3,0 m entre filas y 2,5 m entre plantas, y 4,25 m entre filas dobles. (Morton, 1982; Sale, 1983a; Osorio, 1992).



**Figura 1.5. Cultivo de tomate de árbol bajo condiciones protegidas (imagen cedida por J. Prohens)**

### **d) Apertura de hoyos**

En la zona andina es común efectuar la apertura de hoyos donde se establecerán las plantas, con el objetivo de aplicar dentro de cada hoyo un sustrato con fertilizante que permita mejorar las condiciones de desarrollo del sistema radical. Generalmente se recomienda realizar hoyos de 30 x 30 x 30 cm; en suelos compactados o en áreas de altas precipitaciones los hoyos deberán ser de mayor tamaño para evitar la atrofia radical en el primer caso y para drenar el exceso de humedad en el segundo caso. El sustrato a ser incorporado en los hoyos puede contener una mezcla de humus, compost o estiércoles con un adecuado grado de descomposición, en cantidades que varían de 2 a 4 kg por hoyo. Es importante adicionar fertilizante, para lo cual es aconsejable aplicar el 50% de los requerimientos anuales de fósforo y el 30% de los de potasio, según el programa de fertilización que se defina (León *et al.*, 2004).

### **e) Trasplante**

Antes de realizar el trasplante se debe efectuar una selección de las plantas propagadas, eligiendo aquellas que estén bien formadas, con buen vigor y que no presenten problemas fitosanitarios. Es aconsejable que estas plantas se rieguen un día antes para que mejoren su nivel de turgencia y el sustrato en el que se encuentra la planta permanezca húmedo; con ello se evitan problemas de deshidratación durante los primeros días en el campo (Kirkham, 2005). Para el trasplante de material previamente sembrado en bolsas de polietileno, se elimina la bolsa intentando no dañar la estructura del cepellón y a continuación se coloca la planta en el hoyo antes preparado. En el caso de plantas injertadas, en el momento de plantarlas se debe tener cuidado de no cubrir el injerto con tierra; es necesario colocar un tutor para dar mejor soporte a la planta (León *et al.*, 2004). Una vez que se ha colocado la planta en el hoyo se rellenan los espacios con el sustrato antes preparado y se apisona para eliminar espacios de aire; finalmente se riega (Santillán, 2001; León *et al.*, 2004).

### **f) Fertilización**

La planta de tomate de árbol tiene un crecimiento acelerado a lo largo del primer año dentro del cual durante los cinco a siete primeros meses existe un importante desarrollo vegetativo, especialmente en la altura de la planta y en la formación de grandes hojas, por lo que en esta etapa son importantes los aportes de nitrógeno, fósforo, calcio y micro-elementos (León *et al.*, 2004). Según Richardson & Patterson (1993), este desarrollo muy activo es característico en la fase juvenil de las plantas de esta especie, que durante el primer año el tallo forma aproximadamente 30 nudos. Posteriormente, durante el resto del primer año el desarrollo de la planta está más relacionado con la reproducción (Clark & Richardson, 2002); la planta entra en un estado de equilibrio productivo-vegetativo debido a que se inicia la floración: las hojas son más abundantes pero de menor tamaño y las ramas mantienen una alta producción de inflorescencias y frutos; en este periodo se deben aplicar cantidades crecientes de nitrógeno, potasio, y magnesio, principalmente (Feicán *et al.*, 1999; Santillán, 2001; León *et al.*, 2004). Durante el segundo año la planta presenta un estado más productivo, especialmente durante los ocho primeros meses, pero también en los cuatro restantes; en este periodo se deben estabilizar las cantidades de nutrientes aportando fórmulas completas en que predominen principalmente el potasio y el nitrógeno. En general, el desarrollo activo del tomate de árbol demanda grandes

## Introducción

cantidades de nutrientes, por lo que los aportes de fertilizantes deben tener lugar de forma periódica durante todos sus años de producción (Richardson & Dawson, 1994; Feicán *et al.*, 1999; León *et al.*, 2004).

Como en todo cultivo, para que la fertilización del tomate de árbol esté de acuerdo con sus requerimientos nutricionales se debe conocer la cantidad de nutrientes que su cultivo extrae del suelo para producir una cierta cantidad de fruta, de tal forma que sirva como referencia de la cantidad mínima de fertilizante a aportar. Según Feicán *et al.* (1999) un cultivo de tomate de árbol con rendimiento medio de 60 t/ha de fruta, extrae aproximadamente las siguientes cantidades: 312 kg/ha/año de N, 40 kg/ha de P, 385 kg/ha/año de K, 188 kg/ha/año de Ca, 60 kg/ha/año de Mg y 0,36 kg/ha/año de Zn. La aplicación de fertilizantes dependerá además de las condiciones químicas y físicas del suelo, por lo que es importante disponer del respectivo análisis para determinar las cantidades necesarias de fertilizante. En Ecuador, la aplicación de fertilizantes en el cultivo de tomate de árbol se realiza de acuerdo con los rangos expuestos en la Tabla 1.2, considerando que los fertilizantes deberán fraccionarse durante el año y aplicarse de forma localizada alrededor de cada planta (Feicán *et al.*, 1999; León *et al.*, 2004).

De acuerdo con varios autores (Carnevali, 1974; Sale, 1983a; Pileri, 1989 Richardson & Dawson, 1994), en Nueva Zelanda la fertilización anual para el cultivo de tomate de árbol (para producir 16 t/ha) comprende 100 - 170 kg/ha de N, 35 - 55 kg/ha de P y 50 - 190 kg/ha de K; el fósforo y el potasio se suministran al inicio de la estación primaveral, mientras que el nitrógeno se fracciona en varias aportaciones.

**Tabla 1.2. Recomendaciones de fertilización para el cultivo de tomate de árbol según el nivel de interpretación del respectivo análisis de suelo (Feicán *et al.*, 1999; León *et al.*, 2004)**

Nivel de interpretación	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
	kg/ha/año			
Bajo	300 - 400	115 - 140	350 - 450	40 - 50
Medio	200 - 300	90 - 115	250 - 350	30 - 40
Alto	100 - 200	65 - 90	150 - 250	20 - 30

### **g) Sistemas de conducción y podas**

La conducción de la planta dependerá principalmente de las condiciones ambientales en las que se establezca el cultivo, así como también de la forma en que hayan sido propagadas las plantas (Prohens & Nuez, 2000). En la zona andina la conducción de las plantas de tomate de árbol está enfocada principalmente a reducir el tamaño de la planta y fortalecer el vigor de los tallos, sobre todo en zonas de alta nubosidad donde las plantas tienden a alargarse excesivamente por etiolación; esta práctica consiste en despuntar la yema terminal cuando la planta ha alcanzado entre 50 y 60 cm de altura, provocando el brote de varias yemas; se deberán seleccionar tres brotes para que posteriormente formen la copa (León *et al.*, 2004). Otro aspecto importante a considerar es la forma en que ha sido propagado el material vegetal. Como se ha manifestado anteriormente, las plantas obtenidas por semillas se caracterizan por ser más altas, por lo que la yema terminal debe ser podada cuando la planta haya alcanzado una altura adecuada (generalmente de 1,5 a 1,8 m), mientras que las plantas propagadas por estacas suelen ser de menor altura pero con mayor ramificación, por lo que sus ramas inferiores deben ser eliminadas con el fin de formar plantas con copas suficientemente altas, aunque considerando la posible incidencia del viento y la facilidad para la recolección de los frutos (Carnevali, 1974; Morton, 1982; Prohens & Nuez, 2000).

Cuando las plantas son adultas se deben realizar podas de producción, acortando las ramas laterales que produzcan flores y frutos de mala calidad, así como eliminando ramas viejas, muertas o enfermas; esto provocará la brotación de nuevas ramas más vigorosas, que consecuentemente producirán nuevos frutos. Además, es necesario podar los chupones con el fin de favorecer al vigor del tallo principal (Prohens & Nuez, 2000; Santillán, 2001; León *et al.*, 2004). Es importante considerar que si la poda es moderada el rebrote es paulatino, incrementándose la producción de frutos de tamaño mediano, mientras que si se efectúa una poda de mayor intensidad se obtendrá un rebrote vigoroso con un menor número de frutos pero de mayor tamaño (Carnevali, 1974; Sale, 1983a; Richardson & Patterson, 1993). En el caso de los cultivos establecidos en zonas con climas de cuatro estaciones diferenciadas la poda suele realizarse al inicio de la primavera o antes de otoño (Sale, 1983a). Por otra parte, en las plantaciones bajo condiciones protegidas las plantas deben podarse frecuentemente para prevenir un crecimiento vegetativo excesivo y optimizar el espacio (Prohens & Nuez, 2000).

## **h) Soporte de ramas**

Cuando la planta está por fructificar es necesario tomar medidas preventivas para evitar el desgarramiento y rotura de las ramas secundarias que ocasiona el peso de los frutos; dicho problema se incrementa con la presencia de vientos fuertes. Se deben amarrar las ramas entre sí, utilizando tiras de tela ó plástico que no causen lesiones a la planta (Santillán, 2001; León *et al.*, 2004). Las plantas propagadas por estacas o por injerto se pueden fijar a un tutor desde el inicio de su desarrollo (León *et al.*, 2004).

## **i) Riego**

Debido a que el sistema radical del tomate de árbol es muy superficial, el cultivo no tolera la presencia de sequías prolongadas, requiriendo un aporte frecuente de agua para alcanzar producciones elevadas (National Research Council, 1989). Durante las épocas secas la falta de humedad en el terreno puede influir negativamente en el desarrollo de la planta, en el tamaño del fruto y por ende en su rendimiento; sin embargo, se deben evitar los encharcamientos ya que pueden causar la muerte de las plantas (Prohens & Nuez, 2000; Kirkham, 2005). Según Sánchez *et al.* (1996), los requerimientos hídricos del tomate de árbol varían entre 1.500 y 2.000 mm/año; los valles subtropicales de los países andinos por lo general tienen precipitaciones inferiores a 1.000 mm/año, por lo que en estas zonas son necesarios los riegos complementarios. Sin embargo dichos valores representan un requerimiento hídrico estimado ya que no existen datos publicados que indiquen el coeficiente de cultivo (Kc) específico para el tomate de árbol, lo que dificulta determinar una adecuada valoración de sus necesidades hídricas y de riego, así como el respectivo diseño e implementación de los sistemas de riego (Judd & McAneney, 1981; Avidan, 1994).

El tipo de riego a usarse en un cultivo depende principalmente de las características morfo-agronómicas de la especie cultivada y de las condiciones ambientales en que se ha establecido (temperatura, humedad relativa, pluviometría, intensidad y dirección del viento, condiciones fisicoquímicas del suelo, etc.) (Avidan, 1994; Kirkham, 2005). En lo que respecta al tomate de árbol tampoco se ha profundizado en determinar la forma de riego más adecuada para este cultivo, siendo el sistema por gravedad el más común en la zona andina (Sánchez *et al.*, 1996). Otra alternativa son los sistemas a presión, de los cuales el riego localizado (goteo o microaspersión) sería más eficiente en la producción del tomate de árbol, debido a que demanda un menor volumen de

agua, causa un menor impacto erosivo, no produce encharcamiento y no incrementa la humedad relativa (como la aspersión), lo cual favorecería la presencia de enfermedades (Santillán, 2001). Por lo que respecta a otras zonas que disponen de una mayor tecnificación en el cultivo de tomate de árbol, como Nueva Zelanda, el sistema de riego más utilizado es el goteo (Judd & McAneney, 1981).

#### **j) Labores culturales**

Considerando que el sistema radical de esta planta es muy superficial, no es conveniente efectuar labores profundas, debiéndose tener cuidado principalmente en la zona cercana a su base (National Research Council, 1989; León *et al.*, 2004). El terreno puede mantenerse completamente libre de malas hierbas; sin embargo, en zonas con pendientes pronunciadas, topografía irregular y precipitaciones frecuentes (características de la zona andina) es recomendable mantener una cubierta vegetal entre las plantas, debiéndose controlar su desarrollo con el fin de evitar la competencia con el cultivo (Carnevali, 1974). En países como Ecuador y Colombia es común la práctica del aporcado, la cual presenta algunos beneficios: controla las malas hierbas, da mayor fijación a la planta en el suelo, controla la humedad en el suelo y corta el ciclo de desarrollo de ciertos patógenos e insectos que inciden sobre la planta, entre otros (Santillán, 2001; León *et al.*, 2004). Otra alternativa es la incorporación de residuos (de las hierbas eliminadas) alrededor de las plantas, técnica conocida como acolchado vegetal o *mulching*; permitiendo conservar la humedad del suelo, controlar la presencia de malas hierbas e incorporar nutrientes al suelo debido a la descomposición de los residuos vegetales (National Research Council, 1989; Lipecki *et al.*, 2004).

#### **k) Insectos plaga**

El tomate de árbol no se ve afectado generalmente de forma grave por insectos fitófagos (Sale, 1983b); sin embargo, es importante tomar medidas de prevención con el fin de evitar que este tipo de plagas sobrepasen el umbral económico en el cultivo. El control de plagas que inciden sobre el cultivo de tomate de árbol puede efectuarse con los tratamientos habituales en otras solanáceas como el tomate, pimiento, etc.

## Introducción

(Nuez, 1995; Nuez *et al.*, 1996). A continuación se hace una descripción general de los principales insectos-plaga que inciden sobre el tomate de árbol.

### - **Áfidos, *Myzus sp.* (Orden: *Hemiptera*, Familia: *Aphididae*)**

Las plantas de tomate de árbol son atacadas por diferentes especies de áfidos o pulgones, en especial *Myzus persicae*, que se consideran el principal insecto plaga del cultivo, y a más de causar daños directos sobre la planta son vectores de ciertos tipos de virus fitopatógenos (Mossop, 1982, Prohens & Nuez, 2000, Lester *et al.*, 2003). Los áfidos en el tomate de árbol están en brotes terminales, hojas tiernas (principalmente en el envés) y flores; su actividad reproductiva es mayor durante los períodos de sequía y los principales daños que causan son: reducción del crecimiento vegetativo, deformación y escaso crecimiento de brotes, enrollamiento de hojas, presencia de negrilla o fumagina (como consecuencia de las excretas del insecto sobre el cual se desarrolla este hongo saprófito) y transmisión de virus (Raman, 1985; León *et al.*, 1994; Santillán, 2001).

### - **Chinche, *Leptoglossus zonatus* (Orden: *Hemiptera*, Familia: *Coreidae*)**

La chinche o chinchorro es un insecto de color café oscuro (casi negro) con una franja amarilla en la parte anterior, de aproximadamente 2 cm de longitud, con estilete largo y ligeramente encorvado; sus alas no están desarrolladas en su totalidad, lo que le impide volar (Santillán *et al.*, 2001). Se alimenta de los frutos del tomate de árbol, causando el endurecimiento de ciertas zonas debido a una toxina de su saliva; otro de los síntomas en el fruto es la presencia de manchas oscuras rodeadas de un halo rojizo. Por otra parte, la chinche es vector de la antracnosis (causada por *Colletotrichum gloeosporoides*), una de las enfermedades de mayor importancia en el tomate de árbol (Santillán, 2001; Afanador-Kafuri, 2003; León *et al.*, 2004).

### - **Mosca blanca de los invernaderos, *Trialeurodes vaporariorum* (Orden: *Hemiptera*, Familia: *Aleyrodidae*)**

La incidencia de la mosca blanca es más común en cultivos establecidos bajo condiciones protegidas (Hilge, 1996). Las larvas y adultos se alimentan de las hojas del tomate de árbol por succión de su savia, y dejan sus excrementos (de consistencia pegajosa) sobre los diferentes órganos de la planta, creándose un sustrato sobre el que se desarrollan hongos de color negro (negrilla o fumagina) que afectan a casi toda la planta (Sale, 1987; Hilge, 1996; Viscarret & Botto, 1996); la presencia de esta

fumagina incide negativamente en la fotosíntesis y en la calidad de los frutos (Blank *et al.*, 1987). Si esta plaga no es controlada a tiempo puede causar una pérdida significativa de hojas y frutos, disminuyendo la producción del cultivo hasta en un 75% (Blank *et al.*, 1991; Prohens & Nuez, 2000).

Otros insectos que también inciden sobre el cultivo de tomate de árbol son (Morton, 1982; Blank *et al.*, 1983; Sale, 1983b; Duke & duCellier, 1993; Santillán, 2001; León *et al.*, 2004): trips (*Thrips* sp. y *Frankliniella occidentalis*), gusano del tomate (*Neoleucoides elegantis*), orugas verdes (*Chrysodeixis* sp.), mosca de la fruta (*Anastrepha* sp. y *Carpolonchea pendula*), chinche verde (*Nezara viridula*), escarabajos (*Costelytra zealandica*) y gusanos cortadores (*Agrotis* sp.).

## **l) Nematodos**

Pocas especies de nematodos han sido reportadas sobre tomate de árbol; entre ellas *Meloidogyne incognita*, *M. java*, *M. hapla* y *Pratylenchus crenatus* pueden causar daños severos en plantas jóvenes. Las plantas de tomate de árbol atacadas por nematodos, principalmente por *M. incognita*, presentan una severa reducción en su desarrollo, coloración amarillenta del follaje, baja regeneración de brotes, escasa fructificación, producción de frutos de tamaño pequeño, presencia de nodulaciones en raíces y un escaso desarrollo radical (Cooper & Grandinson, 1987; Velasteguí & Fiallos, 1987; Knight, 2001; León *et al.*, 2004). Otra especie de nematodos asociada al tomate de árbol es *Xiphinema diversicaudatum*, la cual interviene como vector del virus del mosaico del arabis (ArMV) (Sale, 1983b). La inoculación de micorrizas arbusculares es una alternativa ecológica importante para la prevención y control de los nematodos que atacan al tomate de árbol, logrando además aportes importantes de fósforo en la rizosfera de la planta, lo que fortalece su sistema radical (Cooper & Grandinson, 1987).

## **m) Enfermedades**

La planta de tomate de árbol es atacada por una serie de enfermedades provocadas principalmente por hongos y virus que afectan a diferentes órganos, reduciendo el crecimiento, la producción, la calidad de la fruta e incluso su supervivencia (Velasteguí

## *Introducción*

& Fiallos, 1987; Velasteguí & Ball, 1991). Las condiciones ambientales donde se desarrolla el cultivo, el genotipo o cultivar seleccionado y las prácticas fitotécnicas en general influirán en la incidencia, severidad y distribución de las enfermedades (Santillán, 2001; León *et al.*, 2004). A continuación se indican las principales enfermedades que inciden sobre el cultivo de tomate de árbol, siendo oportuno mencionar que la importancia de cada una de estas depende de la región en que se cultive.

### ***Enfermedades causadas por hongos***

#### **- Antracnosis, por *Colletotrichum gloeosporoides* (División: *Ascomycota*, Familia: *Phyllachoraceae*)**

Varios autores (Velasteguí, 1988; Tamayo, 2001; Afanador-Kafuri *et al.*, 2003) señalan que la antracnosis u “ojo de pollo” es considerada como la enfermedad más importante del tomate de árbol en países como Colombia y Ecuador, debido a su amplia distribución geográfica y por la magnitud de las pérdidas económicas que ocasiona, que pueden llegar al 50 - 100% de la producción. Esta enfermedad también es considerada entre las de mayor importancia en Nueva Zelanda (Fletcher, 1979). En condiciones andinas como las de Ecuador, la enfermedad se presenta generalmente en épocas de lluvia con temperaturas promedio entre 13 y 15 °C y una humedad ambiental de aproximadamente 95% (León *et al.*, 2004).

Los síntomas se presentan principalmente sobre los frutos en todos sus estados de desarrollo, mostrando inicialmente pequeñas lesiones aceitosas que progresivamente se tornan de color pardo o negro con bordes bien definidos, y un polvillo de color rosado en el centro de la lesión que corresponde a la esporulación del hongo. Conforme avanza la enfermedad las lesiones se van uniendo y llegan a cubrir gran parte del fruto, el cual posteriormente se seca y momifica. En las hojas se presentan manchas con anillos concéntricos de color oscuro y bordes definidos (Velasteguí, 1988; Santillán, 2001; Tamayo, 2001; León *et al.*, 2004). Como se ha mencionado anteriormente, las chinches son consideradas vectores de esta enfermedad por lo que debe considerarse su prevención y control.

- **Oídio, por *Oidium* sp. (División: *Ascomycota*, Familia: *Erisiphaceae*)**

Es considerado una de las enfermedades que mayor daño causan sobre el cultivo, siendo la de mayor importancia en Nueva Zelanda (Fletcher, 1979; Bohs, 1989a; Prohens & Nuez, 2000); mientras que en Colombia y Ecuador constituye la segunda enfermedad en importancia económica (Tamayo, 2001). El oídio o cenicilla tiene mayor incidencia en zonas con bajas precipitaciones y con temperaturas comprendidas entre 10 y 25 °C (Velasteguí, 1988). El hongo se manifiesta como una mancha oscura rodeada de ceniza blanca, tanto en el haz como en el envés de las hojas; cuando las lesiones cubren la mayor parte de la lámina foliar ésta se torna clorótica, envejece prematuramente y cae, causando una reducción significativa del área foliar. Otros órganos afectados son los pedicelos, que también caen produciendo disminución del número de frutos (Sale, 1983b; Velasteguí, 1988; Tamayo, 2001).

- **Tizón tardío, mildiu veloso o lancha tardía, por *Phytophthora infestans* (División: *Heterokontophyta*, Familia: *Pythiaceae*)**

El tizón tardío, conocido también como mildiu veloso o lancha tardía, es una de las enfermedades más limitantes del tomate de árbol para las zonas andinas de mayor elevación, donde el cultivo se desarrolla con condiciones de alta humedad y temperaturas comprendidas entre 10 y 24°C (Santillán, 2001; Mesa *et al.*, 2008). Este patógeno tiene su incidencia principalmente en las hojas formando manchas húmedas de forma circular y de color café o negro, sobre las que se forma un polvillo blanco que afecta a gran parte de las hojas, las cuales se desprenden produciéndose una gran defoliación; en las ramas y tallos produce manchas negras de consistencia acuosa que destruyen la corteza y los tejidos conductores, afectando también a las flores y frutos en formación provocándoles pudrición y su posterior caída (Velasteguí, 1988; Santillán, 2001; Mesa *et al.*, 2008).

- **Esclerotiniosis, por *Sclerotinia sclerotiorum* (División: *Ascomycota*, Familia: *Sclerotiniaceae*)**

Esta enfermedad, conocida también como moho blanco, tiene mayor incidencia en condiciones de bajas temperaturas y alta humedad relativa (Santillán, 2001). El síntoma se observa principalmente en el tronco y en las ramas en forma de lesiones secas de color café claro en cuya superficie se observa un micelio algodonoso de color blanco; el hongo invade los tallos formando lesiones húmedas, luego se produce una pudrición seca quedando tallos y ramas huecos, y observándose en su parte interior

## *Introducción*

un moho blanco y unos cuerpos de color negro conocidos como esclerocios. Las hojas se vuelven amarillentas y mueren, provocando una gran defoliación (Velasteguí & Ball, 1991; Santillán, 2001).

A más de estas enfermedades fúngicas existen otras, que se consideran de menor incidencia en la producción. Entre ellas se pueden mencionar la alternaria o tizón temprano, producida por el hongo *Alternaria* sp. (Velasteguí, 1988; Santillán, 2001), el chancro bacteriano, causado por *Corynebacterium michiganense*, la marchitez bacteriana, producida por *Pseudomonas syringae* y *P. solanacearum*, y los trastornos causados por la bacteria del suelo *Agrobacterium* sp. (Carnevali, 1974; Sale, 1983b; Velasteguí, 1988; Santillán, 2001).

### ***Enfermedades causadas por virus***

El tomate de árbol es susceptible a varios virus que no solo afectan al vigor de la planta sino que también inciden negativamente en la apariencia de los frutos, lo que perjudica su producción y comercialización (Eagles *et al.*, 1994; Cohen *et al.*, 2000). El virus del mosaico del tomate de árbol (Tamarillo Mosaic Virus, TaMV) causa la enfermedad viral de mayor importancia económica en países como Nueva Zelanda, Colombia y Ecuador (Eagles *et al.*, 1994; Cohen *et al.*, 2000; Tamayo, 2001; León *et al.*, 2004). El TaMV es transmitido principalmente por áfidos, se presenta especialmente en plantas jóvenes y sus síntomas son la presencia de moteados cloróticos sobre las hojas, deformación de las hojas y una fuerte decoloración del fruto; no se han reportado especies del género *Solanum* resistentes al TaMV (Eagles *et al.*, 1994; Prohens & Nuez, 2000; Santillán, 2001). Otra virosis de importancia es la mancha aceitosa o bronceado del tomate de árbol, cuyo agente causal es el virus del bronceado del tomate (Tomato Spotted Wilt Virus, TSWV); esta enfermedad produce una clorosis sobre las hojas y luego manchas aceitosas oscuras principalmente en el haz foliar que luego se vuelven necróticas (Santillán, 2001).

Diversos autores (Bohs, 1989a; Eagles *et al.*, 1994; Pliansinchai & Teakle, 1994; Prohens & Nuez, 2000; Santillán, 2001; Tamayo, 2001) indican que se han registrado otros virus que inciden sobre el cultivo de tomate de árbol, ante los cuales la planta muestra cierta resistencia: virus del mosaico aucuba de la patata (Potato Aucuba Mosaic Virus, PAMV), virus del mosaico del pepino (Cucumber Mosaic Virus CMV), virus del mosaico de la alfalfa (Alfalfa Mosaic Virus, AfMV), virus del mosaico de arabis

(Arabis Mosaic Virus, ArMV) y virus de la aspermia del tomate (Tomato Aspermy Virus, TAV).

## **n) Rendimiento, recolección y postcosecha**

### **- Rendimiento**

El tiempo hasta la cosecha y el rendimiento del tomate de árbol dependerán en gran medida de las condiciones ambientales en las que se produzca el cultivo, del material genético utilizado y de la fitotecnia aplicada, entre otros factores. En los países andinos, en zonas con temperaturas óptimas para el cultivo (14 - 20°C) la cosecha se realiza a partir de los 10 a 12 meses después del trasplante, mientras que en las zonas con temperaturas promedio inferiores a 14°C, la cosecha se inicia a partir de los 15 meses después del trasplante (Feicán *et al.*, 1999; Santillán, 2001). Según Rotundo *et al.* (1981), en condiciones mediterráneas como es el caso de Italia, el tomate de árbol empieza a producir a los dos años de la siembra en vivero.

En lo que respecta al rendimiento, en los países andinos un árbol puede llegar a producir entre 20 y 30 kg de fruta cada año, lo que equivaldría a una rendimiento superior a 60 t/ha/año considerando una densidad poblacional de al menos 2.500 plantas/ha (Prohens & Nuez, 2000; Santillán, 2001; León *et al.*, 2004), mientras que en condiciones como las de Nueva Zelanda se obtienen rendimientos de 15 a 17 t/ha/año (National Research Council, 1989; FreshFacts, 2007).

### **- Recolección**

En zonas donde las oscilaciones climáticas anuales no son de importancia, como en la mayor parte de los países andinos, el tomate de árbol fructifica de manera continua, por lo que la recolección es escalonada durante todo el año; en cambio, en países con climas estacionales como los europeos, la fructificación se inicia en primavera y los frutos maduran en otoño-invierno, por lo que su recolección tiene lugar en una sola época del año (Pileri, 1989; Prohens & Nuez, 2000; Santillán, 2001).

El conocimiento sobre el desarrollo en la coloración del fruto es un importante indicador para la planificación de la cosecha del tomate de árbol. Según Pratt & Reid (1976) y Heatherbell *et al.* (1982), en los genotipos con frutos de color rojo o morado el color verde permanece hasta que cesa el crecimiento del fruto, lo cual sucede

## Introducción

alrededor de la decimosexta semana después de la antesis, momento a partir del cual comienzan a mostrar un color violáceo en el extremo apical que posteriormente se extiende sobre todo el fruto; alrededor de la decimonovena semana después de la antesis, el color verde de la base empieza a tornarse amarillo y el aparente color púrpura revela ser rojo. Los frutos amarillos presentan un patrón de cambio de color similar, excepto que la coloración roja es muy leve resultando finalmente en un color anaranjado. Los cambios en la coloración de la piel se deben a la degradación de la clorofila y al incremento en la concentración de antocianinas y carotenos (Pratt & Reid, 1976; Heatherbell *et al.*, 1982).

La recolección de los frutos de tomate de árbol se realiza cuando han alcanzado su color definitivo, pero puede anticiparse cerca de un mes recolectando los frutos en estado pintón (cuando el color verde de la piel está decayendo y el color característico de la madurez está empezando a mostrarse); en este caso los frutos necesitan ser tratados con etileno en postcosecha para que puedan madurar (Prohens *et al.*, 1996). Según León (2002) y León *et al.* (2004), los frutos a cosechar deben presentar aproximadamente un 75% del color característico de la madurez total; a más del color, otros índices de mayor precisión para determinar la madurez del fruto son la firmeza, el contenido de zumo y el contenido de sólidos solubles (El-Zeftawi *et al.*, 1988). Un aspecto importante es que la recolección anticipada disminuye el riesgo de pérdidas por cosecha y daños en planta por roturas de ramas, considerando que el proceso de maduración de los frutos puede durar hasta más de 10 semanas luego de que los frutos hayan alcanzado su tamaño definitivo (Pratt & Reid, 1976; Heatherbell *et al.*, 1982).

Los frutos de tomate de árbol se recolectan en forma manual, conservando el pedicelo unido al fruto para lograr su mejor conservación; para ello, el corte debe realizarse a una distancia de 3,5 a 5 cm de la base del fruto y con una tijera podadora con el fin de no maltratar a la infrutescencia y causar la caída de otros frutos (Carnevali, 1974; León *et al.*, 2004).

### - **Postcosecha: conservación y almacenamiento**

Las condiciones óptimas para el almacenamiento de los frutos de tomate de árbol son de 3,0 a 4,5 °C y entre 90 y 95% de humedad relativa, pudiéndose almacenar entre 12 y 14 semanas bajo estas condiciones. En caso de que se almacenen por debajo de 3,0 °C los frutos sufren daños mecánicos por frío, como el pardeamiento de la piel y la

presencia de pequeñas depresiones en su superficie; mientras que a temperaturas mayores de 4,5 °C los hongos causantes de la marchitez pueden propagarse rápidamente, por lo que las pérdidas por podredumbres aumentan significativamente (Fletcher, 1979; Harman & Patterson, 1982; Prohens *et al.*, 1996). León (2002) señala que si los frutos se cosechan cuando presentan un 75 % del color de la madurez total se pueden almacenar durante 30 días a 7°C y 90% de humedad relativa; bajo estas condiciones las pérdidas de peso no superarían el 5% y el contenido de vitamina C aumentaría con el tiempo de almacenamiento. Por otra parte, si los frutos se empaquetan en bandejas y se envuelven con plástico, se puede reducir la pérdida de humedad de la fruta, lo que permite mejorar las condiciones de conservación y el tiempo de almacenamiento (Carnevali, 1974).

Las podredumbres fúngicas son la principal causa de pérdidas del producto en la postcosecha de esta especie; los microorganismos responsables son especialmente: *Colletotrichum acutatum*, *C. gloeosporioides*, *Diaporthe phaseolarum*, *Phoma exigua* y *Phomopsis* sp. (Blank *et al.*, 1987; Yearsley *et al.*, 1987, 1988). Los agentes causantes de la podredumbre amarga, *C. acutatum* y *C. gloeosporioides*, infectan la fruta cuando está aún en la planta pero no se desarrollan hasta que comienza la senescencia durante el almacenamiento (Carnevali, 1974; Yearsley *et al.*, 1988).

### **1.3.9. Tipos varietales y cultivares**

Las plantas de tomate de árbol son muy homogéneas en sus caracteres morfológicos, excepto por la variación de algunos caracteres del fruto como son su tamaño, color y forma (Bohs, 1989a). Debido a la variabilidad de caracteres de los frutos y a la falta de trabajos de investigación que definan una estructura clara de los tipos varietales, existen diversas denominaciones con las que se conocen los grupos de cultivares de tomate de árbol, por lo que se pueden generar confusiones al momento de referirse a cada uno de ellos. Según varios autores (Morton, 1982; Richardson & Patterson, 1993; Prohens & Nuez, 2000; Santillán, 2001), en la región andina se conocen al menos tres tipos de frutos diferenciados por el color de la piel en estado maduro: el rojo, el amarillo y el morado (Figura 1.6); a continuación se mencionan las características generales de cada uno de estos según lo expuesto por los autores antes citados.

## Introducción

**Rojo:** Piel de color rojo-anaranjado, a veces con franjas longitudinales de color marrón verdoso no muy intensas; pulpa de color anaranjado. Su forma es ovalada, tiene un peso entre 50 y 80 g y su sabor es más ácido que el de los frutos de tipo amarillo.

**Amarillo:** Piel de color amarillo intenso con franjas verticales poco notorias de color marrón-verdoso; pulpa de color amarillo-anaranjado. La forma es ovalada, tiene un peso aproximado de 50 a 70 g y su sabor es menos ácido que el de los frutos rojos y morados, por lo que son considerados los mejores para la elaboración de conservas.

**Morado:** Se lo conoce también como “tomate de mora”; tiene una piel de color morado intenso con ligeras franjas verticales de color verde y pulpa de color anaranjado, aunque el mucílago es de color morado por lo que el zumo es también morado. El fruto es de forma redonda u ovalada, tiene un peso comprendido entre 60 y 100 g y su sabor es más ácido que el de los frutos amarillos. Este tipo es el más común en las plantaciones de Nueva Zelanda, donde fue obtenido por selección en la década de 1920, por lo que en ciertas regiones de Sudamérica se lo conoce como “neozelandés”.

Según León *et al.* (2004), en Ecuador se distinguen cinco tipos de cultivares que se identifican especialmente por características del fruto en completa madurez fisiológica: color de la piel, color del mucílago que cubre las semillas y tamaño. A continuación se indican los nombres y características (valores medios) del fruto de los grupos de cultivares a los cuales hacen referencia los autores antes mencionados:

**Anaranjado-puntón:** Piel, pulpa y mucílago de color anaranjado. Frutos con una longitud de 6,8 cm, un diámetro de 4,6 cm y unos 75 g de peso.

**Anaranjado-redondo:** Piel, pulpa y mucílago de color anaranjado, similar al tipo anaranjado-puntón, pero menor tamaño y peso que el anterior. La longitud y el diámetro son 5,5 y 4,7 cm, respectivamente, y pesa unos 70 g.

**Anaranjado-gigante:** Piel, pulpa y mucílago de color anaranjado, pero tamaño y peso superiores al resto de tipos anaranjados: 7 cm de longitud, 6 cm de diámetro y unos 120 g de peso.

**Morado-neozelandés:** Piel de color rojo oscuro, pulpa anaranjada y mucílago de color rojo oscuro o morado. Tiene una longitud de 6,4 cm, un diámetro de 4,6 cm y pesa unos 85 g.

**Morado-gigante:** Piel de color rojo oscuro (de igual manera que el morado-neozelandés), pulpa de color anaranjado y mucílago de color rojo oscuro o morado. Presenta una longitud de 8 cm, un diámetro de 5,8 cm y pesa unos 120 g.



**Figura 1.6. Frutos de tres tipos comerciales de tomate de árbol diferenciados por el color de la piel: tipo amarillo (parte superior izquierda), tipo morado (parte superior derecha) y tipo rojo (parte inferior central) (imagen tomada de Prohens & Nuez, 2000)**

Pese a la variabilidad encontrada en los frutos, pocos cultivares han sido desarrollados comercialmente; los productores generalmente seleccionan su propio material vegetal (semillas o estacas), eligiendo principalmente el proveniente de plantas con alto rendimiento y libres de enfermedades (Bohs, 1989a; Prohens & Nuez, 2000). Además, en Ecuador los cultivares de tomate de árbol no se conservan puros debido a la mezcla del material vegetal utilizado en las plantaciones, ya que muchos de los huertos están constituidos por al menos dos cultivares, lo que provoca una polinización cruzada intervarietal; las nuevas plantas que se obtienen de semillas en los huertos con estas características presentan gran variabilidad en el color de los frutos, con una amplia gama de tonalidades entre el anaranjado y el morado (Santillán, 2001; León *et al.*, 2004).

Por otra parte; como resultado de ciertos trabajos de selección y mejoramiento del germoplasma de tomate de árbol (National Research Council, 1989; Mugleston, 1994; Calabrese *et al.*, 1995; Pringle, 2010), internacionalmente se conocen los siguientes cultivares:

**Tipo amarillo:** Goldmine, Inca Gold y Egmont Gold.

**Tipo rojo:** Oratia Red, Solid Gold, Ecuadorian Orange, Red Beam, Andys Sweet Red, Secombes Red, Red Deligth, Red Beau y Sweeten.

**Tipo morado:** Rothamer, Ruby Red, Holmes y Kaitaia

## **1.4. CARACTERIZACIÓN DE RECURSOS FITOGENÉTICOS Y SU APLICACIÓN A TOMATE DE ÁRBOL**

### **1.4.1. Antecedentes, necesidades y objetivos**

La caracterización consiste en establecer los caracteres o descriptores más representativos de un ente animado o inanimado; en el caso de los recursos fitogenéticos tiene principalmente las siguientes finalidades: identificación de la clase o grupo al que corresponda el material a estudiar, estudios de sistemática, análisis de la diversidad genética, gestión de bancos de germoplasma, definición de nuevas variedades, y búsqueda de marcadores de caracteres agronómicos para el manejo y mejoramiento de los cultivos, entre otras, que se engloban en un fin común, que es el aprovechamiento y conservación de los recursos fitogenéticos (González-Andrés 2001; Engels & Visser, 2003; Colin *et al.*, 2010). Históricamente el ser humano ha identificado, conservado y utilizado la variabilidad acumulada por las especies vegetales, que ha sido la base para la supervivencia de las primeras civilizaciones, el desarrollo de la botánica y taxonomía, el descubrimiento de la genética y su aplicabilidad, el desarrollo de la teoría de los centros de origen y el establecimiento de los bancos de germoplasma (Hammer *et al.*, 2003; Hidalgo, 2003).

La población de individuos que conforman una especie vegetal se encuentra en una continua interacción con los factores bióticos y abióticos del medio en que crece, a consecuencia de la cual se produce una adaptación de la información contenida en su genoma de acuerdo con las necesidades de sobrevivir en su entorno cuyo resultado se refleja en la acumulación de la información genética que cada especie va guardando entre los miembros de su población y que se va transmitiendo a las subsiguientes generaciones (Hidalgo, 2003). En este sentido, aunque la población de individuos de una especie comparte características comunes, en cada uno existen

muchas variantes individuales; la suma de todos los individuos con sus respectivas variantes corresponde a la variabilidad genética de una especie, la cual puede o no expresarse a través de caracteres visibles (Kang, 1998; Cubero, 2003; Hidalgo, 2003). La variabilidad mostrada mediante caracteres visibles se denomina fenotípica y abarca caracteres botánicos, morfoagronómicos y evaluativos (los que se expresan como respuesta a factores bióticos y abióticos); la variabilidad que no se expresa en características visibles requiere, para identificarse, el uso de técnicas de laboratorio y de marcadores moleculares (proteínas, isoenzimas y fragmentos de ADN), que además permiten profundizar en el conocimiento de la evolución de la especie, de su variabilidad genética y de su utilización, incluyendo también el mapeo genético de dicha especie (González-Andrés, 2001; Hamer *et al.*, 2003; Hidalgo, 2003; Spooner *et al.*, 2005).

En general, la caracterización de la variabilidad de una especie vegetal busca estimar la diversidad existente en el genoma de la población de sus individuos, que contiene toda la información codificada en forma de genes necesarios tanto para establecer su identidad morfológica como para desarrollar todos los procesos y funciones vitales de su supervivencia (Kang, 1998; Hammer *et al.*, 2003; Hakan, 2009); a este respecto, se estima que las plantas superiores poseen un poco más de 40.000 genes con funciones particulares dentro de la especie, y un buen número de ellos ha creado variantes por efectos evolutivos y del ambiente en que se desarrollan (Hidalgo, 2003).

Como ya se ha mencionado, la variabilidad genética de una especie puede o no expresarse a través de caracteres visibles por lo que es primordial identificar cuál es el nivel de variabilidad que se intenta medir o describir, con el fin de elegir la forma de caracterización y las herramientas o métodos estadísticos adecuados para analizar los datos resultantes (González-Andrés, 2001; Mohammadi & Prasanna, 2003; Hakan, 2009). Para el caso de la variabilidad detectable visualmente, los caracteres o descriptores a estudiar están relacionados con la morfología y la arquitectura de la planta, con el manejo agronómico y de producción de la especie (en el caso de las especies cultivadas), y con la respuesta a diversos factores ambientales (insectos plaga, enfermedades, disponibilidad de agua en el suelo, contenido de minerales, temperatura, humedad relativa y precipitación, entre otros); en general, la evaluación de estos tipos de caracteres se conoce comúnmente como caracterización morfológica, agronómica y evaluativa (González-Andrés, 2001; Hidalgo, 2003; Hakan, 2009). Por otra parte, la variabilidad que no es detectable por simple observación

## Introducción

visual, se describe mediante diferentes tipos de caracteres (Nuez & Carrillo, 2000; González-Andrés, 2001; Hammer *et al.*, 2003; Spooner *et al.*, 2005; Gotor *et al.*, 2008):

- Citológicos.- Se basan en la evaluación del número y características de los cromosomas.
- Bioquímicos.- Se basan en el estudio de productos del metabolismo principal (proteínas totales e isoenzimas, con los sistemas enzimáticos disponibles en considerable cantidad) y secundario (compuestos de bajo peso molecular, como flavonoides, alcaloides, aceites esenciales, etc.).
- Moleculares.- Se basan en el estudio de polimorfismos en la secuencia de ADN, siendo posible acceder a un alto rango de variabilidad que abarca tanto las regiones de ADN codificantes como las que no lo son.

Según varios autores (Kang, 1998; Nuez & Carrillo, 2000; González-Andrés, 2001; Torres & Moreno, 2001; Hidalgo, 2003; Gotor *et al.*, 2008) la caracterización de un germoplasma mediante caracteres morfológicos, agronómicos y moleculares permite cumplir específicamente con los siguientes objetivos:

- Estimar la variabilidad genética del material vegetal en estudio. Para ello es posible incluir uno, varios o todos los niveles posibles de variabilidad (fenotípica y molecular); utilizando en lo posible descriptores previamente definidos (como los publicados por *Bioversity International*, <http://www.bioversityinternational.org/publications>) (Gotor *et al.*, 2008).
- Determinar la representatividad de la colección vegetal y su relación con la variabilidad de la especie en una región geográfica o con la variabilidad total de la especie.
- Establecer la estructura genética, es decir, la forma como se compone el germoplasma evaluado con relación a las variantes, o sus combinaciones, que forman grupos o poblaciones identificables.
- Determinar los porcentajes de duplicidad de accesiones que puedan existir en una misma colección dentro de un banco de germoplasma, o entre colecciones de la misma especie.

- Identificar genes especiales o alelos particulares que pueden ser de carácter individual o formar combinaciones únicas y que se pueden expresar en caracteres visibles (morfológicos o evaluativos). Como ejemplos se citan el estudio de los genes asociados a caracteres cuantitativos (QTLs).
- La protección legal de variedades tradicionales como “variedades de conservación”, la determinación y protección legal de las denominaciones de origen, la relación de la diversidad genética con la distribución geográfica, y las implicaciones en la conservación y mejora genética de una especie.

#### 1.4.2. Uso de descriptores morfológicos y marcadores moleculares

Un carácter o descriptor es una característica o atributo cuya expresión es fácil de medir, registrar o evaluar y que hace referencia a la forma, estructura o comportamiento de una accesión. En este sentido, los descriptores se aplican en la caracterización y evaluación de las accesiones debido a que ayudan a su diferenciación y a expresar el atributo de manera precisa y uniforme, lo que simplifica la clasificación, el almacenamiento, la recuperación y el uso de los respectivos datos (Hidalgo, 2003). Como ya se ha mencionado, el desarrollo y disponibilidad de una lista de descriptores específicos para una especie es una herramienta fundamental para el estudio de sus recursos fitogenéticos; este conjunto de descriptores constituye un sistema internacional estandarizado para la caracterización de dicha especie (Gotor *et al.*, 2008). A este respecto, una alternativa formal para acceder a listados de descriptores útiles en la caracterización vegetal para más de 100 especies vegetales y sus materiales emparentados es la que ofrece *Biodiversity International*<sup>1</sup>

##### a. Descriptores morfológicos

Desde que Linneo estableció el sistema jerárquico de clasificación de los organismos vivos, la morfología ha sido la base de los estudios taxonómicos y de caracterización,

---

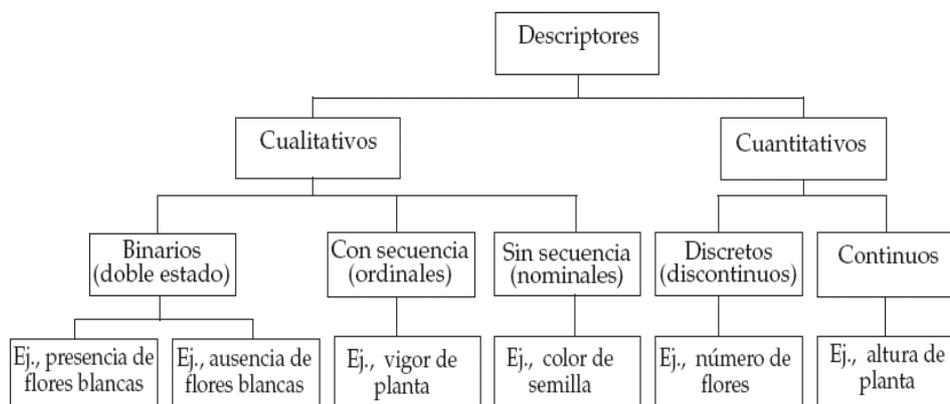
<sup>1</sup> Esta organización fue conocida, desde 1974 hasta 1991, como *International Board for Plant Genetic Resources* (IBPGR); luego, desde 1991 hasta el 2006, se denominó *International Plant Genetic Resources Institute* (IPGRI), y a partir de diciembre del 2006 se llama *Biodiversity International* (Hidalgo, 2003; Gotor *et al.*, 2008).

## Introducción

por lo que los descriptores morfológicos son los más clásicos. Estudian cualquier órgano del individuo, desde el punto de vista cualitativo (datos binarios, ordinales, o nominales, como por ejemplo formas, colores, presencia de estructuras singulares, etc.) o cuantitativo (datos morfométricos continuos o discontinuos) (González-Andrés, 2001). La Figura 1.7 esquematiza los tipos de datos y descriptores morfológicos.

Si bien es cierto que, gracias a los avances logrados en la biología molecular, actualmente se están utilizando descriptores moleculares, la caracterización morfológica sigue siendo una herramienta fundamental en el estudio de los recursos fitogenéticos y se complementa satisfactoriamente con la caracterización molecular (Hillis, 1987; Hidalgo, 2003).

En mejora genética los descriptores morfológicos controlados por un solo *locus* pueden ser usados como marcadores genéticos si su expresión es temprana, reproducible en cualquier ambiente y están estrechamente ligados con un carácter de interés económico (Vázquez *et al.*, 2000).



**Figura 1.7. Tipos de datos y descriptores relacionados con la caracterización morfológica (tomado de Hidalgo, 2003)**

En la actualidad existen diversas herramientas para la evaluación de los descriptores morfológicos que hacen que las mediciones y su registro sean más exactos y versátiles. Los descriptores relacionados con forma, tamaño o color pueden registrarse digitalmente mediante el uso de escáneres exclusivos para órganos vegetales (hojas,

semillas, flores, etc.) o con escáneres corrientes de sobremesa (Bacchetta *et al.*, 2008; Grillo *et al.*, 2010) para la captura de imágenes, o bien mediante colorímetros digitales para la determinación del color de hojas, piel o pulpa de frutos, etc., entre otras opciones. Las mediciones de tamaño, forma e inclusive color se pueden facilitar utilizando herramientas informáticas de análisis de imagen propias de la caracterización, las cuales permiten efectuar un análisis más minucioso y minimizar el error de medición, como los programas *Image Tool 2.0* (UTHSCSA, 2000) y *Tomato Analyzer 3.0* (van der Knaap *et al.*, 2008). A este respecto, diversos trabajos en solanáceas, especialmente en tomate (Talbot *et al.*, 2006; Darrigues *et al.*, 2008; Gonzalo *et al.*, 2009), han utilizado con eficacia estas herramientas informáticas en la caracterización.

#### **b. Descriptores moleculares (marcadores de ADN)**

Los marcadores moleculares permiten visualizar diferencias tangibles entre las secuencias homólogas del ADN de los organismos que resultan de cambios o arreglos entre los pares de bases que lo conforman. Estos marcadores detectan variaciones directas en el ADN y presentan importantes ventajas, como el hecho de ser dominantes o codominantes, de carecer de efectos pleiotrópicos y de no estar sujetos al ambiente (Valadez-Moctezuma, 2005); por otra parte pueden acceder a un rango de variabilidad mucho mayor que el resto de marcadores, por lo que es más fácil encontrar diferencias (García-Mas *et al.*, 2000; Torres & Moreno, 2001). Estas propiedades hacen que los marcadores moleculares sean extremadamente útiles con referencia a otros tipos de descriptores como los morfológicos o bioquímicos (proteínas, isoenzimas) (Valadez-Moctezuma, 2005); sin embargo, como ya se ha mencionado, todos estos tipos de descriptores son complementarios, por lo que su estudio en forma conjunta, (especialmente los morfológicos y los moleculares) resulta la mejor opción (Hillis, 1987).

Hoy en día existen diversos tipos de marcadores basados en ADN, los cuales han sido aplicados eficazmente en la conservación y gestión de los recursos fitogenéticos (Torres & Moreno, 2001). Los primeros marcadores basados en la variabilidad del ADN fueron los RFLPs (*Restriction Fragment Length Polymorphisms*), que fueron desarrollados a principios de la década de 1980 (Botstein *et al.*, 1980; Wyman & White, 1980). Entre los más utilizados están además los RAPDs (*Random Amplified*

## Introducción

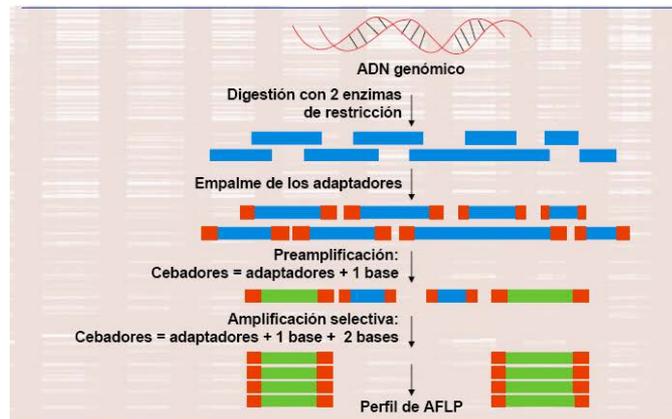
*Polymorphic DNA*), AFLPs (*Amplified Fragment Length Polymorphisms*), y los microsatélites o SSRs (*Simple Sequence Repeats*). La Tabla 1.3 recoge las principales características de los marcadores moleculares más utilizados en los últimos años.

**Tabla 1.3. Características más relevantes de los principales marcadores de ADN (tomado de Spooner *et al.*, 2005)**

Características	Tipos de marcadores			
	RFLPs	RAPDs	SSRs	AFLPs
Abundancia en el genoma	alta	alta	alta	alta
Grado de polimorfismo	medio	medio	alto	medio
Especificidad	si	no	si	no
Codominancia	si	no	si	no
Repetitividad	alta	baja	alta	media-alta
Laboriosidad	alta	baja	baja	media
Costos operacionales	altos	bajos	bajos	medios
Costos de desarrollo	medios-altos	medios-altos	altos	bajos
Cantidad de ADN requerido	alta	baja	baja	media
Posibilidad de automatización	no	si	si	si

Los AFLPs se desarrollaron a mediados de la década de 1990 por la compañía *Keygene N.V* (Zabeau & Vos, 1993; Vos *et al.*, 1995). Se basan en la combinación de dos técnicas empleadas para la generación de marcadores moleculares, estas son: la digestión con enzimas de restricción, propia de los RFLPs, y la reacción en cadena de la polimerasa o PCR (*Polymerase Chain Reaction*) (Spooners *et al.*, 2005). En general, la técnica de los AFLPs consiste en la amplificación mediante la PCR de fragmentos resultantes de la digestión del ADN por dos enzimas de restricción y ligados a dos adaptadores específicos de los enzimas utilizados; dos cebadores complementarios a los adaptadores permitirán una amplificación consistente sin necesidad de un

conocimiento previo del genoma a estudiar, añadiendo en el extremo 3' del cebador una o más bases (selectivas) al azar, que reducen en una cuarta parte el número de fragmentos amplificados por cada base selectiva añadida (Figura 1.8). Los productos amplificados pueden separarse por electroforesis en geles de secuenciación o con el uso de un secuenciador automático (García-Mas *et al.*, 2000).



**Figura 1.8. Esquema de procedimientos en la tecnología AFLPs (tomado de IPGRI & Cornell University, 2003)**

Los AFLPs están entre los marcadores más utilizados en estudios de variabilidad; esto se debe a su capacidad de generar un número elevado de polimorfismos en relativamente poco tiempo (García-Mas *et al.*, 2000). Estos marcadores se han utilizado exitosamente en algunas solanáceas como la patata, el tomate, la berenjena y el pepino dulce, entre otras, haciendo posible estudiar la diversidad entre sus respectivos materiales, examinar las relaciones existentes entre las variedades cultivadas y sus especies relacionadas, desarrollar mapas genéticos y también seleccionar parentales para la obtención de híbridos (Hijmans & Spooner, 2001; Nunome *et al.*, 2001; Furini & Wunder, 2004; Prohens *et al.*, 2005; Veteläinen *et al.*, 2005; García-Martínez *et al.*, 2006; Rodríguez-Burruezo *et al.*, 2008; entre otros). Además, la utilización de los AFLPs puede ser de gran utilidad en la distinción de variedades locales de materiales similares, así como en la obtención de una huella genética que permita su protección (Prohens *et al.*, 2008), como muestran los trabajos desarrollados en berenjena por Muñoz *et al.* (2008a, 2008b).

### 1.4.3. Caracterización morfológica y molecular en solanáceas

La caracterización de las solanáceas de mayor consumo en el mundo (tomate, patata, tabaco, berenjena y pimiento), la de otras de interés local principalmente en la región andina (pepino dulce), y en ciertos casos la de sus especies emparentadas, ha sido abordada ampliamente utilizando marcadores morfológicos y moleculares, especialmente RAPDs, SSRs, ISSRs y AFLPs (Powell *et al.*, 1996; Jones *et al.*, 1997; Kardolus *et al.*, 1998; Gotor *et al.*, 2008).

- **Patata.-** La patata es una de las especies de *Solanum* en la cual se han realizado estudios significativos de caracterización; McGregor *et al.* (2000) compararon la utilidad de cuatro herramientas moleculares (RAPDs, ISSRs, AFLPs y SSRs) en la diferenciación genética de 39 cultivares tetraploides de patata. Todas las técnicas moleculares, individualmente, han sido útiles en la identificación de cada uno de los cultivares, pero con los AFLPs se ha determinado una mayor diferenciación expresada por el índice genético (GI = 1), seguidos por los SSRs (GI = 0,77), RAPDs (GI = 0,53) y finalmente por los ISSRs (GI = 0,47). Esfahani *et al.* (2009) indican que la caracterización con marcadores AFLPs y el uso de modelos estadísticos multivariantes (como los agrupamientos UPGMA) han permitido evaluar satisfactoriamente la diversidad genética entre diferentes cultivares y grupos geográficos de patatas (provenientes de Sudamérica, Norteamérica y Europa).

El estudio de la diversidad del germoplasma de la patata se ha realizado también combinando la caracterización morfológica y molecular; Veteläinen *et al.* (2005) han evaluado la diversidad de 32 variedades locales de patata cultivadas en cinco países nórdicos, considerando 57 caracteres morfoagronómicos y utilizando cinco combinaciones de cebadores AFLPs. Los análisis multivariantes (agrupamientos y componentes principales) de caracteres morfológicos muestran que la mayor parte del germoplasma estudiado (excepto cinco accesiones) se diferencia satisfactoriamente, determinándose un amplio rango de diversidad y la ausencia de accesiones duplicadas en el dendrograma (UPGMA) obtenido. Por otra parte, las cinco combinaciones de cebadores AFLPs han generado 114 bandas, de las cuales 63 (55%) han sido polimórficas; el análisis estadístico de agrupamientos ha determinado una alta variabilidad genética, de igual forma que lo encontrado en la caracterización morfológica; sin embargo, los caracteres morfológicos y los moleculares (AFLPs) han mostrado una muy baja correlación. Por otra parte, los dendrogramas obtenidos en

ambos tipos de caracterización no han mostrado una agrupación clara del material vegetal con referencia a su procedencia geográfica.

La caracterización del germoplasma de patata también ha incluido materiales silvestres. Un estudio de caracterización molecular con marcadores AFLPs realizado en una colección de más de 300 accesiones de patatas silvestres (serie *Acaulia*) conservada en el *Centre for Genetic Resources* de los Países Bajos (van Treuren *et al.*, 2004) ha permitido conocer la presencia de materiales duplicados, y examinar con precisión la variación dentro de las accesiones y entre accesiones, con el propósito de reducir el tamaño de la colección.

- **Tomate.**- Esta especie ha sido estudiada en general, desde la filogenia del género *Lycopersicon* y su inclusión en *Solanum* hasta la diversidad intraespecífica de *S. lycopersicum* y sus parientes silvestres. La taxonomía y relaciones filogenéticas de la sección *Lycopersicon* se han abordado mediante el estudio de caracteres morfológicos y de marcadores moleculares AFLPs, logrando una adecuada clasificación del germoplasma en relación con cada una de las especies estudiadas (Peralta *et al.*, 2008; Zuriaga *et al.*, 2009). Además, se ha determinado un alto polimorfismo (90,2%) del material evaluado a través de seis combinaciones de cebadores (AFLPs) (Zuriaga *et al.*, 2009).

El estudio de caracterización morfofisiológica y molecular (SSRs) del tomate de Mazzucato *et al.* (2008) ha permitido establecer satisfactoriamente la diversidad del material vegetal estudiado (61 accesiones distribuidas principalmente en la región central de Italia), encontrándose diferencias significativas entre los diferentes genotipos para los 15 caracteres morfofisiológicos evaluados y para todas las interacciones genotipo-ambiente, así como una alta diversidad genética representada por hasta un 95% de *loci* polimórficos. Los microsatélites utilizados han sido seleccionados con referencia a un grupo de marcadores QTLs que inciden sobre el tamaño y/o forma del fruto (Q-SSRs) y con relación a otro grupo de marcadores que no han sido previamente mapeados (NQ-SSRs), lo que permite establecer las relaciones entre dichos marcadores y los caracteres morfofisiológicos estudiados; a este respecto, se ha encontrado una mayor correlación entre los marcadores Q-SSRs y los caracteres morfológicos de tamaño y forma del fruto, lo cual es de utilidad para una futura determinación de las relaciones entre marcadores y caracteres morfofisiológicos. El trabajo de Terzopoulos & Bebeli (2010) se ha enfocado específicamente a la diversidad fenotípica de variedades locales del tomate cultivado,

## Introducción

utilizando 34 accesiones recolectadas en Grecia y 36 caracteres morfológicos (relacionados con la parte vegetativa, inflorescencias, y con el tamaño, forma y color del fruto); se encontró una alta diversidad del germoplasma para la mayor parte de los caracteres evaluados, lo que es de relevancia según sus autores, para el mejoramiento de variedades en adición a una agricultura sustentable.

Otros trabajos de caracterización se han dirigido al estudio de especies endémicas relacionadas con *S. lycopersicum*, su diversidad genética, su origen geográfico, y sus implicaciones tanto en su conservación como para su posible aprovechamiento en el mejoramiento genético del tomate cultivado (Nuez *et al.*, 2004; Sifres *et al.*, 2011). Nuez *et al.* (2004) llevaron a cabo una caracterización morfológica y molecular (AFLPs) de tomates silvestres (aún bajo el género *Lycopersicon*), incluyendo *Lycopersicon cheesmaniae* L. Riley endémica de las islas Galápagos (Ecuador), *L. esculentum* Mill. (actualmente *S. lycopersicum*), recolectada también en Galápagos, y *L. pimpinellifolium* (L.) Mill. (ahora *S. pimpinellifolium* L.), de Ecuador continental y Perú. Según estos autores *L. cheesmaniae* constituye una alternativa para el mejoramiento genético del tomate cultivado y a través de su caracterización se ha encontrado una alta diversidad genética dentro de esta especie con respecto al resto del germoplasma estudiado, diferenciándose tres morfotipos considerados de importancia por los mejoradores debido a la particular morfología de sus frutos y a sus preferencias ambientales: *L. cheesmaniae* f. *minor* (Hook. f.) C. H. Mull. (actualmente *S. galapagense* S. C. Darwin & Peralta) y otras dos variantes sin reconocimiento taxonómico, llamadas informalmente “*short*” y “*long*”. Por otra parte, el análisis morfológico y molecular ha permitido confirmar, en concordancia con Rick (1956), la pertenencia de *L. cheesmaniae*, así como la de *L. esculentum* y *L. pimpinellifolium*, al entonces llamado subgénero *Eulycopersicon*; los resultados morfológicos y moleculares y las distancias genéticas obtenidas confirman que *L. cheesmaniae* es endémica de las Galápagos, mientras *L. esculentum* se habría establecido en el archipiélago mucho tiempo después.

Otro trabajo de caracterización de especies silvestres de tomate (Sifres *et al.*, 2011) aborda la variabilidad genética de 91 accesiones de *S. habrochaites* S. Knapp & D. M. Spooner y su distribución geográfica (desde la vertiente occidental andina de la región central de Ecuador hasta la parte central de Perú); esta especie constituye un recurso genético potencial para la mejora genética de *S. lycopersicum* (Sacks & Clair, 1998), por ser resistente a la incidencia de diversos insectos y enfermedades, tolerante a las

bajas temperaturas y por presentar ciertos caracteres de calidad de fruto (Rick, 1982). Para su caracterización se utilizaron dos tipos de marcadores moleculares (nueve SSRs y seis combinaciones de cebadores AFLPs) que mostraron su amplia diversidad intraespecífica y el grado de heterocigosidad del germoplasma. El análisis de coordenadas principales de los AFLPs ha puesto en evidencia la variación genética de *S. habrochaites*, definida por un cambio gradual de sus rasgos fenotípicos debido a una posible influencia de las condiciones ambientales propias de cada una de las diferentes zonas en las que se distribuye, con un sentido geográfico de norte a sur debido a la forma muy clara en que se han distribuido los diferentes grupos geográficos de accesiones (Sifres *et al.*, 2011). Las dos herramientas moleculares (AFLPs y SSRs) han sido complementarias, permitiendo conocer la diversidad genética de *S. habrochaites*, el grado de heterocigosidad y alogamia del material vegetal evaluado, la diferenciación regional del germoplasma, una posible incidencia climática sobre la variabilidad del material, y las implicaciones tanto en la conservación de esta especie como la importancia para el mejoramiento del tomate cultivado.

- **Berenjena.**- La berenjena ha sido objeto de diversos trabajos de caracterización morfológica y molecular. Furini & Wunder (2004) han estudiado una colección con más de 90 accesiones de berenjena, incluyendo materiales silvestres y especies relacionadas. Los caracteres morfológicos (forma de la hoja, contenido de espinas, color y hábito de la flor, color y forma del fruto, entre otros) han permitido identificar adecuadamente las semejanzas o diferencias entre las accesiones, encontrándose una amplia diversidad del germoplasma. La caracterización molecular se basó en seis combinaciones de cebadores AFLPs, las cuales han generado un alto número de bandas polimórficas (300) que permitieron identificar satisfactoriamente el material vegetal y mostrar su alta diversidad genética. Además, los marcadores AFLPs han sido útiles para respaldar la diferenciación morfológica y obtener una relación consistente entre ambos tipos de caracterización, indicando que éstas son complementarias y contribuyen satisfactoriamente al conocimiento de las relaciones filogenéticas de las especies relacionadas con la berenjena, que deberían ser en parte reconsideradas.

Otro trabajo con marcadores AFLPs (Prohens *et al.*, 2007) ha considerado dos especies relacionadas con la berenjena (*S. vespertilio* Aiton y *S. liddii* Sunding), endémicas de las islas Canarias y que constituyen un recurso potencial para su mejora genética (a pesar de estar en peligro de extinción), y otras cinco especies africanas

## Introducción

asimismo relacionadas con la berenjena. Para esta caracterización se han utilizado cuatro combinaciones de cebadores AFLPs, las cuales han generado un alto número de bandas polimórficas (178 en *S. vespertilio* y 156 en *S. liddii*) y han sido suficientes para la diferenciación genética de estas dos especies entre sí y con relación a las africanas. El uso de herramientas moleculares como los AFLPs ha permitido diferenciar claramente el material vegetal, determinar su diversidad genética y proveer suficientes fundamentos para el establecimiento de programas de conservación *in situ* y *ex situ* de *S. vespertilio* y *S. liddii*.

El uso de la caracterización morfológica y molecular puede aportar además a la determinación y protección de denominaciones de origen y variedades tradicionales (*heirlooms*). A este respecto, Muñoz-Falcón *et al.* (2008a) han desarrollado una caracterización morfológica (35 caracteres) y molecular (tres combinaciones de cebadores AFLPs) de 33 accesiones de berenjena, de las cuales 15 pertenecen a la variedad “listada”, (que junto a la denominada “negra” son las berenjenas comercialmente más importantes en España), y nueve de ellas proceden de España (cinco son conocidas como “listada de Gandía” y las otras cuatro como “listada española”); mientras que el resto de accesiones (18) corresponden a materiales que no pertenecen al grupo “listada, cinco de las cuales son de España y las otras trece no provienen de España. El objetivo de esta investigación ha sido la determinación de ciertas características específicas del grupo “listada de Gandía”, su diversidad genética, y sus implicaciones para la mejora genética y una eventual protección legal como variedad tradicional; en este sentido, los análisis de componentes principales (caracterización morfológica) y coordenadas principales (caracterización molecular) han agrupado claramente a las accesiones del grupo “listada”, cuyos subgrupos (“listada de Gandía”, otras “listadas” de España y “listadas” que no son de España) también se han diferenciado notoriamente a pesar de su alto grado de semejanza morfológica y genética. Se ha encontrado que cada subgrupo de “listadas” presenta un conjunto de caracteres que permiten su diferenciación respecto del resto de materiales. Además, se han determinado los respectivos marcadores AFLPs que permiten identificar genéticamente las accesiones del tipo “listada de Gandía” y diferenciarlas del resto de listadas; de esta forma, los resultados morfológicos y moleculares obtenidos tienen importantes implicaciones para la conservación, mejora genética y protección legal de las variedades españolas de berenjena conocidas como “listada”, especialmente para la variedad “listada de Gandía”, considerada como una variedad tradicional.

Muñoz *et al.* (2008b) han estudiado caracteres morfológicos (14) y moleculares (tres combinaciones de cebadores AFLPs y ocho tipos de SSRs) para la protección geográfica de las “berenjenas de Almagro”, en comparación con materiales de otras procedencias. Los resultados obtenidos revelan que ciertos caracteres morfológicos de las berenjenas de Almagro, principalmente del fruto, difieren significativamente de los correspondientes a las procedentes de Andalucía. Por lo que respecta a los AFLPs, se ha encontrado que tanto las berenjenas de Almagro como las de Andalucía son genéticamente diversas y que comparten un fondo genético común, mientras que los marcadores SSRs han permitido establecer una clara diferenciación entre ambos grupos y alelos exclusivos y universales para las berenjenas de Almagro. El uso de descriptores morfológicos adecuados y de marcadores moleculares específicos ha permitido la identificación de ciertos indicadores para la protección geográfica (PGI: *Protected Geographical Indication*) de las berenjenas de Almagro, frente a otros materiales estrechamente relacionados (como las de Andalucía), lo cual es de utilidad para la certificación de la autenticidad de una variedad local específica o de variedades denominadas como tradicionales (*heirlooms*).

El color de la piel de los frutos de berenjena es uno de los caracteres más variables en esta especie, siendo los de piel morada o púrpura los más comerciales, por lo que este carácter representa un objetivo importante en la mejora genética de los diversos cultivares. A través de una caracterización de 69 accesiones (cultivadas y silvestres) con herramientas moleculares como los AFLPs, Liao *et al.* (2009) han podido identificar ciertos marcadores que están correlacionados con la pigmentación de los frutos; para ello han desarrollado una metodología basada en la identificación de marcadores AFLPs, su conversión en otros marcadores llamados SCARs para facilitar la selección de marcadores asistidos, y finalmente la identificación de marcadores asociados con el color de la piel a través de una metodología conocida como *bulked line analysis* (BLA). Según estos autores, el uso de marcadores moleculares como los AFLPs y sus respectivos SCARs facilita la selección de marcadores asistidos para el mejoramiento de los frutos de berenjena con referencia al color de su piel, constituyendo una metodología útil para futuros trabajos tanto para la berenjena como para otras especies.

- **Otras solanáceas.**- Existe un importante número de publicaciones que abordan la caracterización morfológica y/o molecular de los recursos fitogenéticos de otras solanáceas consideradas de gran importancia en el mundo, como las de Rem & Timko (2001), Lewis *et al.* (2007), Liu & Zhang (2008), Siva *et al.* (2008) y Moon *et al.* (2009)

## Introducción

para el tabaco, las de Anderson *et al.* (1996), Prohens *et al.* (1998), Prohens & Nuez (1999) y Rodríguez-Burruezo *et al.* (2004b) para el pepino dulce, o las de Votava & Bosland (2002), Lanteri *et al.* (2003), Geleta *et al.* (2005), Portis *et al.* (2006) y Sudré *et al.* (2010) para el pimiento y sus respectivas especies emparentadas.

### - Estudios previos sobre caracterización de tomate de árbol

El único estudio de caracterización molecular de tomate de árbol publicado hasta el momento es el de Enciso-Rodríguez *et al.* (2010), que estudiaron 30 accesiones, de las cuales 26 corresponden a tomate de árbol cultivado (*S. betaceum*), y las cuatro restantes a materiales silvestres emparentados con esta especie (grupo *Cyphomandra*), utilizando una herramienta molecular desarrollada para solanáceas, los marcadores COSII (*Conserved Ortholog Set II*) (Fulton *et al.*, 2002); el uso inicial de 41 de estos marcadores ha permitido la obtención de cinco marcadores polimórficos, los cuales han generado un total de 39 alelos con un promedio de 7,8 alelos por locus. El germoplasma estudiado presentó una alta diversidad genética entre accesiones y una alta homocigosis dentro de cada accesión; la diversidad entre accesiones podría deberse a la distribución geográfica del germoplasma evaluado, procedente de diversos agroecosistemas (Bohs, 1989a). La distribución o agrupamiento de las accesiones en el análisis multivariado (componentes principales y agrupamientos) no ha sido clara, ya que tres accesiones silvestres (dos pertenecientes a *S. diversifolium* F. Muell. y una a *S. circinatum*) no se han diferenciado claramente de las cultivadas, mientras que la única accesión diferenciada significativamente del resto de materiales, tanto en el gráfico obtenido mediante las tres primeras componentes (análisis de componentes principales) como en el dendrograma (agrupamientos), pertenece a *S. corymbiflorum* (Sendtn.) Bohs. Según los autores de este trabajo el uso de marcadores COSII constituye una herramienta molecular que ha aportado significativamente al conocimiento de la diversidad genética del tomate de árbol y por ende al de las alternativas para su conservación y mejora genética.

## ***II. OBJETIVOS***



De acuerdo con lo anteriormente expuesto sobre la importancia de la caracterización morfológica y molecular de los recursos fitogenéticos para el conocimiento de su diversidad y para su conservación, fitotecnia y mejora, y sobre la relevancia presente y posibles perspectivas futuras del tomate de árbol, se plantea como objetivo general del presente trabajo de tesis doctoral estudiar y caracterizar la diversidad morfológica y molecular de un conjunto de accesiones de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) recolectadas principalmente en Ecuador y también procedentes de otros países, para conocer las características morfológicas (y en parte, agronómicas) de los materiales reunidos, su diversidad genética, las relaciones entre la diversidad morfológica y molecular, así como establecer una colección base representativa para su conservación. Para la consecución del objetivo general propuesto se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar morfológicamente las accesiones de tomate de árbol a fin de conocer su variabilidad fenotípica y elaborar una lista de descriptores para la especie que pueda servir además a futuras caracterizaciones de otras colecciones.
- Caracterizar molecularmente las accesiones de tomate de árbol con el fin de estimar su diversidad genética y explorar las relaciones genéticas entre los distintos tipos de cultivares y sus procedencias.
- Comparar la diversidad morfológica y molecular observada, con el propósito de conocer su analogía y las implicaciones en la conservación y mejora en esta especie.



### ***III. MATERIALES Y MÉTODOS***



### 3.1. MATERIAL VEGETAL

El presente trabajo de caracterización morfológica y molecular se realizó utilizando material vegetal (semillas) de accesiones conservadas en dos bancos de semillas, uno perteneciente a la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL, Ecuador) y el otro a la Universidad Politécnica de Valencia (UPV, España). El germoplasma había sido recolectado en diferentes países y depositado en cada uno de los bancos antes mencionados. En particular, el germoplasma de tomate de árbol de la UTPL ha sido recolectado, junto con otros compañeros, por el autor de la presente tesis. Los países de origen de las accesiones utilizadas son: Ecuador, Colombia, Perú, Bolivia, Portugal, España y Nueva Zelanda. Para el presente estudio, el material de ambos bancos fue recodificado utilizando siempre la letra A, seguida de un número de dos cifras (11 y del 15 al 41) (Tabla 3.1).

Un total de 28 accesiones de tomate de árbol fueron estudiadas, de las cuales 27 se recogieron en huertos o campos de cultivo y pertenecen a la especie *Solanum betaceum* Cav., mientras que una única accesión (A-15) es de origen silvestre y fue identificada como *Solanum cajanumense* Kunth. La mayor parte del germoplasma (22 accesiones) fue caracterizado morfológica y molecularmente. De las 28 accesiones, cuatro no se evaluaron morfológicamente (A-11, A-15, A-28 y A-38) ya que, aunque durante la fase de vivero se desarrollaron de manera adecuada, a partir del trasplante al campo no tuvieron un buen desarrollo, por lo que no fue posible realizar una comparación adecuada con el resto de accesiones. Otras dos accesiones (A-16 y A-41) no fueron caracterizadas molecularmente, debido a una baja calidad del ADN extraído, causada por una posible degradación. La Tabla 3.2 indica las accesiones y los tipos de caracterización a los que fue sometida cada una. Es de destacar que la accesión de origen silvestre perteneciente a *S. cajanumense* Kunth fue considerada como un control externo, lo cual permitió verificar los resultados obtenidos en la caracterización molecular.

Las 27 accesiones de *S. betaceum* (tomate de árbol cultivado) fueron asignadas a cinco grupos agronómicos (Tabla 3.1). Los grupos agronómicos fueron definidos de acuerdo con ciertas características morfológicas de los frutos, consideradas de acuerdo con la forma en que los productores diferencian a las accesiones en Ecuador; así como también, con la experiencia obtenida en la especie, por parte de investigadores del COMAV – UPV que han trabajado con esta especie y que han aportado al presente estudio. Considerando que los tipos de accesiones son

conocidas con diferentes nombres en las distintas zonas de producción, se estableció un nombre común para cada tipo o grupo agronómico, intentando representar a las diferentes denominaciones.

**Tabla 3.1. Acciones de tomate de árbol estudiadas, banco de semillas y código de acción de procedencia, origen geográfico y grupo agronómico al que pertenecen**

Accesión	Banco de semillas de procedencia	Código en el banco de procedencia	Origen geográfico	Grupo agronómico
A-11	UPV	ECU-271	Ecuador (Pichincha)	Anaranjado-elíptico-puntón
A-15*	UTPL	ECUts-100	Ecuador (Loja)	-
A-16	UPV	ECU-1134	Ecuador (Morona S)	Anaranjado-elíptico
A-17	UPV	ECU-1221	Ecuador (Azuay)	Anaranjado-elíptico-puntón
A-18	UPV	ECU-1248	Ecuador (Tungurahua)	Rojo
A-19	UPV	ECU-1295	Ecuador (Carchi)	Anaranjado-elíptico-puntón
A-20	UPV	ECU-1567	Ecuador (El Oro)	Anaranjado elíptico puntón
A-21	UTPL	ECUt-001	Ecuador (Loja)	Morado
A-22	UTPL	ECUt-002	Ecuador (Azuay)	Anaranjado elíptico
A-23	UTPL	ECUt-003	Ecuador (Azuay)	Anaranjado elíptico puntón
A-24	UTPL	ECUt-004	Ecuador (Azuay)	Rojo
A-25	UTPL	ECUt-005	Ecuador (Azuay)	Morado
A-26	UTPL	ECUt-006	Ecuador (Tungurahua)	Rojo
A-27	UTPL	ECUt-007	Ecuador (Tungurahua)	Rojo
A-28	UPV	SUD-CY-1	Colombia (Manizales)	Rojo
A-29	UTPL	ECUt-008	Ecuador (Cotopaxi)	Anaranjado elíptico
A-30	UPV	QB-54	Colombia (Boyacá)	Morado
A-31	UPV	UNT-08	Perú (Lima)	Anaranjado elíptico puntón
A-32	UPV	PT-087	Perú (Chachapoyas)	Anaranjado elíptico puntón
A-33	UPV	PT-221	Perú (Cajamarca)	Anaranjado elíptico puntón
A-34	UPV	PT242	Perú (Cajamarca)	Anaranjado elíptico puntón
A-35	UPV	BOL-14	Bolivia (Cochabamba)	Anaranjado elíptico puntón
A-36	UPV	BOL-116	Bolivia (Santa Cruz)	Anaranjado elíptico puntón
A-37	UPV	EUR-CY-1	Portugal (Lisboa)	Morado
A-38	UPV	UPV023113	España (Valencia)	Anaranjado elíptico
A-39	UPV	NZ-1	Nueva Zelanda	Morado
A-40	UPV	NZ-2	Nueva Zelanda	Morado
A-41	UTPL	ECUt-009	Ecuador (Saraguro)	Trompo

UTPL: Universidad Técnica Particular de Loja (Ecuador)

UPV: Universidad Politécnica de Valencia (España)

\* silvestre

Tabla 3.2. Tipos de caracterización a que se sometió cada accesión

Accesión	Caracterización morfológica	Caracterización molecular	Accesión	Caracterización morfológica	Caracterización molecular
A-11		X	A-28		X
A-15		X	A-29	X	X
A-16	X		A-30	X	X
A-17	X	X	A-31	X	X
A-18	X	X	A-32	X	X
A-19	X	X	A-33	X	X
A-20	X	X	A-34	X	X
A-21	X	X	A-35	X	X
A-22	X	X	A-36	X	X
A-23	X	X	A-37	X	X
A-24	X	X	A-38		X
A-25	X	X	A-39	X	X
A-26	X	X	A-40	X	X
A-27	X	X	A-41	X	

La diferenciación por colores entre los grupos anaranjados, rojo y morado se realizó mediante observación directa, debido a que su identificación es muy notoria; cabe indicar que, en este caso, el color ha sido establecido únicamente para la asignación de las accesiones a los grupos agronómicos, mas no como una variable de caracterización. A continuación se describen las principales características de los frutos en cada grupo agronómico.

#### a) Grupo agronómico “anaranjado-elíptico-puntón”

Los frutos de las accesiones ubicadas en el grupo anaranjado-elíptico-puntón se caracterizan principalmente por presentar un epicarpo de color anaranjado y forma más o menos elíptica, con un ángulo en su ápice más agudo que en el resto de agrupaciones, por lo que se lo puede diferenciar, especialmente del grupo anaranjado-elíptico (Figura 3.1). En Ecuador, la mayor parte de los frutos de este grupo son conocidos con los nombres amarillo puntón, gigante amarillo y tomate alargado.

**b) Grupo agronómico “anaranjado-elíptico”**

De forma general, el grupo anaranjado-elíptico presenta también frutos más o menos elípticos y con un epicarpo de color similar al anaranjado-elíptico-puntón; sin embargo, las accesiones del grupo anaranjado-elíptico se caracterizan por producir frutos con ápices más ensanchados, lo que las diferencia especialmente del grupo anterior (Figura 3.2). Los nombres más comunes en Ecuador, con los que se conoce a los frutos de este grupo son: amarillo, anaranjado redondo y tomate común.

**c) Grupo agronómico “morado”**

El grupo morado ha sido establecido básicamente por el color del epicarpo, de color morado, y porque sus semillas están provistas externamente de una capa mucilaginosa también de color morado, por lo que las accesiones concentradas en este grupo se diferencian claramente del resto (Figura 3.3). Los frutos de este grupo son conocidos en Ecuador como neozelandés, morado neozelandés y morado gigante.

**d) Grupo agronómico “rojo”**

De igual forma que en el grupo morado, las accesiones del grupo rojo fueron asociadas principalmente por la coloración roja del epicarpo y la forma más o menos elíptica del fruto (Figura 3.4). En Ecuador, los nombres comunes de los frutos de este grupo son: pintón, colorado y rojizo.

**e) Grupo agronómico “trompo”**

Únicamente la accesión A-41 ha sido incluida en este grupo. Los frutos presentan un epicarpo también de color rojo, pero se caracterizan por mostrar una forma parecida a una peonza o trompo (de ahí su nombre); se distinguen además notablemente del resto de los grupos, por tener un tamaño, peso del fruto, y número de semillas, significativamente menor (Figura 3.5). En Ecuador, este tipo es también conocido como trompiforme.

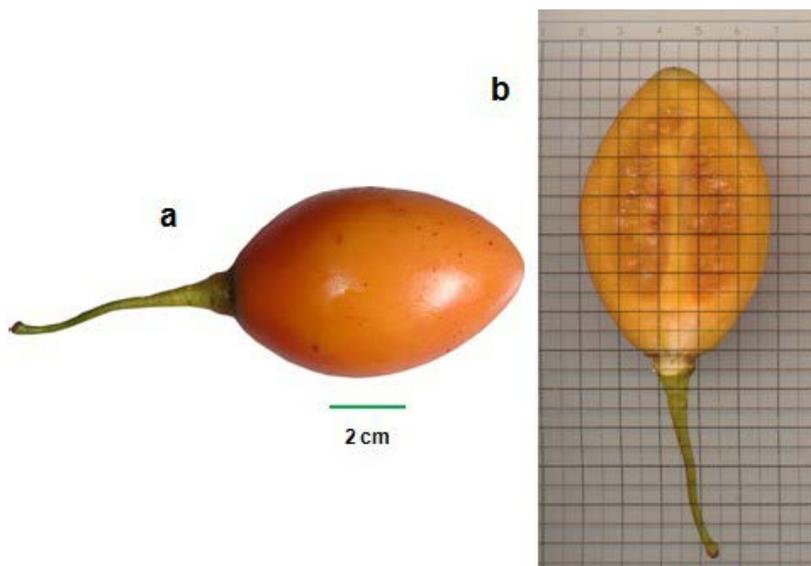


Figura 3.1. Fruto de grupo agronómico anaranjado-elíptico-puntón”: a) fruto entero y b) corte longitudinal con vista del interior del fruto

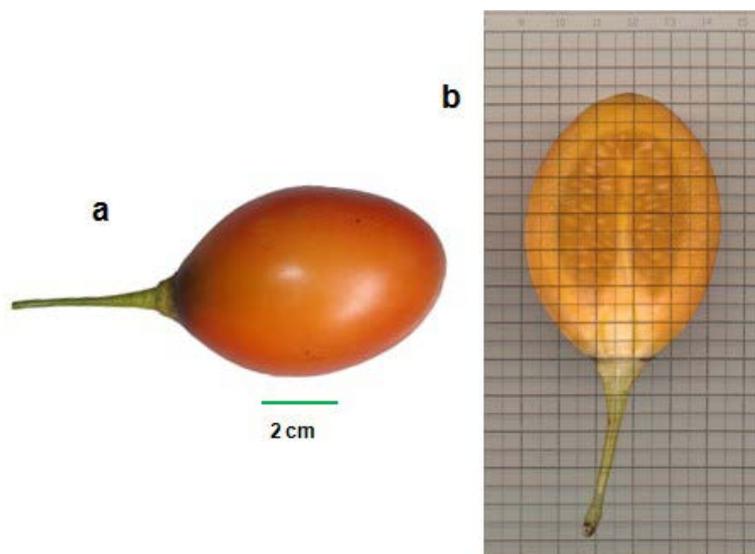


Figura 3.2. Fruto de grupo agronómico anaranjado-puntón: a) fruto entero y b) corte longitudinal con vista del interior del fruto

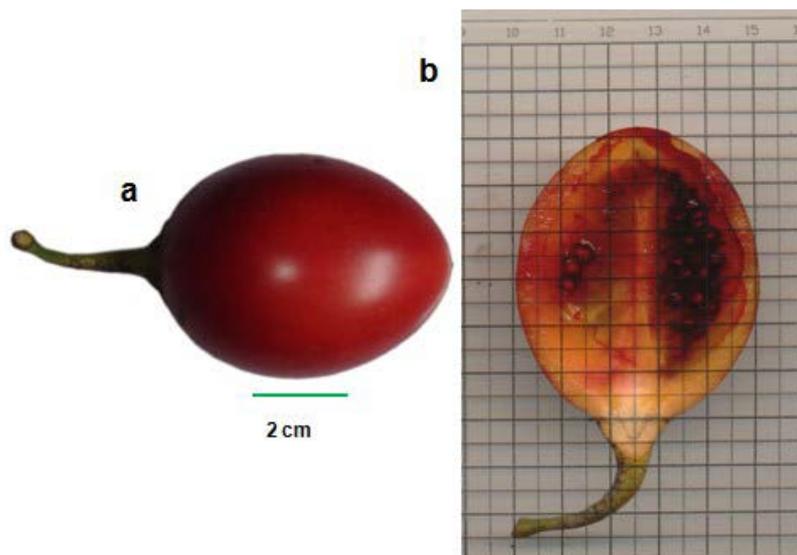


Figura 3.3. Fruto de grupo agronómico morado: a) fruto entero y b) corte longitudinal con vista del interior del fruto y del mucílago morado

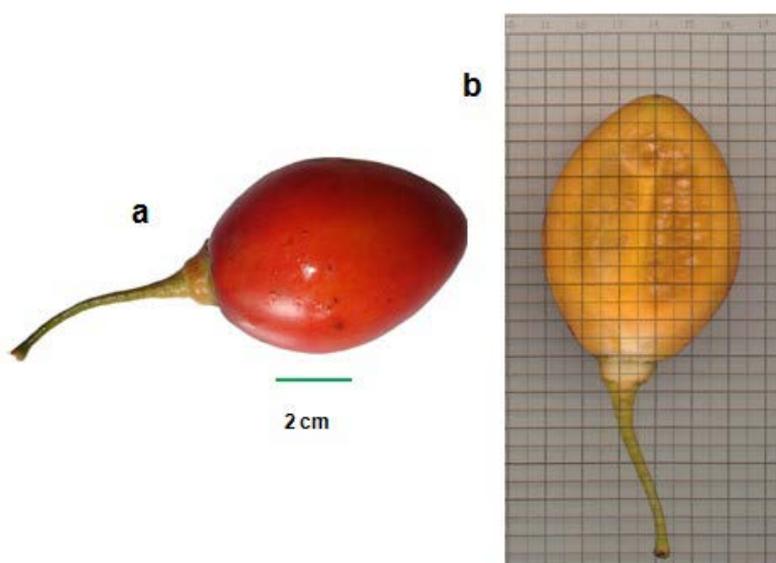


Figura 3.4. Fruto de grupo agronómico rojo: a) fruto entero y b) corte longitudinal con vista del interior del fruto

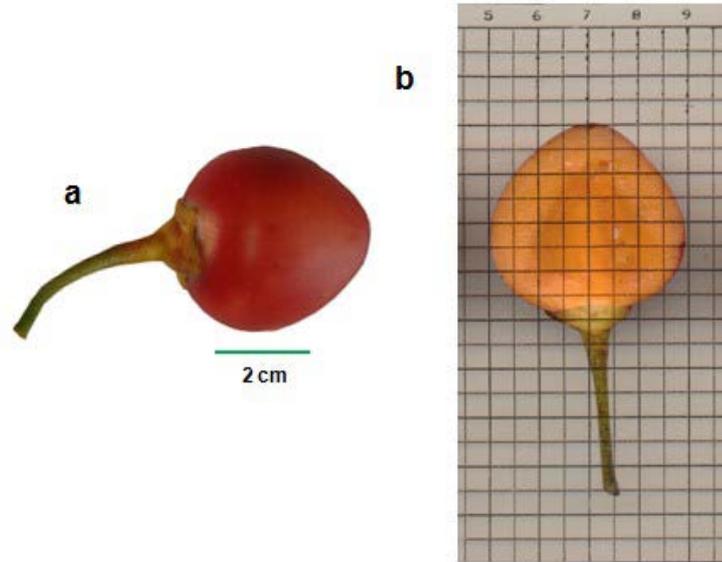


Figura 3.5. Fruto de grupo agronómico trompo: a) fruto entero y b) corte longitudinal con vista del interior del fruto

## 3.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

### 3.2.1. Localización y establecimiento del ensayo

Para la caracterización morfológica se utilizaron plantas vivas que se cultivaron en una parcela experimental y se muestrearon entre octubre de 2007 y julio de 2009, desde la siembra hasta la primera producción de frutos (incluyendo la medición de todos los caracteres). El ensayo fue establecido en una estación experimental del Centro de Investigación y Servicios Agropecuarios de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), ubicada a 2 km de la ciudad de Loja, provincia de Loja (Ecuador) (Figura 3.6).

La parcela se sitúa en las coordenadas geográficas: latitud 4° 0' 1,59" Sur y longitud 79° 10' 48,46" Oeste, se encuentra a una altitud de 2100 msnm y pertenece a la formación ecológica bosque seco montano bajo (bs-MB) (Holdridge, 1967). Se caracteriza por presentar una temperatura media anual de 15,4 °C y una precipitación media de 780 mm/año (datos inéditos de la estación meteorológica de la UTPL).



**Figura 3.6. Mapa de ubicación general del lugar de ensayo (ciudad de Loja – Ecuador) y posición de Ecuador en Sudamérica**

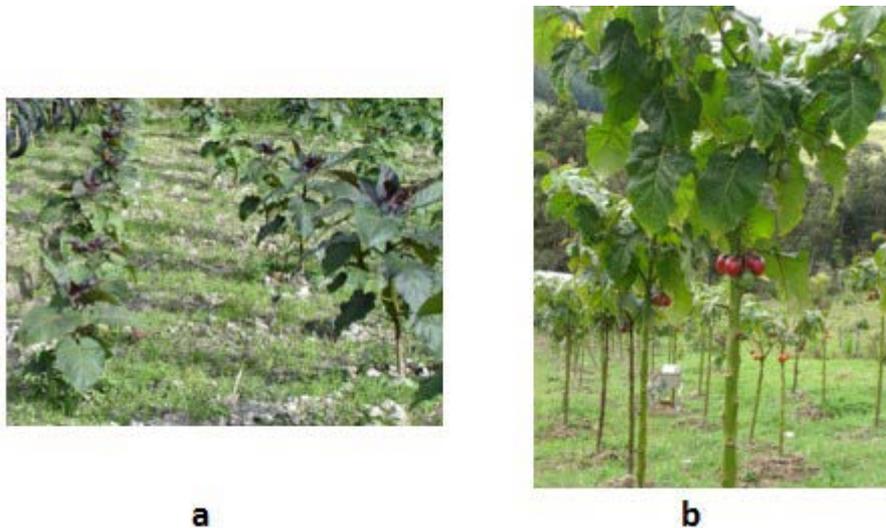
Las semillas de todas las accesiones fueron sembradas en bolsas de polietileno como recipiente, con un sustrato preparado con suelo orgánico, arena y humus de lombriz (proporción 3:2:1, respectivamente), y mantenidas en un vivero (Figuras 3.7 a y b) hasta el tiempo de trasplante. La germinación se presentó entre 25 y 40 días después de la siembra y las plántulas permanecieron en el vivero durante un lapso de 40 a 50 días, para luego ser trasplantadas a la parcela.

El terreno fue preparado de manera mecanizada con la utilización de un arado de discos y una rastra, removiendo el suelo a una profundidad de 50 cm. Una vez preparado el suelo, se efectuó la apertura de hoyos (40 x 40 x 40 cm) separados en marco de 2 x 2 m, para la posterior ubicación de las plantas (una por sitio). Antes del trasplante se realizó una incorporación de humus de lombriz (4,00 kg/sitio) y 300 g de fertilizante 12-36-12 (N-P-K). Se instaló un sistema de riego por goteo, por ser el más adecuado para el cultivo; sin embargo la aplicación del riego al cultivo fue muy esporádica, debido a las frecuentes precipitaciones registradas.

Se plantaron 24 individuos de cada accesión (repartidos en tres bloques), de los cuales 15 fueron evaluados (Figuras 3.8 a y b). Durante el cultivo, la plantación fue fertilizada de acuerdo con las necesidades nutricionales de la especie, para lo cual se aplicaron 200 kg/ha/año de N, 180 kg/ha/año de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 250 kg/ha/año de K<sub>2</sub>O.



**Figura 3.7. Plantas de tomate de árbol en fase de vivero: a) plántulas en bolsas de polietileno y b) plantas con tres a cuatro hojas**



**Figura 3.8. Plantación de tomate de árbol establecida para caracterización morfológica: a) plantas en desarrollo inicial y b) plantas en producción de frutos**

La presencia de enfermedades e insectos fue monitorizada frecuentemente, por lo que se determinó la incidencia de enfermedades como el tizón (*Phytophthora infestans*), antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) y oidio (*Oidium* sp.); así como también de insectos como los áfidos (*Myzus* sp.). Para ello se efectuaron controles fitosanitarios en forma periódica. Se realizaron continuos aporques, los cuales además de dar mayor fijación a la planta, sirvieron para el control de malezas.

### **3.2.2. Evaluación de caracteres morfológicos**

Para caracterizar morfológicamente las accesiones de tomate de árbol se establecieron 39 caracteres cuantitativos clasificados en grupos de caracteres, según la parte u órgano de la planta al que corresponden (Tabla 3.3). Debido a que no se han publicado descriptores para la caracterización morfológica del tomate de árbol, los caracteres fueron determinados de acuerdo con la experiencia en la especie de investigadores del COMAV – UPV que han aportado a esta investigación, y con los descriptores morfológicos de otras especies de la familia Solanaceae, publicados por parte de *Bioversity International* ([http:// www.bioversityinternational.org/publications](http://www.bioversityinternational.org/publications)), antiguamente conocido como International Plant Genetic Resources Institute o IPGRI.

A continuación se indica la metodología empleada para la medición de los caracteres; los de longitud se midieron en centímetros (cm), los de peso se evaluaron en gramos (g) y los ángulos se midieron en grados sexagesimales

#### **a) Caracteres de arquitectura de la planta**

Los cuatro caracteres de arquitectura de la planta fueron medidos en un total de 15 plantas por cada accesión en el momento en que se inició la cosecha de los primeros frutos, con el fin de garantizar que las plantas hubieran alcanzado su máximo desarrollo vegetativo. Las Figuras 3.9 a y b esquematizan los caracteres de la arquitectura de la planta.

*Altura del tallo principal (C1)*: se midió con una cinta métrica, desde el cuello del tallo hasta su trifurcación, donde se inicia la formación de la copa.

**Tabla 3.3. Lista de caracteres morfológicos seleccionados para la caracterización del tomate de árbol (y unidades en las que se miden)**

<b>Arquitectura de la planta</b>		<b>Infrutescencia y fruto</b>	
C1	Altura del tallo principal (cm)	C26	Frutos por planta (número)
C2	Diámetro del tallo (cm)	C27	Infrutescencias por planta (número)
C3	Longitud del segundo entrenudo (cm)	C28	Frutos por Infrutescencia (número)
C4	Diámetro de la copa (cm)	C29	Longitud del fruto (cm)
<b>Hojas del tallo</b>		C30	Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)
C5	Longitud del limbo (cm)	C31	Longitud del pedicelo (cm)
C6	Longitud de la escotadura basal (cm)	C32	Diámetro del fruto (cm)
C7	Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C33	Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)
C8	Ancho máximo del limbo (cm)	C34	Peso del fruto (g)
C9	Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C35	Relación longitud : diámetro del fruto
C10	Ángulo del ápice del limbo (grados sexagesimales)	C36	Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto
<b>Hojas de la copa</b>		<b>Semilla</b>	
C11	Longitud del limbo (cm)	C37	Longitud de la semilla (cm)
C12	Longitud de la escotadura basal (cm)	C38	Ancho de la semilla (cm)
C13	Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C39	Semillas por fruto ((número)
C14	Ancho máximo del limbo (cm)		
C15	Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)		
C16	Ángulo del ápice del limbo (grados sexagesimales)		
C17	Longitud del peciolo (cm)		
<b>Inflorescencia y flor</b>			
C18	Longitud de la Inflorescencia (cm)		
C19	Longitud del pedúnculo (cm)		
C20	Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)		
C21	Longitud del pétalo (cm)		
C22	Ancho del pétalo (cm)		
C23	Diámetro de la corola (cm)		
C24	Longitud de la antera (cm)		
C25	Longitud del estilo (cm)		

**Diámetro del tallo (C2):** con el uso de un calibrador se determinó el diámetro del tallo, 30 cm por debajo de la trifurcación de la copa.

**Longitud del segundo entrenudo (C3):** utilizando una regla, se determinó la distancia entre el primero y el segundo nudos (contando desde el cuello del tallo).

*Diámetro de la copa (C4)*: en todas las accesiones el tallo principal se divide en tres ramas, las cuales conforman la copa de la planta. Se determinó la longitud de las tres ramas en cada planta; estos valores se promediaron (obteniendo así una estimación del radio de la copa) y el resultado se multiplicó por dos para estimar el diámetro. La medición de cada una de las ramas se efectuó mediante una plomada, cuyo hilo se sujetó al extremo de cada rama; se esperó hasta que la plomada se estabilizara, y se midió sobre el suelo la distancia comprendida entre la base del tallo y la proyección de la plomada, la cual equivale al radio representado por la rama (Figura. 3.9 b).

### **b) Caracteres de las hojas del tallo principal y de la copa**

Las hojas originadas en el tallo principal se caracterizan por ser más grandes que las hojas que se insertan en las ramas (copa); por tal razón, los respectivos caracteres fueron estudiados en los dos tipos de hojas. Sin embargo, la forma en que estos fueron medidos es similar.

Se evaluaron 30 hojas (de cada tipo) por cada accesión, considerando que todas las hojas tuvieran aproximadamente la misma edad; para ello, fue necesario etiquetar al mismo tiempo diferentes hojas, desde el inicio de su desarrollo. Con el fin de asegurar la disponibilidad de material, el número de hojas etiquetadas fue mayor que el número de hojas luego evaluadas.

Todos los caracteres fueron evaluados en hojas escaneadas, utilizando el programa Image Tool 2.0 (UTHSCSA, 2000), previamente calibrado; las Figuras 3.10 a y b muestran los caracteres medidos en las hojas del tallo y de la copa.

*Longitud del limbo (C5 y C11)*: se determinó entre el punto de origen del nervio central y el ápice del limbo.

*Longitud de la escotadura basal (C6 y C12)*: estos caracteres fueron medidos entre el extremo inferior de los lóbulos basales y el punto de origen del nervio central (o de inserción del peciolo).

*Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (C7 y C13)*: fueron medidos a la altura del punto de origen del nervio central (o de inserción del peciolo).

*Ancho máximo del limbo (C8 y C14)*: para estos caracteres se ubicó la parte más ensanchada del limbo y se midió su valor.

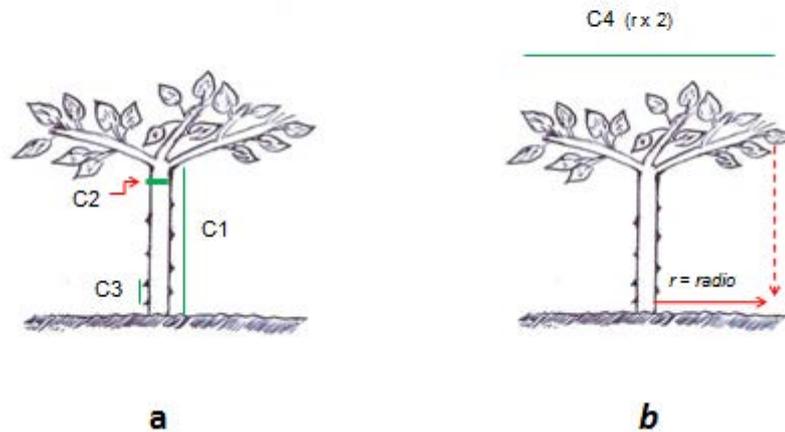


Figura 3.9. Caracteres de la arquitectura de la planta: a) altura del tallo principal (C1), diámetro del tallo (C2) y longitud del segundo entre nudo (C3); y b) diámetro de la copa (C4)

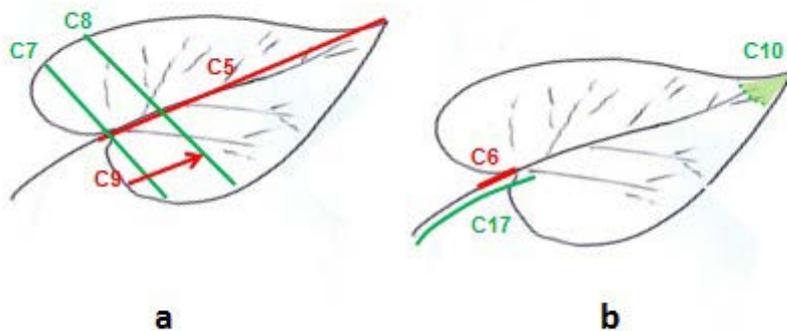


Figura 3.10. Caracteres de las hojas del tallo y copa: a) longitud del limbo (C5 y C11), ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (C7 y C13), ancho máximo del limbo (C8 y C14), distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (C9 y C15); y b) longitud de la escotadura basal (C6 y C12), ángulo del ápice del limbo (C10 y C16) y longitud del peciolo (C17)

*Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (C9 y C15): se midió en forma recta la distancia desde el extremo inferior de cada uno de los lóbulos hasta la línea*

transversal correspondiente al ancho máximo del limbo, determinándose dos valores por cada hoja que luego fueron promediados.

*Ángulo del ápice del limbo (C10 y C16)*: se midió desde el extremo del ápice hasta una distancia de 5,00 cm a cada uno de los lados.

*Longitud del peciolo (C17)*: este carácter se evaluó únicamente en las hojas de la copa, midiendo la distancia entre la inserción del peciolo en el tallo y su extremo opuesto (punto de unión con el limbo).

### **c) Caracteres de las inflorescencias y flores**

Los tres caracteres de las inflorescencias se midieron en el momento de la apertura completa de la primera flor de cada inflorescencia, en 15 plantas de cada accesión. La longitud de la inflorescencia fue medida de manera directa, *in vivo*, con el uso de un escalímetro, debido a que las muestras debieron ser extendidas para una adecuada evaluación. Para la medición del pedúnculo y el raquis, que mantienen una estructura más rígida, las inflorescencias pudieron ser escaneadas y analizadas con el programa informático Image Tool 2.0 (UTHSCSA, 2000). La Figura 3.11 representa dichos caracteres.

*Longitud de la inflorescencia (C18)*: se midió, extendiendo la inflorescencia, desde su base hasta el extremo más alejado, obteniéndose un valor por cada inflorescencia.

*Longitud del pedúnculo (C19)*: este carácter fue medido entre la base del pedúnculo (que es también la base de la inflorescencia) y el punto de bifurcación, donde comienza el raquis, obteniéndose un valor por cada inflorescencia.

*Longitud del primer entrenudo del raquis (C20)*: La distancia comprendida entre el punto de bifurcación y el primer nudo de cada rama; se obtuvieron dos valores por cada inflorescencia, los cuales fueron promediados.

Para evaluar los caracteres de la flor (Figuras 3.12 a, b, c y d), se recolectaron cinco flores abiertas de 15 plantas de cada accesión. Todos los caracteres fueron analizados mediante un estereoscopio acondicionado con un lente de rejilla milimetrada. Para los caracteres longitud y ancho del pétalo, se midieron los cinco pétalos de cada flor, las cuales fueron promediados; mientras que para el resto de caracteres se obtuvo un único valor por cada flor.

*Longitud del pétalo (C21)*: se midió la distancia comprendida entre la base y el ápice del pétalo.

*Ancho del pétalo (C22)*: para este carácter se midió la parte más ensanchada del pétalo.

*Diámetro de la corola (C23)*: debido a que las flores de tomate de árbol son pentámeras, la distribución simétrica de sus pétalos no permite una medición directa del diámetro de la corola. Por esta razón, el diámetro se midió mediante el trazado de una circunferencia en la que la corola quedara inscrita; para ello, se efectuó el montaje de cada muestra en una placa porta objetos y cubierta por una lámina de acetato sobre la que se marcó una línea entre los extremos de la circunferencia (diámetro de la corola).

*Longitud de la antera (C24)*: la longitud de este órgano fue medida desde su base (unión con el filamento) hasta su extremo superior.

*Longitud del estilo (C25)*: se determinó la longitud comprendida entre el punto de unión con el ovario (en su parte superior) y el estigma.

#### **d) Caracteres de las infrutescencias y frutos**

Los tres caracteres de las infrutescencias, *frutos por planta (C26)*, *infrutescencias por planta (C27)* y *frutos por infrutescencia (C28)* fueron evaluados en 15 plantas por cada accesión, a través del conteo directo en cada caso, al término de la producción de brotes florales.

En lo que respecta a los caracteres del fruto, las muestras fueron recolectadas en el momento en que los frutos presentaron las condiciones óptimas para su cosecha, esto es, cuando la coloración (anaranjada, morada, roja; dependiendo de la accesión) era uniforme en todo el fruto. Se muestrearon cinco frutos (al azar) por cada uno de los 15 individuos de cada accesión, y se obtuvo un único valor de cada carácter por fruto. La mayor parte de los caracteres fueron medidos usando el programa Image Tool 2.0 (UTHSCSA, 2000), para lo cual fue necesario partir longitudinalmente cada fruto y escanear una de sus mitades (Figuras 3.13 a y b). La Figuras 3.14, esquematiza los caracteres evaluados en el fruto.

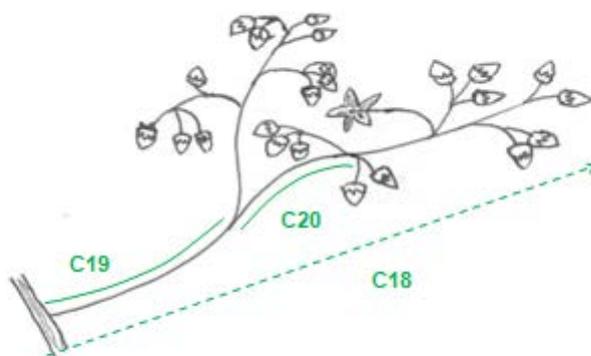


Figura 3.11. Caracteres de la inflorescencia: longitud de la inflorescencia (C18), longitud del pedúnculo (C19) y longitud del primer entre nudo del raquis (C20)

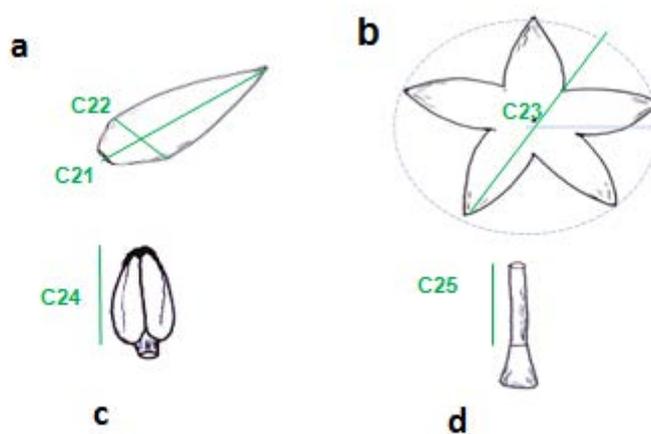
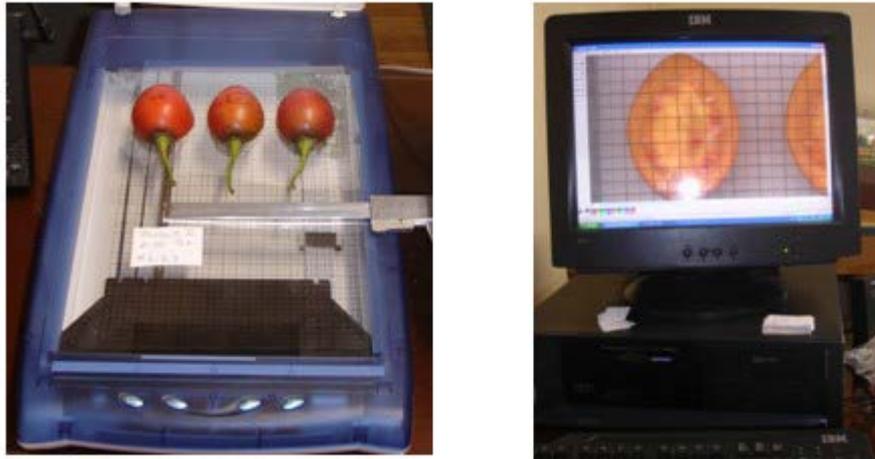


Figura 3.12. Caracteres de la flor: a) longitud del pétalo (C21), ancho del pétalo (C22); b) diámetro de la corola (C23); c) longitud de la antera (C24) y d) longitud del estilo (C25)



**Figura 3.13. Frutos de tomate de árbol partidos longitudinalmente: a) en proceso de escaneado y b) análisis con programa Image Tool**

*Longitud del fruto (C29):* se midió desde su base hasta el ápice.

*Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (C30):* se ubicó la parte más ensanchada del fruto y se midió la longitud comprendida entre la base y la línea transversal correspondiente al ancho máximo del fruto.

*Longitud del pedicelo (C31):* se midió la distancia entre el punto de unión del pedicelo con el raquis de la infrutescencia y el otro extremo del pedicelo (punto de inserción del fruto).

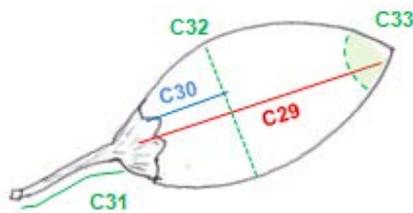
*Diámetro del fruto (C32):* se midió el ancho máximo de la sección longitudinal del fruto.

*Ángulo del ápice del fruto (C33):* se determinó tomando como vértice al ápice, proyectado a una distancia de 2,00 cm a cada uno de los lados.

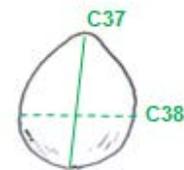
*Peso del fruto (C34):* se utilizó una balanza digital de precisión, efectuando dos repeticiones en cada pesaje, con el fin de confirmar el valor.

*Relación longitud: diámetro del fruto (C35):* fue determinada dividiendo el valor de la longitud total (C29) por el diámetro del fruto (C32). Los valores obtenidos serán mayores que 1,00; las cifras cercanas a uno corresponden a formas del fruto con tendencia a la esfera, mientras que las cifras más altas corresponden a formas con tendencia ovoide o elipsoide.

*Relación longitud: distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (C36):* de la misma manera que el carácter anterior, esta relación se determinó dividiendo el valor de la longitud total (C29) por la distancia comprendida entre la base y el ancho máximo del fruto (C30). Los valores obtenidos serán superiores a 2,00; las cifras más cercanas a 2,00 indican que la parte ensanchada del fruto se encuentra más alejada de su base; mientras que las cifras más distantes de 2,00 indican que la parte ensanchada del fruto tiene mayor aproximación a la base.



**Figura 3.14. Caracteres del fruto:** longitud del fruto (C29), distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (C30), longitud del pedicelo (C31), diámetro del fruto (C32) y ángulo del ápice del fruto (C33)



**Figura 3.15. Caracteres de la semilla:** longitud (C37) y ancho de la semilla (C38)

### e) Caracteres de las semillas

Se extrajeron las semillas (todas) de cinco frutos por cada planta (de seis plantas por cada accesión para la longitud y ancho de la semilla, y de 15 plantas por cada accesión para el número de semillas); dichas semillas fueron sometidas a un proceso de lavado y secado. Los caracteres longitud y ancho de la semilla se obtuvieron mediante el programa Image Tool 2.0.

*Longitud y ancho de la semilla (C37 y C38):* cinco semillas de cada fruto fueron escaneadas y medidas digitalmente. Para medir la longitud de la semilla se determinaron visualmente la base y el ápice de cada semilla, y luego se midió la

distancia entre estos dos extremos, mientras que para el ancho de la semilla se ubicó visualmente y midió su parte más ensanchada (Figura 3.15).

*Semillas por fruto (C39)*: En todas las accesiones, con excepción de A-41, el número de semillas por fruto se obtuvo indirectamente, mediante el peso de 100 semillas. Primeramente se determinó el peso de 100 semillas de una muestra de fruto tomada al azar en cada accesión. A continuación, se obtuvieron los pesos de las diferentes muestras (cinco por cada planta) y se relacionaron con el respectivo peso de 100 semillas; estimándose de esta manera, el número de semillas de cada muestra. Los frutos de la accesión A-41 presentaron un número bajo de semillas, que se contabilizó directamente.

### **3.2.3. Análisis estadístico de los datos (caracterización morfológica)**

Se analizó la variabilidad morfológica de las 24 accesiones, por separado y en los grupos agronómicos caracterizados morfológicamente, mediante un análisis de varianza (ANOVA) y a través del cálculo de significación de las diferencias entre medias de los caracteres, mediante la prueba de rango múltiple de Student-Newman-Keuls ( $P < 0,05$ ). Los caracteres fueron agrupados de acuerdo con la parte u órgano de la planta al que pertenecen (Tabla 3.3). Para el desarrollo de este análisis se utilizó el programa estadístico STATGRAPHICS® Plus 5.1 (Statistical Graphics Corporation, Rocville, MO, USA). Además, se determinaron medidas de centralización y de dispersión.

A partir de los 39 caracteres cuantitativos se obtuvo una matriz de correlaciones, mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ); utilizando el programa NTSYS-pc 2.0 (Rohlf, 1996). Se contabilizó el número de correlaciones significativas, categorizadas de acuerdo con los niveles de significancia  $\alpha = 0,05$ ;  $\alpha = 0,01$  y  $\alpha = 0,001$ . Asimismo, y dado que la existencia de múltiples comparaciones hace que puedan considerarse como significativas correlaciones que realmente no lo son, se estudió la significancia a un nivel de 0,0000674 que corresponde a  $\alpha = 0,05$ , de acuerdo con la prueba de Bonferroni para el estudio de múltiples correlaciones (Hochberg, 1988).

Se calculó la heredabilidad en sentido amplio ( $H^2$ ) de cada uno de los caracteres estudiados, relacionando la diversidad genotípica con la fenotípica, a través de la fórmula expuesta por Dabholkar (1999).

$$H^2 = \frac{\sigma_g}{\sigma_p}$$

Donde:

$$\begin{aligned} H^2 &= \text{Heredabilidad en el sentido amplio} \\ \sigma_g &= \text{Variación genotípica} \\ \sigma_p &= \text{Variación fenotípica} \end{aligned}$$

- La variación genotípica  $\sigma_g$  fue calculada mediante la siguiente relación:

$$\sigma_g = \frac{CMe - CMi}{n}$$

Donde:

$$\begin{aligned} CMe &= \text{Suma de Cuadrados Medios entre grupos (obtenida a partir del ANOVA)} \\ CMi &= \text{Suma de Cuadrados Medios dentro de grupos (obtenida a partir del ANOVA)} \\ n &= \text{número de muestras} \end{aligned}$$

- La variación fenotípica  $\sigma_p$  fue calculada en la siguiente forma:

$$\sigma_p = \sigma_g + CMi$$

Para llevar a cabo un análisis multivariante de agrupamientos y de ordenación, los valores de los caracteres fueron estandarizados, y con los nuevos valores se confeccionó una matriz de distancias euclídeas entre las accesiones. Utilizando dicha matriz se desarrolló un análisis de agrupamientos, mediante el método de agrupaciones pareadas no ponderadas basadas en medias aritméticas o UPGMA (Unweighted Pair Group Method using Arithmetics Means; Sneath & Sokal, 1973), y se obtuvo el respectivo fenograma. Se calculó el grado de distorsión del fenograma ( $r$  = coeficiente de correlación cofenética) a través del test de Mantel (1967), para lo cual

se obtuvo primeramente la matriz cofenética del fenograma, y esta a su vez fue comparada con la matriz de distancias euclídeas.

Para aplicar los métodos de ordenación se preparó una matriz de correlación entre caracteres utilizando valores estandarizados y el coeficiente de correlación de Pearson, a partir de la cual se efectuó un análisis de componentes principales.

El análisis multivariante de agrupamientos y de componentes principales se desarrolló utilizando el programa NTSYS-pc 2.0 (Rohlf, 1996).

### **3.3. CARACTERIZACIÓN MOLECULAR**

El estudio de caracterización molecular se llevó a cabo durante dos estancias del autor de la tesis en el área de mejora genética de solanáceas del Centro de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad Valenciana (COMAV) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV, España). A continuación se detalla la metodología desarrollada para el cumplimiento de este objetivo.

#### **3.3.1. Extracción de ADN y amplificación de fragmentos de longitud polimórfica (AFLPs)**

Para la extracción de ADN genómico se obtuvieron tres muestras de diferentes plantas de cada una de las accesiones en estudio, a partir de hojas jóvenes (de aproximadamente 5 cm de longitud) colectadas de las plántulas establecidas en el vivero para la posterior siembra en la parcela. Las muestras fueron recogidas y sometidas a un proceso de desecación con gel de sílice para su conservación hasta el momento de la extracción. El aislamiento de ADN tiene como objeto separarlo del ARN, proteínas, y demás componentes celulares, lo cual es posible a través de tres etapas principales: la lisis de la membrana celular, la extracción del ADN genómico y su precipitación. Esto se desarrolló mediante el método del CTAB (Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide) o bromuro de hexadeciltrimetilamonio (Doyle & Doyle, 1987), a través del cual las células vegetales pueden lisarse con el CTAB, que forma un complejo insoluble con los ácidos nucleicos en un medio hiposalino. De este modo los componentes fenólicos, los polisacáridos y los demás contaminantes permanecen en

un sobrenadante y pueden eliminarse por lavado. El complejo de ADN se solubiliza aumentando la concentración salina y se precipita con etanol o isopropanol.

La integridad del ADN fue analizada mediante electroforesis en gel de agarosa (0,8% de concentración) y su concentración se determinó con el uso de un espectrofotómetro (Nanodrop N D-1000), el cual, además de indicar la cantidad de ADN permite conocer su calidad; en este estudio se usaron muestras con un ratio de absorbancia (260/280) cercano a 1,8, que es generalmente aceptable como ADN puro.

El análisis de los polimorfismos de longitud de fragmentos amplificados de ADN, o AFLPs, fue desarrollado según el procedimiento descrito por Vos *et al.* (1995), según el procedimiento que se indica a continuación; las fases de digestión y ligación fueron desarrolladas a través del kit comercial Invitrogen AFLP® (Invitrogen® Carlsbad, CA, EE.UU), de acuerdo a las instrucciones indicadas por el fabricante.

#### **a) Digestión**

La digestión del ADN se efectuó con dos enzimas de restricción *EcoRI* (que corta seis nucleótidos en secuencia G<sup>↓</sup>AATTC) y *MseI* (que corta cuatro nucleótidos en secuencia T<sup>↓</sup>TAA). Se realizó la digestión de 100 ng de ADN genómico en un volumen final de 10 µl durante 2,50 h a 37 °C con 0,80 µl de *EcoRI* (1,25 unidades/µl) y 0,80 µl de *MseI* (1,25 unidades/µl) en 2,00 µl de tampón 5X. Se efectuó una incubación durante un periodo de 2,50 h a 37 °C, seguida de 15 min a 70°C con el fin de inactivar las enzimas.

#### **b) Ligación**

El ADN digerido se ligó a adaptadores específicos para las enzimas de restricción utilizadas (endonucleasas). Los adaptadores usados fueron los siguientes:

Adaptador *EcoRI*:    5'–CTCGTAGACTGCGTACC–3'  
                                  3'–CATCTGACGCATGGTTAA–5'

Adaptador *MseI*:        5'–GACGATGAGTCCTGAG–3'  
                                  3'–TACTCAGGACTCAT–5'

Para desarrollar la ligación, al volumen total de cada muestra de reacción de la digestión se le adicionaron 9,60 µl de una solución que contenía una mezcla de los adaptadores *EcoRI* – *MseI* (10 nM, respectivamente) y 0,40 µl de T4 ADN ligasa (1 unidad/µl) La mezcla fue incubada durante 3 h a 20 °C.

### c) Amplificación

La amplificación de fragmentos digeridos y ligados se suele realizar mediante dos fases (preselectiva y selectiva), para lo cual se utilizan cebadores complementarios a cada uno de los dos adaptadores.

#### Amplificación preselectiva

En la amplificación de los fragmentos reconocidos por los adaptadores empleados en la ligación se utilizaron dos cebadores con un nucleótido adicional (marcado en negrita). Los cebadores presentan las secuencias:



Para la fase preselectiva se amplificó en un volumen final de 25,16 µl, con 5,00 µl de la reacción digestión – ligación diluida (1:10), con 2,50 µl *buffer* 10X con Mg; 1,00 µl de MgCl<sub>2</sub> (25 mM); 0,50 µl cebador *EcoRI*A (10 mM); 0,50 µl cebador *MseI*C; 1,00 µl de dNTPs (10 mM) y 0,16 µl de Taq polimerasa (5 unidades/ µl) (Roche, Basel, Suiza).

El programa de amplificación (perfil térmico PCR) efectuado se indica en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4. Programa de amplificación preselectiva de fragmentos de ADN digeridos y ligados**

Programa	Tiempo	Temperatura °C
Pre-desnaturalización (1 ciclo)	2'	94
Desnaturalización, hibridación y extensión (20 ciclos)	20"	94
	30"	56
	25"	72
Extensión final (1 ciclo)	30'	60

Esta fase se desarrolló utilizando un termociclador Geneamp System 9700 (Applied Biosystems, Foster City, California, EE. UU).

#### Amplificación selectiva

Los productos amplificados en la preamplificación sirven para hacer una segunda selección (amplificación selectiva) caracterizada por ser más rigurosa. Para ello, los cebadores utilizados son iguales a los empleados en la preselectiva, con la diferencia de que en esta segunda fase se adicionaron dos nucleótidos selectivos. Se utilizaron 11 combinaciones diferentes, según se indica en la Tabla 3.5. Con el fin de identificar el producto amplificado, los cebadores *EcoRI* fueron marcados con fluorocromos Fam, Hex y Ned.

Esta fase selectiva se amplificó en un volumen total de 24,66  $\mu$ l, con 2,00  $\mu$ l del producto de la preamplificación diluida (1:10). La composición fue la siguiente: 2,50  $\mu$ l *buffer* 10X con Mg; 1,00  $\mu$ l de  $MgCl_2$  (25 mM); 1,00  $\mu$ l de cebador *EcoRI ANN* (10 mM); 1,00  $\mu$ l de cebador *MseI CNN*; 1,00  $\mu$ l de dNTPs (10 mM) y 0,16  $\mu$ l de Taq polimerasa (5 unidades/ $\mu$ l) (Roche, Basel, Suiza).

La amplificación selectiva se llevo a cabo siguiendo el perfil térmico expuesto en la Tabla 3.6.

#### **d) Separación de productos amplificados (por electroforesis)**

Los fragmentos de ADN (productos amplificados) fueron separados por un secuenciador automático ABI/PRISM<sup>®</sup> 377 (Applied Biosystems, Foster City, California, EE. UU.); además de los fluorocromos usados para marcar los cebadores *EcoRI* en la amplificación selectiva, se utilizó un marcador Genscan 400 HD con fluorocromo Rox (rojo). Las muestras de las respectivas accesiones fueron preparadas en 12,00  $\mu$ l de formamida desionizada, compuesta por:

- 0,13  $\mu$ l de marcador de peso molecular Genescan 400 HD [ROX]
- 1,50  $\mu$ l de producto amplificado marcado con Fam
- 1,50  $\mu$ l de producto amplificado marcado con Hex
- 2,00  $\mu$ l de producto amplificado marcado con Ned (de cada accesión)

Tabla 3.5. Combinación de cebadores, enzimas de restricción, secuencias y fluorocromos usados en la amplificación selectiva

Número de combinación	Combinaciones de cebadores		Enzima de restricción	Secuencia	Fluorocromos en EcoRI
	EcoRI	Msel			
1	ACT	CAA	<i>EcoRI</i>	GACTGCGTACCAATTC <b>ACT</b>	Fam
			<i>Msel</i>	TGAGTCCTGAGTA <b>CAA</b>	
2	ACT	CCA	<i>EcoRI</i>	GACTGCGTACCAATTC <b>ACT</b>	Fam
			<i>Msel</i>	TGAGTCCTGAGTA <b>CCA</b>	
3	AGC	CAA	<i>EcoRI</i>	GACTGCGTACCAATTC <b>AGC</b>	Hex
			<i>Msel</i>	TGAGTCCTGAGTA <b>CAA</b>	
4	ACG	CAA	<i>EcoRI</i>	GACTGCGTACCAATTC <b>AGC</b>	Ned
			<i>Msel</i>	TGAGTCCTGAGTA <b>CAA</b>	
5	ACC	CAC	<i>EcoRI</i>	GACTGCGTACCAATTC <b>ACC</b>	Fam
			<i>Msel</i>	TGAGTCCTGAGTA <b>CAA</b>	
6	AGG	CAC	<i>EcoRI</i>	GACTGCGTACCAATTC <b>AGG</b>	Hex
			<i>Msel</i>	TGAGTCCTGAGTA <b>CAC</b>	
7	AAC	CAC	<i>EcoRI</i>	GACTGCGTACCAATTC <b>AAC</b>	Ned
			<i>Msel</i>	TGAGTCCTGAGTA <b>CAC</b>	
8	ACA	CAC	<i>EcoRI</i>	GACTGCGTACCAATTC <b>ACA</b>	Fam
			<i>Msel</i>	TGAGTCCTGAGTA <b>CAC</b>	
9	AAG	CTC	<i>EcoRI</i>	GACTGCGTACCAATTC <b>AAG</b>	Ned
			<i>Msel</i>	TGAGTCCTGAGTA <b>ACTC</b>	
10	AGC	CTC	<i>EcoRI</i>	GACTGCGTACCAATTC <b>AGC</b>	Hex
			<i>Msel</i>	TGAGTCCTGAGTA <b>ACTC</b>	
11	ACG	CCG	<i>EcoRI</i>	GACTGCGTACCAATTC <b>AGC</b>	Ned
			<i>Msel</i>	TGAGTCCTGAGTA <b>ACCG</b>	

En negrita constan los cebadores utilizados

Fam = longitud de onda azul, Hex = longitud de onda verde y Ned = longitud de onda amarilla

Tabla 3.6. Programa de amplificación selectiva de fragmentos de ADN digeridos y ligados

Programa	Tiempo	Temperatura °C
Pre-desnaturalización (1 ciclo)	2'	94
Desnaturalización, hibridación y extensión (10 ciclos, con reducción de-1°C/ciclo)	20"	94
	30"	66
	25"	72
Desnaturalización, hibridación y extensión (20 ciclos)	20"	94
	30"	56
	25"	72
Extensión final (1 ciclo)	30'	60

A continuación, dicho producto preparado con formamida y los respectivos marcadores, fue desnaturalizado durante cinco minutos a una temperatura de 90 °C; luego se colocó inmediatamente en hielo durante un período de 2 minutos, para posteriormente ser cargado en el secuenciador.

A través de los programas GeneScan v.3.1.2 (Applied Biosystems, Foster City, California, EE. UU) y Genographer v. 2.1.4. (Benham, 1999), los picos de absorbancia fueron convertidos en marcadores, con las cuales se construyó una matriz binaria (1 = presencia, 0 = ausencia, de marcadores). Es importante indicar que se consideraron únicamente los fragmentos de longitud comprendida entre 80 y 290 pares de bases, debido a que en dicho rango los fragmentos se pudieron distinguir con claridad en este estudio.

### **3.3.2. Análisis de datos de AFLPs (caracterización molecular)**

Como se mencionó anteriormente, a más de las accesiones cultivadas se estudió a una accesión silvestre, perteneciente a *S. cajanumense* Kunth, con el fin de disponer de un término de comparación de los resultados obtenidos y sus respectivos análisis estadísticos, por lo que es de indicar que cada análisis estadístico de caracterización molecular ha sido realizado con y sin la inclusión de *S. cajanumense*.

Utilizando la matriz de presencia y ausencia de marcadores, se determinó en forma manual el número y porcentaje de *loci* (marcadores) polimórficos, la presencia de marcadores específicas y universales en la amplificación de fragmentos AFLPs, así como también el número de diferencias relacionadas con la presencia/ausencia de alelos contenidos en las accesiones, entre cada par posible de estas; para ello se determinó el número de veces (diferencias) en que entre dos accesiones no coincidieron en la presencia o ausencia de un alelo, para cada par posible de accesiones.

Con el fin de conocer las relaciones genéticas de las accesiones de tomate de árbol se calculó la diversidad genética de Nei (1973), de acuerdo con los grupos agronómicos y con el origen de las accesiones, obteniéndose a más de la diversidad genética H, el promedio de la diversidad genética entre grupos ( $H_S$ ), la diferenciación genética entre grupos ( $G_{ST}$ ) y las distancias genéticas entre grupos ( $D_G$ ). Dichos análisis se desarrollaron utilizando el programa POPGENE 3.2 (Yeh & Boyle, 1997).

A partir de la matriz de presencia/ausencia de marcadores se confeccionó una matriz de similitud genética entre los pares posibles de accesiones, mediante el coeficiente de similitud desarrollado por Dice (1945) y adaptado por Nei & Li (1979) para datos moleculares; siendo la fórmula:  $S_{ij} = 2a / (2a + b + c)$ , donde *a* es el número de marcadores en *i* y *j*, *b* es el número de marcadores presentes en *i* y ausentes en *j*, y *c* es el número de marcadores presentes en *j* y ausentes en *i*.

Los resultados de la matriz de similitud se utilizaron para realizar un análisis de agrupaciones mediante el método UPGMA (Sneath y Sokal, 1973). Además, se estableció el grado de distorsión del fenograma obtenido (*r* = coeficiente de correlación cofenética), para lo cual fue necesario obtener la matriz cofenética del fenograma y compararla con la matriz de similitud.

Con la matriz de similitud se llevó a cabo además, un análisis de coordenadas principales (ACoP) de acuerdo con lo sugerido por Mohammadi & Prassana (2003). Los análisis de agrupación y de coordenadas principales fueron desarrollados mediante el programa estadístico NTSYS-pc 2.0 (Rohlf, 1996).

### **3.4. COMPARACIÓN ENTRE CARACTERES MORFOLÓGICOS Y MOLECULARES**

Con el fin de comparar la diversidad genética expresada y detectada en los caracteres morfológicos y en los moleculares, se efectuó un test de Mantel (1967) sobre los resultados obtenidos en cada una de las caracterizaciones (morfológica y molecular). Como se ha indicado anteriormente, un total de 22 accesiones fueron sometidas a ambos tipos de caracterizaciones (Tabla 3.2), por lo que esta comparación se ha limitado a dichas accesiones.

El test de Mantel (1967) se realizó comparando la matriz de distancias euclídeas de los datos morfológicos con la matriz de similitud de los caracteres moleculares AFLPs. Para ello, se utilizó el programa NTSYS-pc 2.0 (Rohlf, 1996).



## ***IV. RESULTADOS***



## 4.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

### 4.1.1. Variación en los caracteres morfológicos (ANOVA)

#### - Arquitectura de la planta

Se midieron cuatro caracteres relacionados con la arquitectura de la planta: altura del tallo principal, diámetro del tallo, longitud del segundo entrenudo y diámetro de la copa; en la Tabla 4.1 se recogen los valores medios de estos caracteres.

En el momento de la medición, la altura del tallo principal<sup>2</sup> varió entre 116,27 cm (A-36) y 163,36 cm (A-29), siendo la media general de 137,07 cm. Es de destacar que sólo dos accesiones tuvieron una altura superior a 160,0 cm, mientras que otras dos alcanzaron una altura inferior a 125,00 cm (Tabla 4.1).

El diámetro del tallo varió entre 2,60 cm (A-40) y 4,70 cm (A-41), con un valor medio general de 3,44 cm. Para este carácter es de destacar el valor muy alto de A-41 con respecto a las demás accesiones, con un diámetro casi 0,7 cm más ancho que el de la siguiente accesión (A-20).

Las diferencias altamente significativas encontradas en la longitud del segundo entrenudo se deben exclusivamente a que una accesión (A-20) alcanzó un valor (5,74 cm) muy superior al del resto de accesiones (que se encuentran en un rango de 3,57-4,63 cm). De hecho, la única diferencia significativa entre accesiones detectada por la prueba de rango múltiple de Student-Newman-Keuls, fue entre A-20 y el resto de accesiones (Tabla 4.1).

El diámetro de la copa varió entre 77,47 (A-40) y 159 cm (A-20), lo que muestra que existen importantes diferencias entre accesiones en el desarrollo de la copa. A este respecto la accesión A-40 destaca por su pequeña copa, con un diámetro casi 20 cm inferior al de la siguiente accesión (A-21). Asimismo, cuatro accesiones (A-20, A-33, A-34 y A-35) presentaron un diámetro de copa superior a 150 cm.

---

<sup>2</sup> Aquí y en adelante, los valores consignados como máximo y mínimo de cada carácter serán las máximas y mínimas medias resultantes de los 15 individuos de cada accesión.

## Resultados

Tabla 4.1. Comparación múltiple de diferencias entre medias de las 24 accesiones para caracteres de la arquitectura de la planta

Accesiones	Altura del tallo principal (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Longitud del segundo entrenudo (cm)	Diámetro de la copa (cm)
A-16	127,67 a b c	3,59 b c d e	4,52 a	132,67 b c d e f
A-17	128,47 a b c	3,61 b c d e	3,83 a	112,00 a b c d e f
A-18	143,47 c d e	3,52 b c d e	4,17 a	147,88 e f
A-19	144,73 c d e	3,28 b c d	4,31 a	130,33 b c d e f
A-20	148,32 d e f	4,06 e	5,74 b	159,00 f
A-21	138,20 b c d e	3,03 a b c	4,51 a	96,90 a b
A-22	132,79 a b c d	3,29 b c d	4,63 a	98,64 a b c
A-23	137,67 b c d e	3,38 b c d e	3,88 a	114,50 a b c d e f
A-24	129,64 a b c	3,09 a b c d	3,99 a	116,64 a b c d e f
A-25	130,93 a b c d	3,56 b c d e	4,01 a	124,33 a b c d e f
A-26	140,41 c d e	2,86 a b	3,70 a	116,00 a b c d e f
A-27	134,92 b c d e	3,11 a b c d	3,92 a	118,00 a b c d e f
A-29	163,36 g	3,59 b c d e	4,46 a	102,36 a b c d
A-30	160,13 f g	3,71 c d e	4,49 a	115,53 a b c d e f
A-31	140,00 c d e	3,34 b c d e	3,74 a	118,79 a b c d e f
A-32	129,36 a b c	3,85 d e	4,54 a	139,36 b c d e f
A-33	120,33 a b	3,43 b c d e	3,98 a	153,07 e f
A-34	127,47 a b c	3,55 b c d e	4,12 a	155,13 e f
A-35	137,47 b c d e	3,39 b c d e	4,49 a	158,00 f
A-36	116,27 a	3,01 a b c	3,57 a	122,87 b c d e f
A-37	151,40 e f g	3,54 b c d e	4,14 a	115,80 a b c d e f
A-39	130,58 a b c d	3,43 b c d e	4,37 a	142,00 c d e f
A-40	130,20 a b c d	2,60 a	4,40 a	77,47 a
A-41	145,93 c d e	4,70 f	4,25 a	144,28 d e f
<b>Media general</b>	<b>137,07</b>	<b>3,44</b>	<b>4,24</b>	<b>125,48</b>
<b>Error estándar</b>	<b>3,79</b>	<b>0,15</b>	<b>0,23</b>	<b>8,90</b>

Diferentes letras dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre accesiones. Según la prueba de Student-Newman-Keuls

En todos los caracteres se han encontrado diferencias altamente significativas ( $P < 0,0001$ ), con valores del estadístico F entre 3,52 en la longitud del segundo entrenudo y 9,02 en altura del tallo principal (Tabla 4.2)È

El mayor coeficiente de variación de los caracteres de arquitectura de la planta (Tabla 4.3) ha resultado ser el del diámetro de la copa, con un coeficiente de 16,92%,

mientras que el menor coeficiente de variación fue el de la altura del tallo principal (8,31%).

**Tabla 4.2. Análisis de la varianza de las 24 accesiones para caracteres morfológicos de arquitectura de la planta**

Caracteres	Cuadrado medio (entre grupos)	Cuadrado medio (dentro de grupos)	Coefficiente F	Valor P
Altura del tallo principal	1,94 x 10 <sup>3</sup>	215,87	9,02	< 0,0001***
Diámetro del tallo	2,62	0,35	7,41	< 0,0001***
Longitud del segundo entrenudo	2,90	0,82	3,52	< 0,0001***
Diámetro de la copa	6,76 x 10 <sup>3</sup>	1,18 x 10 <sup>3</sup>	5,69	< 0,0001***

\* Significativo a nivel 0,05; \*\* Significativo a nivel 0,01; \*\*\*Significativo a nivel 0,001

**Tabla 4.3. Medidas de centralización y dispersión de los caracteres morfológicos de arquitectura de la planta en las 24 accesiones**

Carácter	Media	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Altura del tallo principal (cm)	137,07	163,36	116,27	11,39	8,31
Diámetro del tallo (cm)	3,44	4,70	2,60	0,42	12,60
Longitud del segundo entrenudo (cm)	4,24	5,74	3,57	0,44	10,40
Diámetro de la copa (cm)	125,48	159,00	77,47	21,23	16,92

Cuando se analizan los caracteres de arquitectura de la planta en relación con los distintos grupos agronómicos de accesiones que se han establecido, el análisis de varianza indica que sólo se encuentran diferencias significativas ( $P = 0,0062$ ) en el diámetro del tallo (Tabla 4.4), y únicamente entre el grupo trompo (constituido solamente por la accesión A-41) y el resto de grupos (Tabla 4.5).

## Resultados

**Tabla 4.4. Análisis de la varianza simple entre grupos agronómicos de accesiones para caracteres de arquitectura de la planta**

Caracteres	Cuadrado medio (entre grupos)	Cuadrado medio (dentro de grupos)	Coefficiente F	Valor P
Altura del tallo principal	89,13	138,26	0,64	0,6374
Diámetro del tallo	0,51	0,10	5,03	0,0062**
Longitud del segundo entrenudo	0,16	0,20	0,82	0,5309
Diámetro de la copa	806,63	375,60	2,15	0,1144

\* Significativo a nivel 0,05; \*\* Significativo a nivel 0,01; \*\*\*Significativo a nivel 0,001

**Tabla 4.5. Comparación múltiple de diferencias entre medias de grupos agronómicos de accesiones para caracteres de arquitectura de la planta**

Grupos agronómicos	Altura del tallo principal (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Longitud del segundo entre nudo (cm)	Diámetro de la copa (cm)
Anaranjado-elíptico-puntón	132,96 a	3,49 a	4,22 a	136,31 a
Anaranjado-elíptico	141,27 a	3,49 a	4,54 a	111,22 a
Morado	140,12 a	3,31 a	4,32 a	112,01 a
Rojo	137,05 a	3,15 a	3,95 a	124,63 a
Trompo	145,93 a	4,70 b	4,25 a	144,28 a
<b>Media</b>	<b>139,47</b>	<b>3,63</b>	<b>4,25</b>	<b>125,69</b>

Diferentes letras dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre grupos. Según la prueba de Student-Newman-Keuls

### - Hojas del tallo principal

En las hojas que se insertan en el tallo principal se midieron seis caracteres morfológicos, en la Tabla 4.6 se recogen los valores medios de estos caracteres.

La longitud del limbo expresó valores comprendidos entre 22,37 cm (en A-21) y 34,28 cm (A-35), con un valor medio general de 29,64 cm, y longitudes superiores a 30,00 cm en nueve de las 24 accesiones. La diferencia más relevante se presentó en A-21, con la mínima longitud del limbo, aproximadamente 4,00 cm menor que la de la siguiente accesión (A-24) y a mayor distancia del resto de accesiones.

Tabla 4.6. Comparación múltiple de diferencias entre medias de las 24 accesiones para caracteres de hojas provenientes del tallo principal

Accesión	Longitud del limbo (cm)	Longitud de la escotadura basal (cm)	Ancho de limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	Ancho máximo del limbo (cm)	Distancia entre la base y el ancho máximo de limbo (cm)	Ángulo del ápice del limbo (grados)
A-16	31,77	6,47	25,16	27,36	12,30	77,11
A-17	29,38	5,50	22,10	24,13	11,81	76,19
A-18	27,03	6,34	22,89	24,93	11,31	79,67
A-19	31,40	5,87	24,66	27,70	11,42	81,63
A-20	30,54	6,20	24,62	26,91	12,42	80,97
A-21	22,37 <sup>a</sup>	6,17	20,53 <sup>a b c</sup>	21,75 <sup>a b</sup>	10,16 <sup>a b</sup>	76,16 <sup>b c</sup>
A-22	29,07	5,21	21,86 <sup>b c d</sup>	24,37 <sup>a b c</sup>	10,84 <sup>a b</sup>	77,14 <sup>b c</sup>
A-23	29,95	6,34	24,29 <sup>c d</sup>	26,46 <sup>c</sup>	11,71 <sup>a b</sup>	78,01 <sup>b c</sup>
A-24	26,21 <sup>b</sup>	5,36	21,20 <sup>a b c d</sup>	23,15 <sup>a b c</sup>	10,16 <sup>a b</sup>	78,02 <sup>b c</sup>
A-25	29,88	6,61	25,28 <sup>d</sup>	27,18 <sup>c</sup>	11,40 <sup>a b</sup>	80,74 <sup>c</sup>
A-26	28,82	5,70	22,38 <sup>c d</sup>	24,74 <sup>a b c</sup>	11,40 <sup>a b</sup>	76,69 <sup>b c</sup>
A-27	28,28	5,61	23,08 <sup>c d</sup>	25,15 <sup>b c</sup>	11,25 <sup>a b</sup>	80,05 <sup>c</sup>
A-29	29,20	6,78	24,66 <sup>c d</sup>	26,30 <sup>c</sup>	12,00 <sup>a b</sup>	81,71 <sup>c</sup>
A-30	31,40	6,59	24,61 <sup>c d</sup>	27,22 <sup>c</sup>	12,49 <sup>b</sup>	80,48 <sup>c</sup>
A-31	28,60	5,81	22,23 <sup>c d</sup>	24,53 <sup>a b c</sup>	10,81 <sup>a b</sup>	78,24 <sup>b c</sup>
A-32	32,22	5,83	23,63 <sup>c d</sup>	26,35 <sup>c</sup>	11,10 <sup>a b</sup>	74,04 <sup>b</sup>
A-33	32,16	5,02	21,79 <sup>b c d</sup>	25,05 <sup>a b c</sup>	11,07 <sup>a b</sup>	73,60 <sup>b</sup>
A-34	30,77	5,09	21,28 <sup>a b c d</sup>	24,33 <sup>a b c</sup>	11,27 <sup>a b</sup>	73,38 <sup>b</sup>
A-35	34,28	3,73 <sup>a</sup>	18,02 <sup>a</sup>	23,08 <sup>a b c</sup>	11,88 <sup>a b</sup>	65,28 <sup>a</sup>
A-36	28,10	4,52 <sup>a b</sup>	18,40 <sup>a b</sup>	20,78 <sup>a</sup>	9,56 <sup>a</sup>	67,87 <sup>a</sup>
A-37	31,85	5,76	22,96 <sup>c d</sup>	25,31 <sup>b c</sup>	11,06 <sup>a b</sup>	73,40 <sup>b</sup>
A-39	29,28	6,22	22,77 <sup>c d</sup>	24,90 <sup>a b c</sup>	10,84 <sup>a b</sup>	77,05 <sup>b c</sup>
A-40	29,53	6,57	23,46 <sup>c d</sup>	24,67 <sup>a b c</sup>	10,56 <sup>a b</sup>	78,18 <sup>b c</sup>
A-41	29,27	6,95	23,67 <sup>c d</sup>	24,28 <sup>a b c</sup>	10,98 <sup>a b</sup>	79,80 <sup>c</sup>
<b>Media general</b>	<b>29,64</b>	<b>5,84</b>	<b>22,73</b>	<b>25,02</b>	<b>11,24</b>	<b>76,89</b>
<b>Error estándar</b>	<b>1,05</b>	<b>0,29</b>	<b>0,86</b>	<b>0,90</b>	<b>0,55</b>	<b>1,14</b>

Diferentes letras dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre accesiones. Según la prueba de Student-Newman-Keuls

## Resultados

Con una longitud de la escotadura basal de 6,95 cm, la accesión A-41 resultó con el valor más alto de todas las accesiones, siendo la menor longitud la expresada por A-35 (3,73 cm). La particularidad de esta última por presentar una escotadura basal notablemente más corta que el resto de accesiones (con longitudes de 4,52 – 6,95 cm) se reflejó en diferencias altamente significativas.

El valor medio general del ancho del limbo a la altura de la escotadura basal se ubicó en 22,73 cm, siendo A-25 (25,28 cm) y A-16 (25,16 cm) las accesiones con mayores valores (medios). El resto de accesiones se ubicaron en medidas por debajo de los 25 cm, y de éstas, las accesiones A-35 y A-36 han sido las de menor ancho (18,02 y 18,40 cm, respectivamente).

En las mediciones de las hojas provenientes del tallo, el ancho máximo del limbo varió entre 20,78 cm (A-36) y 27,70 cm (A-19), con una media general de 25,02 cm. Además de la accesión A-19, otras tres accesiones mostraron anchos superiores a 27,00 cm, mientras que en otras cuatro el ancho fue inferior a 24,00 cm, entre ellas, al igual que ocurrió con el carácter anterior, las accesiones A-35 y A-36.

La distancia entre la base y el ancho máximo del limbo se situó en un rango entre 9,56 cm (A-36) y 12,49 cm (A-30), con una media general de 11,24 cm. Entre todas las accesiones, tres se destacaron por mostrar distancias mayores de 12,00 cm, y otras tres asumieron una distancia menor de 10,20 cm, entre las que A-21 y A-24 tuvieron valores similares. Sin embargo, la única diferencia significativa se encontró entre la accesión A-36 por su bajo valor y A-30 que presentó el valor más alto.

El ángulo del ápice del limbo de las hojas del tallo principal fue siempre agudo (menor de 90°), variando en un rango entre 65,28° (A-35) y 81,71° (A-29), con diferencias altamente significativas entre accesiones. Se destacaron dos accesiones con ángulos superiores a 81° (A-19 y A-29) y dos con valores menores de 68° (A-35 y A-36), que explican en gran parte las diferencias altamente significativas halladas en este carácter y definen a estas accesiones como las de hojas (del tallo) más agudas, en comparación con el resto del material vegetal evaluado.

Los seis caracteres relacionados con la hoja del tallo principal mostraron diferencias significativas en diferente nivel. La distancia entre la base y el ancho máximo del limbo resultó con una diferencia significativa  $P = 0,0279$ , y con un valor del estadístico F de 1,68; mientras que los demás caracteres mostraron diferencias altamente significativas

( $P < 0,0001$ ), con valores del estadístico F comprendidos entre 3,72 en ancho máximo del limbo y 12,74 en el ángulo del ápice del limbo (Tabla 4.7).

**Tabla 4.7. Análisis de la varianza de las 24 accesiones para caracteres morfológicos de hojas provenientes del tallo principal**

Caracteres	Cuadrado medio (entre grupos)	Cuadrado medio (dentro de grupos)	Coefficiente F	Valor P
Longitud del limbo	85,27	16,64	5,12	< 0,0001***
Longitud de la escotadura basal	8,68	1,29	6,69	< 0,0001***
Ancho del limbo a altura de escotadura basal	55,06	11,25	4,89	< 0,0001***
Ancho máximo del limbo	45,58	12,26	3,72	< 0,0001***
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo	7,81	4,66	1,68	0.0279*
Ángulo del ápice del limbo	249,77	19,60	12,74	< 0,0001***

\* Significativo a nivel 0,05; \*\* Significativo a nivel 0,01; \*\*\*Significativo a nivel 0,001

De los seis caracteres relacionados con las hojas del tallo principal y sobre la base de su respectivo coeficiente de variación, la longitud de la escotadura basal (13,01%) es el carácter que mayor variabilidad expresó entre todas las accesiones; por el contrario, el ángulo del ápice del limbo resultó con el menor coeficiente (5,31%). Esto indica que entre los caracteres de este grupo pueden existir diferencias relevantes en su aporte a la variabilidad de la especie (Tabla 4.8).

**Tabla 4.8. Medidas de centralización y dispersión de los caracteres morfológicos de hojas del tallo principal en las 24 accesiones**

Carácter	Media	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Longitud del limbo (cm)	29,64	34,28	22,37	2,38	8,04
Longitud de la escotadura basal (cm)	5,84	6,95	3,73	0,76	13,01
Ancho del limbo a la altura de escotadura basal (cm)	22,73	25,28	18,02	1,92	8,43
Ancho máximo del limbo (cm)	25,03	27,70	20,78	1,74	6,96
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	11,24	12,49	9,56	0,72	6,42
Ángulo del ápice del limbo (Grados)	76,89	81,71	65,28	4,08	5,31

## Resultados

Con referencia a los grupos agronómicos de tomate de árbol, los seis caracteres de las hojas del tallo principal estudiados presentaron valores medios muy similares entre grupos (Tabla 4.10), sin diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) según el análisis de la varianza (Tabla 4.9).

**Tabla 4.9. Análisis de la varianza simple entre grupos agronómicos para caracteres morfológicos de hojas provenientes del tallo principal**

Caracteres	Cuadrado medio (entre grupos)	Cuadrado medio (dentro de grupos)	Coefficiente F	Valor P
Longitud del limbo	7,91	5,21	1,52	0,2370
Longitud de la escotadura basal	1,23	0,44	2,81	0,0549
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal	2,77	3,86	0,72	0,5898
Ancho máximo del limbo	1,20	3,42	0,35	0,8400
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo	0,27	0,57	0,48	0,7530
Ángulo del ápice del limbo	17,99	16,37	1,10	0,3854

\* Significativo a nivel 0,05; \*\* Significativo a nivel 0,01; \*\*\*Significativo a nivel 0,001

**Tabla 4.10. Comparación múltiple de diferencias entre medias de grupos agronómicos, para caracteres de hojas del tallo principal**

Grupos	Longitud del limbo (cm)	Longitud de la escotadura basal (cm)	Ancho de limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	Ancho máximo de limbo (cm)	Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	Ángulo del ápice del limbo (grados)
Anaranjado-elíptico-puntón	30,74 a	5,39 a	22,10 a	24,93 a	11,30 a	74,92 a
Anaranjado-elíptico	30,01 a	6,15 a	23,89 a	26,01 a	11,71 a	78,65 a
Morado	29,05 a	6,32 a	23,27 a	25,17 a	11,08 a	77,67 a
Rojo	27,59 a	5,75 a	22,39 a	24,49 a	11,03 a	78,61 a
Trompo	29,27 a	6,95 a	23,67 a	24,28 a	10,98 a	79,80 a
<b>Media</b>	<b>29,33</b>	<b>6,11</b>	<b>23,06</b>	<b>24,98</b>	<b>11,22</b>	<b>77,93</b>

Diferentes letras dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre grupos. Según la prueba de Student-Newman-Keuls

**- Hojas provenientes de la copa**

Se evaluaron siete caracteres en las hojas provenientes de las ramificaciones de la copa, cuyos valores medios se exponen en la Tabla 4.11. De forma general, las accesiones A-18 y A-24 resultaron con los mayores valores medios; en cambio A-37 y A-27 se caracterizaron por presentar los menores.

La longitud del limbo presentó una media de 21,82 cm, existiendo un amplio rango de casi 10,00 cm entre 15,54 cm (A-37) y 25,33 cm (A-18); dos accesiones expresaron longitudes superiores a 24,00 cm y otras dos presentaron valores menores de 17,00 cm.

De acuerdo con las mediciones realizadas, la longitud de la escotadura basal varió entre 2,66 cm (A-37) y 5,84 cm (A-41), con distribución uniforme respecto de su media (4,29 cm), resultando 12 accesiones con longitudes mayores y otras 12 con longitudes menores que ese valor.

El ancho del limbo a la altura de la escotadura basal se distribuyó entre un mínimo de 9,54 cm en la accesión A-37 y un máximo de 19,03 cm en A-18, con una media de 15,35 cm. El segundo mayor ancho fue el de la accesión A-24 (con una diferencia menor de 1,00 cm), mientras que a la accesión con ancho mínimo fue antecedida por A-27 (con una diferencia de 2,32 cm). El bajo valor del ancho del limbo a la altura de la escotadura basal presentado por A-37 determinó una notable diferencia altamente significativa entre dicha accesión y el resto del material en la prueba de rango múltiple de Student-Newman-Keuls (Tabla 4.11).

El ancho máximo del limbo resultó con un valor medio de 17,55 cm y un rango de 11,02 (A-37) a 20,91 cm (A-18); tres accesiones resultaron con anchos superiores a 20,00 cm y otras tres mostraron valores inferiores a 15,00 cm.

La distancia entre la base y el ancho máximo del limbo ha alcanzado su máximo en A-21 (8,80 cm) y su mínimo en A-37 (5,04 cm), con una diferencia considerable de 3,76 cm entre dichos extremos; la accesión A-24 presentó también un alto valor, con una mínima diferencia de 0,13 cm con respecto al máximo.

Los ángulos apicales de las hojas de la copa (ángulo del ápice del limbo) fueron agudos, con una media de 66,87°; A-41 (83,82°), A-24 (82,82°) y A-18 (80,44°) fueron las accesiones con mayores ángulos y por ende las de hojas más abiertas en su

Tabla 4.11. Comparación múltiple de diferencias entre medias de las 24 accesiones para caracteres de hojas provenientes de la copa

Accesiones	Longitud del limbo (cm)	Longitud de la escotadura basal (cm)	Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	Ancho máximo del limbo (cm)
A16	21,29	3,78	13,40	16,64
A17	23,58	4,56	17,01	19,09
A18	25,33	5,44	19,03	20,91
A19	23,49	4,56	16,33	18,42
A20	23,04	4,95	17,16	18,70
A21	22,46	4,89	17,44	19,44
A22	22,26	4,07	15,48	17,94
A23	20,06	3,80	14,10	15,77
A24	24,32	5,15	18,21	20,88
A25	22,80	4,75	16,92	18,76
A26	22,95	4,59	16,63	19,16
A27	16,98	3,50	11,86	14,06
A29	23,03	5,41	17,42	19,75
A30	23,28	4,53	17,06	19,03
A31	21,81	4,22	15,75	18,42
A32	21,04	4,03	14,37	15,96
A33	23,34	3,91	14,71	17,61
A34	21,67	3,71	14,02	16,60
A35	22,84	3,15	13,05	15,60
A36	21,80	2,98	12,14	14,69
A37	15,54	2,66	9,54	11,02
A39	21,15	3,93	14,51	16,96
A40	18,54	4,52	14,57	15,76
A41	21,16	5,84	17,70	20,04
<b>Media general</b>	<b>21,82</b>	<b>4,29</b>	<b>15,35</b>	<b>17,55</b>
<b>Error estándar</b>	<b>0,68</b>	<b>0,22</b>	<b>0,60</b>	<b>0,62</b>

Diferentes letras dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre accesiones. Según la prueba de Student-Newman-Keuls

Tabla 4.11. Continuación.

Accesiones	Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)		Ángulo del ápice del limbo (grados)		Longitud del peciolo (cm)	
A16	8,13	c d e	63,99	c d e f	7,18	a b c
A17	8,51	e	77,47	f g h	8,16	c d e
A18	8,65	e	80,44	g h	9,25	e f
A19	7,73	c d e	64,60	c d e f	8,53	c d e f
A20	7,53	c d e	73,99	e f g h	8,83	c d e f
A21	8,80	e	69,54	d e f g h	8,45	c d e f
A22	8,29	c d e	69,85	d e f g h	8,74	c d e f
A23	7,12	b c d e	59,73	b c d e	7,86	b c d e
A24	8,67	e	82,82	h	8,65	c d e f
A25	7,67	c d e	77,75	f g h	7,92	b c d e
A26	8,06	c d e	75,46	f g h	8,10	c d e
A27	5,74	a b	53,68	b c	9,44	e f
A29	8,02	c d e	69,06	d e f g h	9,05	d e f
A30	8,15	c d e	77,21	f g h	8,13	c d e
A31	7,85	c d e	71,97	e f g h	8,76	c d e f
A32	6,98	b c d e	55,28	b c d	7,44	b c d
A33	7,63	c d e	56,32	b c d	8,34	c d e f
A34	7,17	b c d e	64,67	c d e f	7,75	b c d e
A35	6,57	b c	49,72	a b	7,26	a b c
A36	7,02	b c d e	40,95	a	8,52	c d e f
A37	5,04	a	56,45	b c d	6,02	a
A39	6,66	b c d	64,26	c d e f	7,29	a b c
A40	6,48	b c	65,89	c d e f g	6,56	a b
A41	8,41	d e	83,82	h	9,88	f
<b>Media general</b>	<b>7,54</b>		<b>66,87</b>		<b>8,17</b>	
<b>Error estándar</b>	<b>0,36</b>		<b>3,31</b>		<b>0,34</b>	

Diferentes letras dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre accesiones. Según la prueba de Student-Newman-Keuls

## Resultados

extremo superior; las accesiones con ápices más agudos (menores ángulos) fueron A-36, con el valor más alejado del resto (40,95°) y A-35 (49,72).

El valor medio de longitud del peciolo fue 8,17 cm, con un rango de variación entre 6,02 cm (A-37) y 9,88 cm (A-41); las accesiones con longitud de peciolo superior a 9,00 cm han sido A-18, A-27, A-29 y A-41, en tanto que las caracterizadas por presentar peciolos más cortos (por debajo de 7,00 cm) fueron A-37 y A-40.

De los siete caracteres de las hojas provenientes de la copa, se han encontrado diferencias altamente significativas ( $P < 0,0001$ ) en todos ellos (Tabla 4.12), con valores del estadístico F comprendidos entre 6,83 (para la distancia entre la base y el ancho máximo del limbo) y 14,30 (para el ancho del limbo a la altura de la escotadura basal).

**Tabla 4.12. Análisis de la varianza de las 24 accesiones para caracteres morfológicos de hojas provenientes de la copa**

Caracteres	Cuadrado medio (entre grupos)	Cuadrado medio (dentro de grupos)	Coefficiente F	Valor P
Longitud del limbo	74,55	7,04	10,58	$P < 0,0001^{***}$
Longitud de la escotadura basal	9,52	0,76	12,45	$P < 0,0001^{***}$
Ancho del limbo a altura de escotadura basal	79,17	5,53	14,30	$P < 0,0001^{***}$
Ancho máximo del limbo	82,40	5,80	14,20	$P < 0,0001^{***}$
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo	13,68	2,00	6,83	$P < 0,0001^{***}$
Ángulo del ápice del limbo	$1,82 \times 10^3$	164,35	11,13	$P < 0,0001^{***}$
Longitud del peciolo	12,26	1,78	6,86	$P < 0,0001^{***}$

\* Significativo a nivel 0,05; \*\* Significativo a nivel 0,01; \*\*\*Significativo a nivel 0,001

Los caracteres analizados en hojas de la copa presentaron coeficientes de variación (Tabla 4.13) comprendidos entre 10,21% (longitud del limbo) y 18,59% (longitud de la escotadura basal); este último carácter también fue el que mayor variación presentó en hojas procedentes del tallo.

El análisis de varianza de siete caracteres de hojas de la copa entre grupos agronómicos (Tabla 4.14) reveló que el único carácter con diferencias significativas ha sido la longitud del peciolo ( $P = 0,0176$ ), entre el grupo trompo (9,88 cm) y el grupo morado (7,40 cm) (Tabla 4.15).

**Tabla 4.13. Medidas de centralización y dispersión de los caracteres morfológicos de hojas de la copa en las 24 accesiones**

Carácter	Media	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Longitud del limbo (cm)	21,82	25,33	15,54	2,23	10,21
Longitud de la escotadura basal (cm)	4,29	5,84	2,66	0,80	18,59
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	15,35	19,03	9,54	2,30	14,97
Ancho máximo del limbo (cm)	17,55	20,91	11,02	2,34	13,36
Distancia entre base y ancho máximo del limbo (cm)	7,54	8,80	5,04	0,95	12,67
Ángulo del ápice del limbo (Grados)	66,87	83,82	40,95	11,05	16,52
Longitud del peciolo (cm)	8,17	9,88	6,02	0,91	11,08

**Tabla 4.14. Análisis de la varianza simple entre grupos agronómicos de accesiones para caracteres morfológicos de hojas provenientes de la copa**

Caracteres	Cuadrado medio (entre grupos)	Cuadrado medio (dentro de grupos)	Coefficiente F	Valor P
Longitud del limbo	3,17	5,34	0,59	0,6714
Longitud de la escotadura basal	0,99	0,55	1,78	0,1740
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal	3,32	5,69	0,58	0,6779
Ancho máximo del limbo	4,55	5,69	0,80	0,5405
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo	0,81	0,93	0,87	0,4989
Ángulo del ápice del limbo	188,04	108,09	1,74	0,1829
Longitud del peciolo	2,12	0,54	3,91	0,0176*

\* Significativo a nivel 0,05; \*\* Significativo a nivel 0,01; \*\*\*Significativo a nivel 0,001

**Tabla 4.15. Comparación múltiple de diferencias entre medias de grupos agronómicos, para caracteres de hojas de la copa**

Grupos	Longitud del limbo (cm)	Longitud de la escotadura basal (cm)	Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	Ancho máximo del limbo (cm)	Distancia entre la base y el ancho máximo de limbo (cm)	Ángulo del ápice del limbo (grados)	Longitud del peciolo (cm)
Anaranjado-elíptico-puntón	22,27 a	3,99 a	14,86 a	17,09 a	7,41 a	61,47 a	8,15 a b
Anaranjado-elíptico	22,19 a	4,42 a	15,43 a	18,11 a	8,14 a	67,63 a	8,32 a b
Morado	20,63 a	4,21 a	15,01 a	16,83 a	7,13 a	68,52 a	7,40 a
Rojo	22,40 a	4,67 a	16,43 a	18,75 a	7,78 a	73,10 a	8,86 a b
Trompo	21,16 a	5,84 a	17,70 a	20,04 a	8,41 a	83,82 a	9,88 b
<b>Media</b>	<b>21,73</b>	<b>4,63</b>	<b>15,89</b>	<b>18,16</b>	<b>7,77</b>	<b>70,91</b>	<b>8,52</b>

Diferentes letras dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre grupos. Según la prueba de Student-Newman-Keuls

**- Inflorescencias y flores**

Un total de ocho caracteres fueron medidos en las inflorescencias y flores, la Tabla 4.16 muestra los valores medios de dichos caracteres.

La accesión A-41 sobresalió por ser el material con valores más pequeños en caracteres de inflorescencias y flores, lo que se verificó en todas las variables medidas con excepción del ancho del pétalo, que sin embargo se mantuvo muy cerca (con una diferencia muy estrecha, de solo 0,01 cm) del valor mínimo, registrado en A-35 y A-37 (Tabla 4.16). Por otra parte, los valores altos no se concentraron en una única accesión.

La longitud de la inflorescencia tuvo un promedio de 8,05 cm; las accesiones A-29 (9,56 cm) y A-17 (9,15 cm) han sido las que presentaron las inflorescencias más largas, en tanto que A-41 (4,73 cm) presentó las inflorescencias más cortas, seguida por A-21 (7,29 cm) aunque con una considerable diferencia entre ambas (2,56 cm); precisamente, el bajo valor medio expresado por la accesión A-41 la ha diferenciado de forma significativa de las demás (Tabla 4.16). Otra de las diferencias significativas en las que A-41 se distanció del resto de material vegetal estudiado se presentó en la longitud del pedúnculo; en este carácter la media fue 3,54 cm, con un máximo de 4,93 cm en A-29 y un mínimo de solo 1,63 cm en A-41), distanciado de manera considerable (en 1,13 cm) del penúltimo valor.

De los caracteres de inflorescencias, la longitud del primer entrenudo del raquis se destacó por expresar un escaso rango, entre 1,61 cm (A-41) y 2,77 (A-22); únicamente dos accesiones superaron el valor de 2,50 cm.

La longitud del pétalo y el diámetro de la corola mostraron su máximo en A-30 (1,32 cm la longitud de pétalo y 2,64 el diámetro de la corola), mientras que los menores valores de estos caracteres se han medido en A-41 (1,00 cm y 2,00 cm, respectivamente) y en otras dos accesiones que resultaron con longitudes de pétalo y diámetro de corola iguales o menores de 1,10 cm y 2,10 cm, respectivamente.

El único carácter de los medidos en inflorescencias y flores que no asumió su menor valor en A-41 y con diferencias notables respecto de otras accesiones, ha sido el ancho del pétalo. Con una media de 0,48 cm, el carácter varió entre 0,42 cm (en A-19) y 0,56 cm (en A-20); las accesiones A-34 y A-41 también resultaron con valores muy bajos, sólo 0,03 cm por encima de las accesiones con pétalos más estrechos.

**Tabla 4.16. Comparación múltiple de diferencias entre medias de las 24 accesiones para caracteres de Inflorescencia y flor**

Accesión	Longitud de la inflorescencia	Longitud del pedúnculo	Longitud del primer entrenudo del raquis	Longitud del pétalo	Ancho del pétalo	Diámetro de la corola	Longitud de la antera	Longitud del estilo								
A16	7,67	b	3,56	b c	2,18	a b c	1,16	a	0,49	a	2,32	a	0,63	b	0,61	a b c
A17	9,15	b	4,36	b c	2,35	b c	1,17	a	0,48	a	2,34	a	0,57	a b	0,62	b c
A18	7,87	b	3,84	b c	2,20	a b c	1,07	a	0,52	a	2,14	a	0,55	a b	0,57	a b c
A19	8,25	b	3,64	b c	2,11	a b c	1,22	a	0,42	a	2,43	a	0,60	a b	0,58	a b c
A20	7,49	b	2,76	b	2,12	a b c	1,25	a	0,56	a	2,57	a	0,55	a b	0,57	a b c
A21	7,29	b	3,64	b c	2,28	a b c	1,05	a	0,50	a	2,10	a	0,61	a b	0,54	a b
A22	8,13	b	3,12	b c	2,77	c	1,23	a	0,44	a	2,47	a	0,58	a b	0,63	b c
A23	8,65	b	3,57	b c	2,59	b c	1,19	a	0,47	a	2,38	a	0,55	a b	0,58	a b c
A24	8,70	b	3,67	b c	2,38	b c	1,23	a	0,47	a	2,47	a	0,56	a b	0,58	a b c
A25	8,40	b	3,31	b c	2,33	b c	1,30	a	0,53	a	2,59	a	0,60	a b	0,58	a b c
A26	8,08	b	3,46	b c	2,01	a b	1,22	a	0,53	a	2,45	a	0,57	a b	0,53	a b
A27	7,73	b	3,88	b c	2,18	a b c	1,18	a	0,51	a	2,36	a	0,59	a b	0,57	a b c
A29	9,56	b	4,93	c	2,33	b c	1,25	a	0,53	a	2,60	a	0,59	a b	0,60	a b c
A30	8,17	b	3,23	b c	2,32	b c	1,32	a	0,52	a	2,64	a	0,58	a b	0,60	a b c
A31	8,40	b	3,78	b c	2,46	b c	1,26	a	0,52	a	2,52	a	0,59	a b	0,64	b c
A32	7,92	b	3,60	b c	2,21	a b c	1,11	a	0,47	a	2,21	a	0,57	a b	0,57	a b c
A33	8,23	b	3,99	b c	2,03	a b	1,13	a	0,48	a	2,27	a	0,66	b	0,60	a b c
A34	8,98	b	4,47	b c	2,36	b c	1,23	a	0,45	a	2,46	a	0,56	a b	0,59	a b c
A35	7,44	b	3,32	b c	2,13	a b c	1,24	a	0,44	a	2,49	a	0,52	a b	0,59	a b c
A36	8,18	b	3,33	b c	2,16	a b c	1,16	a	0,45	a	2,32	a	0,51	a b	0,69	c
A37	8,33	b	3,42	b c	2,16	a b c	1,12	a	0,44	a	2,23	a	0,55	a b	0,62	b c
A39	7,89	b	3,14	b c	1,94	a b	1,22	a	0,47	a	2,44	a	0,58	a b	0,59	a b c
A40	7,94	b	3,42	b c	2,32	b c	1,27	a	0,48	a	2,54	a	0,58	a b	0,61	a b c
A41	4,73	a	1,63	a	1,61	a	1,00	a	0,45	a	2,00	a	0,48	a	0,48	a
<b>Media general</b>	<b>8,05</b>		<b>3,54</b>		<b>2,23</b>		<b>1,19</b>		<b>0,48</b>		<b>2,39</b>		<b>0,57</b>		<b>0,59</b>	
<b>Error estándar</b>	<b>0,45</b>		<b>0,37</b>		<b>0,13</b>		<b>0,07</b>		<b>0,03</b>		<b>0,15</b>		<b>0,02</b>		<b>0,02</b>	

Diferentes letras dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre accesiones. Según la prueba de Student-Newman-Keuls

## Resultados

En cuanto a las dimensiones de los órganos reproductores de la flor, tanto la longitud de la antera como la del estilo han sido menores en A-41 (0,48 cm en ambos casos) que en el resto de las accesiones, al igual que ha sucedido en la mayoría de los restantes caracteres de inflorescencia y flor evaluados. La longitud media de la antera fue 0,57 cm, y 0,59 cm la del estilo. La accesión A-33 mostró la máxima longitud de antera (0,66 cm) seguida por otras tres accesiones con valores muy próximos, iguales ó superiores a 0,60 cm. Por otra parte, la máxima longitud del estilo se encontró en la accesión A-31, seguida por otras cuatro accesiones con valores superiores a 0,60 cm.

Cinco de los ocho caracteres estudiados presentaron diferencias significativas con diferentes niveles (Tabla 4.17). La longitud de la inflorescencia sobresalió por presentar diferencias altamente significativas ( $P < 0,0001$ ), seguida por caracteres con diferencias menos significativas ( $P < 0,01$  y  $P \leq 0,05$ ) como las longitudes del estilo, la antera, el pedúnculo y el primer entrenudo del raquis. Los valores del estadístico F estuvieron comprendidos entre 1,08 (longitud del pétalo) y 3,83 (longitud de la inflorescencia).

Tabla 4.17. Análisis de la varianza de las 24 accesiones para caracteres morfológicos de inflorescencia y flor

Caracteres	Cuadrado medio (entre grupos)	Cuadrado medio (dentro de grupos)	Coefficiente F	Valor P
Longitud de la inflorescencia	2,36	0,61	3,83	< 0,0001***
Longitud del pedúnculo	1,15	0,42	2,71	0,0018**
Longitud del primer entre nudo del raquis	0,15	0,05	2,71	0,0018**
Longitud del pétalo	0,01	0,17	1,08	0,3971
Ancho del pétalo	$3,99 \times 10^{-3}$	$2,48 \times 10^{-3}$	1,61	0,0829
Diámetro de la corola	$7,58 \times 10^{-2}$	$6,99 \times 10^{-2}$	1,09	0,3937
Longitud de la antera	$4,18 \times 10^{-3}$	$2,13 \times 10^{-3}$	1,97	0,0243*
Longitud del estilo	$4,86 \times 10^{-3}$	$1,98 \times 10^{-3}$	2,45	0,0045**

\* Significativo a nivel 0,05; \*\* Significativo a nivel 0,01; \*\*\*Significativo a nivel 0,001

Por lo que concierne al coeficiente de variación en los caracteres de inflorescencia y flor, los mayores coeficientes se han determinado en la longitud del pedúnculo (17,50%); la mayoría de los caracteres (ancho del pétalo, longitud de estilo, diámetro

de la corola, longitud del pétalo y longitud de la antera) asumieron coeficientes inferiores a 8,00% (Tabla 4.18).

**Tabla 4.18. Medidas de centralización y dispersión de los caracteres morfológicos de inflorescencia y flor en las 24 accesiones**

Caracteres	Media	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Longitud de la Inflorescencia (cm)	8,05	9,56	4,73	0,89	11,05
Longitud del pedúnculo (cm)	3,54	4,93	1,63	0,62	17,50
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	2,23	2,77	1,61	0,23	10,14
Longitud del pétalo (cm)	1,19	1,32	1,00	0,08	6,66
Ancho del pétalo (cm)	0,48	0,56	0,42	0,04	7,61
Diámetro de la corola (cm)	2,39	2,64	2,00	0,17	6,97
Longitud de la antera (cm)	0,57	0,66	0,48	0,04	6,58
Longitud del estilo (cm)	0,59	0,69	0,48	0,04	6,82

El análisis de varianza de los caracteres de inflorescencia y flor en relación con los grupos agronómicos muestra diferencias significativas y altamente significativas en las longitudes de la inflorescencia, del pedúnculo, del estilo y del primer entrenudo del raquis (Tabla 4.19), siendo altamente significativa ( $P > 0,0001$ ) en la longitud de la inflorescencia, significativas en la longitud del pedúnculo ( $P = 0,0068$ ), del estilo ( $0,0084$ ) y del primer entre nudo del raquis ( $P = 0,0228$ ).

**Tabla 4.19. Análisis de la varianza simple entre grupos agronómicos de accesiones para caracteres de inflorescencia y flor**

Caracteres	Cuadrado medio (entre grupos)	Cuadrado medio (dentro de grupos)	Coefficiente F	Valor P
Longitud de la inflorescencia	3,00	0,32	9,25	< 0,0001***
Longitud del pedúnculo	1,13	0,22	4,93	0,0068**
Longitud del primer entre nudo del raquis	0,12	0,03	3,65	0,0228*
Longitud del pétalo	0,01	$5,48 \times 10^{-3}$	1,92	0,1483
Ancho del pétalo	$1,2 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$	0,89	0,4903
Diámetro de la corola	0,04	0,02	1,77	0,1766
Longitud de la antera	$3,0 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	2,68	0,0631
Longitud del estilo	$4,4 \times 10^{-3}$	$9,56 \times 10^{-4}$	4,68	0,0084**

\* Significativo a nivel 0,05; \*\* Significativo a nivel 0,01; \*\*\* Significativo a nivel 0,001

## Resultados

Las diferencias encontradas se deben a la presencia del grupo trompo (representado por la accesión A-41) que al momento de realizar la prueba de rango múltiple de Student-Newman-Keuls se diferenció significativamente de las demás agrupaciones en todos los caracteres de inflorescencia y flor, exceptuando al ancho del pétalo (Tabla 4.20).

### - Infrutescencias – frutos

En el estudio de caracterización morfológica se establecieron 11 caracteres de infrutescencias y frutos de tomate de árbol, tres de ellos correspondientes a infrutescencias (frutos por planta, de infrutescencias por planta y de frutos por infrutescencia) y los ocho restantes a frutos. La Tabla 4.21 contiene los valores medios determinados para estos caracteres.

Las diferencias significativas y altamente significativas encontradas en los caracteres de infrutescencias y frutos se debieron principalmente a la presencia de la accesión A-41, que se caracterizó por presentar los mayores valores medios en dos de los tres caracteres de infrutescencias y las menores dimensiones (medias) en siete de los ocho caracteres de fruto, por lo que mostró diferencias significativas con el resto de accesiones en al menos seis de estos caracteres de infrutescencias y frutos al efectuar la prueba de rango múltiple de Student-Newman-Keuls (Tabla 4.21).

El número de frutos por planta varió de forma muy considerable, con una media de 40,50 frutos por individuo. Las accesiones que produjeron menores valores fueron A-27, A-21 y A-20 (18,27; 20,27 y 20,53 frutos/planta, respectivamente), mientras que A-41 presentó el mayor número de frutos por planta (160,00 frutos), un valor significativamente diferente de la media y del resto de accesiones, seguida de A-34 (60,67), A-35 (55,60) y A-37 (54,07); la única diferencia significativa encontrada en este carácter ha sido entre A-41 y el resto del material evaluado.

El número de infrutescencias en cada planta varió entre 7,20 (A-20) y 22,13 (A-37), con una media de 13,52 infrutescencias/planta; 11 accesiones estuvieron por debajo de la media y únicamente dos accesiones produjeron más de 20 infrutescencias por planta.

Tabla 4.20. Comparación múltiple de diferencias entre medias de grupos agronómicos de accesiones para caracteres de inflorescencia y flor

Grupos	Longitud de la inflorescencia (cm)		Longitud del pedúnculo (cm)		Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)		Longitud del pétalo (cm)		Ancho del pétalo (cm)	Diámetro de la corola (cm)	Longitud de la antera (cm)		Longitud del estilo (cm)			
Anaranjado-elíptico-puntón	8,27	b	3,68	b	2,25	b	1,20	b	0,47	a	2,40	b	0,57	b	0,60	b
Anaranjado-elíptico	8,45	b	3,87	b	2,43	b	1,21	b	0,49	a	2,43	b	0,60	b	0,61	b
Morado	8,00	b	3,36	b	2,22	b	1,21	b	0,49	a	2,43	b	0,59	b	0,59	b
Rojo	8,10	b	3,71	b	2,19	b	1,18	b	0,51	a	2,36	b	0,57	b	0,57	b
Trompo	4,73	a	1,62	a	1,61	a	1,00	a	0,45	a	2,01	a	0,48	a	0,48	a
<b>Media</b>	<b>7,51</b>		<b>3,25</b>		<b>2,14</b>		<b>1,16</b>		<b>0,48</b>		<b>2,32</b>		<b>0,56</b>		<b>0,57</b>	

Diferentes letras dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre grupos. Según la prueba de Student-Newman-Keuls

Tabla 4. 21. Comparación múltiple de diferencias entre medias de las 24 accesiones para caracteres de infrutescencia y fruto

Accesión	Frutos por planta (número)	Infrutescencias por planta (número)	Frutos por infrutescencia (número)	Longitud del fruto (cm)	Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	Longitud del pedicelo (cm)	Diámetro del fruto (cm)
A16	38,20 a b c d	14,73 a b c d	2,68 a b	6,02 c d	2,63 b c d	4,75 a b	5,00 e f
A17	41,00 a b c d e	17,27 a b c d	2,38 a	6,74 f g	2,81 b c d e f g	5,12 b	4,70 d
A18	26,93 a b	12,47 a b c d	2,21 a	7,56 h i	3,12 e f g h	4,98 a b	5,61 g h i
A19	31,80 a b c	13,53 a b c d	2,42 a	6,53 e f	2,82 b c d e f g	4,87 a b	4,90 d e f
A20	20,53 a b	7,20 a	3,08 a b	7,49 h	3,05 e f g h	4,89 a b	5,88 i j
A21	20,27 a b	9,53 a b	2,16 a	7,92 i	3,25 e f g h	5,14 b	5,97 j
A22	31,80 a b c	14,00 a b c d	2,34 a	6,75 f g	2,97 b c d e f g h	5,20 b	5,08 f
A23	43,33 b c d e	20,60 c d	2,11 a	6,21 c d e	2,63 b c d	4,63 a b	4,65 d
A24	22,20 a b	11,20 a b c	2,13 a	7,62 h i	3,23 e f g h	4,90 a b	5,51 g h
A25	28,00 a b	12,27 a b c d	2,28 a	7,03 g	3,18 e f g h	5,07 b	5,74 h i j
A26	23,07 a b	10,47 a b	2,29 a	7,58 h i	3,09 e f g h	4,49 a b	5,64 g h i
A27	18,27 a	8,07 a b	2,28 a	7,36 h	3,00 d e f g h	5,91 c	5,49 g h
A29	38,40 a b c d	13,20 a b c d	3,02 a b	6,13 c d e	2,74 b c d e f	4,21 a b	5,44 g
A30	40,93 a b c d e	15,67 a b c d	2,74 a b	6,33 c d e	2,73 b c d e f	5,04 b	5,17 f
A31	30,73 a b	13,67 a b c d	2,26 a	5,92 c	2,47 b c	4,47 a b	4,80 d e
A32	41,20 a b c d e	13,87 a b c d	3,02 a b	6,03 c d	2,54 b c	4,74 a b	4,39 b c
A33	42,53 b c d e	15,07 a b c d	2,86 a b	6,18 c d e	2,84 c d e f g	4,81 a b	4,26 b c
A34	60,67 e	17,87 b c d	3,33 a b	6,21 c d e	2,71 b c d e	4,62 a b	4,27 b c
A35	55,60 d e	14,33 a b c d	3,89 b c	6,03 c d	2,53 b c	4,49 a b	4,06 b
A36	38,40 a b c d	9,80 a b	4,29 c	5,50 b	2,43 b	3,96 a	4,04 b
A37	54,07 c d e	22,13 d	2,47 a	6,06 c d	2,61 b c d	4,53 a b	4,68 d
A39	32,80 a b c	14,73 a b c d	2,43 a	6,48 d e f	2,72 b c d e f	4,64 a b	5,13 f
A40	31,33 a b	12,87 a b c d	2,47 a	5,56 b	2,45 b c	5,08 b	4,69 d
A41	160,01 f	10,00 a b	16,11 d	3,98 a	1,60 a	3,91 a	3,74 a
<b>Media general</b>	<b>40,50</b>	<b>13,52</b>	<b>3,22</b>	<b>6,47</b>	<b>2,76</b>	<b>4,77</b>	<b>4,95</b>
<b>Error estándar</b>	<b>4,59</b>	<b>1,91</b>	<b>0,27</b>	<b>0,10</b>	<b>0,07</b>	<b>0,19</b>	<b>0,07</b>

Diferentes letras dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre accesiones. Según la prueba de Student-Newman-Keuls

Tabla 4.21. Continuación

Accesión	Angulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	Peso del fruto (g)	Relación longitud : diámetro del fruto	Relación longitud: distancia entre la base y el ancho máximo del fruto
A16	130,68	e f g 83,47	c d e 1,20	b c d 2,30
A17	122,46	a b c d 78,36	c 1,43	i j k 2,40
A18	128,59	c d e f g 130,46	g h 1,35	g h i 2,42
A19	129,12	d e f g 86,29	c d e f 1,33	e f g h i 2,31
A20	129,03	d e f g 139,24	h 1,28	c d e f g h 2,46
A21	130,34	e f g 154,18	i 1,33	e f g h i 2,44
A22	134,34	g 98,18	e f 1,33	e f g h i 2,28
A23	127,99	b c d e f g 75,72	c 1,34	f g h i 2,36
A24	129,64	d e f g 123,37	g 1,38	h i j 2,36
A25	134,69	g 132,36	g h 1,23	c d e 2,22
A26	125,36	a b c d e f 131,56	g h 1,35	g h i 2,45
A27	127,85	b c d e f g 125,49	g h 1,34	f g h i 2,45
A29	132,19	f g 96,39	e f 1,13	a b 2,23
A30	134,32	g 96,75	e f 1,22	c d e 2,32
A31	129,36	d e f g 81,27	c d 1,23	c d e f 2,40
A32	121,60	a b 63,19	b 1,37	g h i j 2,37
A33	120,20	a 60,96	b 1,45	j k 2,20
A34	118,79	a 61,39	b 1,46	j k 2,30
A35	119,22	a 54,19	b 1,49	k 2,39
A36	121,93	a b c 50,69	b 1,36	g h i j 2,26
A37	132,67	f g 75,84	c 1,30	d e f g h 2,32
A39	132,78	f g 100,20	f 1,26	c d e f g 2,38
A40	131,42	f g 93,50	d e f 1,18	b c 2,27
A41	123,41	a b c d e 30,51	a 1,06	a 2,50
<b>Media general</b>	<b>127,83</b>	<b>92,65</b>	<b>1,31</b>	<b>2,35</b>
<b>Error estándar</b>	<b>1,55</b>	<b>3,65</b>	<b>0,02</b>	<b>0,05</b>

Diferentes letras dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre accesiones. Según la prueba de Student-Newman-Keuls

## Resultados

Cada infrutescencia ha contenido entre 2,11 frutos (A-23) y 16,11 frutos (A-41), siendo 3,22 la media de frutos por infrutescencia. La accesión con menos frutos en sus infrutescencias fue A-23, seguida muy de cerca por las accesiones A-24 y A-21 (con 2,13 y 2,16 frutos/infrutescencia, respectivamente); entre la accesión con mayor valor en este carácter (A-41) y la siguiente (A-36) la diferencia fue de 11,82 frutos. Al igual que en el número de frutos por planta, la única diferencia significativa en el número de frutos por infrutescencia se encontró entre A-41 y el resto de accesiones (Tabla 4.21).

La mayor longitud de frutos se ha encontrado en la accesión A-21 (7,92 cm), seguida por otras cinco accesiones con longitudes que superaron los 7,30 cm; por otra parte, la accesión con los frutos más pequeños ha sido A-41 (3,98 cm), muy por debajo de la media (6,47 cm) y seguida por A-36 y A-31 que también resultaron con longitudes menores de 6,00 cm; la diferencia entre la accesión con frutos más pequeños (A-41) y la subsiguiente (A-36) fue de 1,52 cm. Al comparar todas las accesiones, las únicas diferencias altamente significativas se han encontrado entre A-41 y el resto del germoplasma.

La distancia entre la base y el ancho máximo del fruto resultó con una media de 2,76 cm, variando entre 1,60 cm (A-41) y 3,25 cm (A-21); tres accesiones presentaron valores iguales o menores de 2,47 cm, mientras que seis mostraron valores superiores a 3,00 cm. También en este caso, las únicas diferencias altamente significativas se encontraron entre A-41 y el resto del material vegetal caracterizado.

La longitud del pedicelo ha sido otro de los caracteres en los que los frutos de A-41 presentaron los menores valores (3,91 cm), aunque muy cerca se situó A-36 (3,96 cm); fueron las únicas accesiones con pedicelos inferiores a 4,00 cm. La accesión con frutos de mayor longitud del pedicelo fue A-27 (5,91), seguida por otras seis accesiones con pedicelos superiores a 5,00 cm; sin embargo, el máximo alcanzado por A-27 determinó una diferencia significativa entre ésta y el resto de accesiones.

Los frutos de tomate de árbol se caracterizaron por presentar un diámetro medio de 4,95 cm, variando entre 3,74 cm (A-41) y 5,97 cm (A-21). Tres accesiones expresaron diámetros inferiores a 4,10 cm, existiendo una mínima diferencia (0,34 y 0,32 cm) entre la accesión con menor diámetro y las siguientes (A-35 y A-36, respectivamente); de igual forma, la diferencia entre el mayor diámetro y el siguiente (A-20) ha sido de sólo 0,09 cm. La única diferencia significativa se encontró entre la accesión A-41 y las otras 23 accesiones.

Se puede generalizar que todas las accesiones de tomate de árbol se caracterizaron por presentar frutos con ápices obtusos, con un ángulo apical medio de 127,83°. Sin embargo, dentro de esta categorización los ángulos apicales (ángulo del ápice del fruto) variaron significativamente entre 118,79° (A-34) y 134,34° (A-22). Un total de nueve accesiones resultaron con ángulos superiores a 130°, mientras que solo dos mostraron ángulos inferiores a 120°; el ángulo del ápice del fruto es uno de los pocos caracteres en los que A-41 no ha resultado con el menor valor de todo el germoplasma evaluado.

Diferencias altamente significativas han sido también encontradas en el peso de los frutos, los cuales resultaron con una media de 92,65 g entre todo el material estudiado, y una variación con amplio rango, 30,51 g (A-41) - 154,18 g (A-21) que incidió en la existencia de algunas diferencias importantes al comparar las accesiones. Entre estos contrastes, la accesión A-21 se diferenció significativamente de las 23 accesiones restantes debido a sus frutos con peso muy superior al de los frutos de las demás, y A-41 por presentar los frutos más ligeros; cinco accesiones (A-32, A-33, A-34, A-35 y A-36) también presentaron frutos con pesos muy bajos (entre 50,69 y 63,19 g), sólo mayores que los de A-41, por lo que ha existido una diferencia significativa entre estas accesiones, por una parte, y el resto del germoplasma, por otra. Asimismo, seis accesiones (A-21, A-20, A-25, A-26, A-18 y A-27) produjeron frutos con pesos superiores a de 125,00 g, los más altos de todo el material, diferenciándolas significativamente del resto.

La relación longitud: diámetro del fruto resultó con una media de 1,31. El carácter varió entre 1,06 en A-41 (frutos más esféricos) y 1,49 en A-35 (frutos de forma más elongada); dos accesiones, A-41 y A-29, presentaron los menores valores (1,06 y 1,13 respectivamente).

Con referencia a la relación longitud: distancia entre la base y el ancho máximo del fruto, es cercana (pero no inferior) a 2,00 cuando la parte más ancha del fruto se ubica aproximadamente hacia la mitad del fruto (forma elipsoide), como ocurrió con las accesiones A-34 (2,20), A-25 (2,22) y A-29 (2,23), mientras que los valores más alejados de 2,00 corresponden a frutos con su diámetro más ancho cercano a la base, como los de las accesiones A-41 (2,50), A-20 (2,46), A-26 y A-27 (2,45), A-17 y A-31 (2,40); el valor medio fue 2,35, lo que significa, que de forma general los frutos de tomate de árbol tienen forma ovoide, es decir, tienden a ubicar su parte más ensanchada en un punto más cercano a la base del fruto que a la parte media.

## Resultados

De estos 11 caracteres, 10 han mostrado diferencias altamente significativas ( $P < 0,0001$ ) y uno (relación longitud: distancia entre la base y el ancho máximo del fruto) significativas ( $P = 0,0248$ ). Los valores del estadístico F han estado comprendidos entre 1,96 para la relación longitud: distancia entre la base y el ancho máximo del fruto y 103,85 para el número de frutos por infrutescencia (Tabla 4.22).

**Tabla 4.22. Análisis de la varianza de las 24 accesiones para caracteres morfológicos de infrutescencia y fruto**

Caracteres	Cuadrado medio (entre grupos)	Cuadrado medio (dentro de grupos)	Coefficiente F	Valor P
Frutos por planta	$2,32 \times 10^3$	63,47	36,57	< 0,0001***
Infrutescencias por planta	38,86	11,05	3,51	< 0,0001***
Frutos por infrutescencia	23,52	0,22	103,85	< 0,0001***
Longitud del fruto	2,28	0,03	70,58	< 0,0001***
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	0,37	0,02	20,14	< 0,0001***
Longitud del pedicelo	0,54	0,11	4,72	< 0,0001***
Diámetro del fruto	1,17	0,01	74,34	< 0,0001***
Ángulo del ápice del fruto	75,33	7,21	10,44	< 0,0001***
Peso del fruto	$3,07 \times 10^{-3}$	40,15	76,66	< 0,0001***
Relación longitud : diámetro del fruto	0,03	0,00	19,45	< 0,0001***
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	0,02	0,01	1,96	0,0248*

\* Significativo a nivel 0,05; \*\* Significativo a nivel 0,01; \*\*\* Significativo a nivel 0,001

Por lo que concierne al coeficiente de variación calculado para caracteres de infrutescencias y frutos, se han hallado coeficientes muy altos en el número de frutos por infrutescencia (87,03%), el número de frutos por planta (68,69%), peso del fruto (34,57%) e incluso el número de infrutescencias por planta (26,61%); a diferencia de estos, el resto de caracteres resultaron con coeficientes bajos comprendidos entre 3,52 y 13,50% (Tabla 4.23).

De los 11 caracteres de infrutescencia y fruto evaluados, nueve mostraron diferencias significativas entre los cinco grupos agronómicos de tomate de árbol, con diferentes niveles de significación y con valores del estadístico F comprendido entre 2,28 y

192,37; en especial los de infrutescencias (frutos por planta y por infrutescencia) presentaron las diferencias más significativas ( $P < 0,0001$ ). Sólo el número de infrutescencias por planta y la longitud del pedicelo no mostraron tales diferencias (Tabla 4.24).

**Tabla 4.23. Medidas de centralización y dispersión de los caracteres morfológicos de infrutescencia y fruto en las 24 accesiones**

Carácter	Media	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Frutos por planta (número)	40,50	160,00	18,27	27,82	68,69
Infrutescencias por planta (número)	13,52	22,13	7,20	3,60	26,61
Frutos por Infrutescencia (número)	3,22	16,11	2,11	2,80	87,03
Longitud del fruto (cm)	6,47	7,92	3,98	0,87	13,50
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	2,76	3,25	1,60	0,35	12,82
Longitud de pedicelo (cm)	4,77	5,91	3,91	0,43	8,92
Diámetro del fruto (cm.)	4,95	5,97	3,74	0,63	12,66
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	127,83	134,34	118,79	5,01	3,92
Peso del fruto (g)	92,65	154,18	30,51	32,03	34,57
Relación longitud : diámetro del fruto	1,31	1,49	1,06	0,11	8,04
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	2,35	2,50	2,20	0,08	3,52

**Tabla 4.24. Análisis de la varianza simple entre grupos agronómicos de accesiones para caracteres de infrutescencia y fruto**

Caracteres	Cuadrado medio (entre grupos)	Cuadrado medio (dentro de grupos)	Coefficiente F	Valor P
Frutos por planta	$3,95 \times 10^3$	103,68	38,16	$< 0,0001^{***}$
Infrutescencias por planta	15,20	12,47	1,22	0,3358
Frutos por infrutescencia	43,63	0,22	192,37	$< 0,0001^{***}$
Longitud del fruto	2,79	0,33	8,37	$0,0005^{***}$
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	0,48	0,05	9,56	$0,0002^{**}$
Longitud del pedicelo	0,33	0,14	2,28	0,0990
Diámetro del fruto	1,21	0,22	5,50	$0,0041^{**}$
Ángulo del ápice del fruto	93,48	10,70	8,73	$0,0004^{***}$
Peso del fruto	$3,35 \times 10^3$	535,79	6,26	$0,0022^{***}$
Relación longitud : diámetro del fruto	0,03	0,00	7,24	$0,0010^{***}$
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	0,01	0,00	3,28	$0,0335^*$

\* Significativo a nivel 0,05; \*\* Significativo a nivel 0,01; \*\*\* Significativo a nivel 0,001

## Resultados

Al realizar una comparación múltiple entre los valores medios de los caracteres de infrutescencias y frutos de los grupos agronómicos, las únicas diferencias significativas se han encontrado entre el grupo trompo (A-41) por una parte y el resto de agrupaciones por otra, en siete de los 11 caracteres: frutos por planta, frutos por infrutescencia, longitud del fruto, distancia entre la base y el ancho máximo del fruto, diámetro del fruto, ángulo del ápice del fruto, peso del fruto y relación longitud: diámetro del fruto (Tabla 4.25).

**Tabla 4.25. Comparación múltiple de diferencias entre medias de grupos agronómicos de accesiones para caracteres de infrutescencia y fruto**

Grupos	Frutos por planta	Infrutescencias por planta	Frutos por infrutescencia	Longitud del fruto (cm)	Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	Longitud del pedicelo (cm)
Anaranjado-elíptico-puntón	40,60 a	14,32 a	2,89 a	6,29 b	2,68 b	4,66 a b
Anaranjado-elíptico	36,10 a	13,98 a	2,59 a	6,30 b	2,78 b	4,72 a b
Morado	34,60 a	14,53 a	2,36 a	6,57 b	2,82 b	4,92 b
Rojo	22,60 a	10,55 a	2,15 a	7,53 b	3,11 b	5,07 b
Trompo	160,00 b	10,00 a	16,00 b	3,98 a	1,60 a	3,91 a
<b>Media</b>	<b>58,78</b>	<b>12,68</b>	<b>5,20</b>	<b>6,13</b>	<b>2,60</b>	<b>4,66</b>

Grupos	Diámetro del fruto (cm)	Ángulo del ápice del fruto (grados)	Peso del fruto (g)	Relación longitud : diámetro del fruto	Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto
Anaranjado-elíptico-puntón	4,59 b	123,97 a	75,13 b	1,37 b	2,34 a b
Anaranjado-elíptico	5,17 b	132,41 b	92,68 b	1,22 b	2,26 a
Morado	5,23 b	132,70 b	108,81 b	1,25 b	2,32 a
Rojo	5,56 b	127,86 a b	127,72 b	1,36 b	2,42 a b
Trompo	3,74 a	123,41 a	30,51 a	1,06 a	2,50 b
<b>Media</b>	<b>4,86</b>	<b>128,07</b>	<b>86,97</b>	<b>1,25</b>	<b>2,37</b>

Diferentes letras dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre grupos. Según la prueba de Student-Newman-Keuls

## - Semillas

Se han estudiado tres caracteres de semillas: longitud de la semilla, ancho de la semilla y semillas por fruto; sus valores medios se recogen en la Tabla 4.26.

La longitud de la semilla presentó una media de 0,38 cm, con un máximo en la accesión A-41 (0,42 cm), seguida (con una diferencia de sólo 0,01 cm) por A-17, y un mínimo en A-36 y A-37 (0,35 cm). Un total de seis accesiones mostraron valores iguales o superiores a 0,40 cm, mientras que cuatro accesiones asumieron valores iguales o inferiores a 0,36 cm.

**Tabla 4.26. Comparación múltiple de diferencias entre medias de las 24 accesiones para caracteres de la semilla**

Accesión	Longitud de la semilla (cm)	Ancho de la semilla (cm)	Semillas por fruto (número)
A16	0,40 b c d e	0,32 e f g	239,80 c d
A17	0,41 d e	0,34 g	168,21 b
A18	0,39 b c d e	0,31 b c d e f	312,75 d e f g
A19	0,38 b c d	0,31 c d e f g	282,80 d e f
A20	0,39 b c d	0,32 c d e f g	352,60 e f g
A21	0,40 c d e	0,32 d e f g	382,15 g
A22	0,40 b c d e	0,32 e f g	267,10 d e
A23	0,37 a b c	0,30 b c d e	268,71 d e
A24	0,37 a b c	0,30 a b c d	369,45 f g
A25	0,39 b c d e	0,31 c d e f g	350,60 e f g
A26	0,38 b c d	0,32 c d e f g	333,63 e f g
A27	0,37 a b c	0,31 b c d e f	359,00 e f g
A29	0,37 a b c	0,31 b c d e f	272,77 d e
A30	0,38 b c d	0,31 c d e f g	244,11 c d
A31	0,40 b c d e	0,34 g	130,11 b
A32	0,39 b c d	0,33 e f g	130,16 b
A33	0,39 b c d e	0,33 f g	124,93 b
A34	0,39 b c d	0,33 e f g	124,47 b
A35	0,36 a b	0,30 b c d e	186,07 b c
A36	0,35 a	0,28 a	151,88 b
A37	0,35 a	0,29 a b	317,04 d e f g
A39	0,39 b c d	0,32 c d e f g	306,88 d e f g
A40	0,36 a b	0,29 a b c	306,89 d e f g
A41	0,42 e	0,31 c d e f g	3,40 a
<b>Media general</b>	<b>0,38</b>	<b>0,31</b>	<b>249,40</b>
<b>Error estándar</b>	<b>0,0066</b>	<b>0,0047</b>	<b>19,05</b>

Diferentes letras dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre accesiones. Según la prueba de Student-Newman-Keuls

## *Resultados*

El ancho de la semilla varió entre 0,28 cm (en A-36) y 0,34 cm (en A-17 y A-31). El valor medio se ubicó en 0,31 cm, resultando la mayoría de accesiones (18) con valores iguales o superiores a la media y solo tres con valores iguales o inferiores a 0,29 cm.

Las diferencias altamente significativas en el número de semillas por fruto se deben a la influencia de la accesión A-41 que se caracterizó por contener un número de semillas muy bajo (3,40 semillas/fruto) en comparación con todas las demás accesiones. El carácter varió en un rango de 3,40 a 382,15 semillas por fruto. Un total de 10 accesiones produjeron frutos con un número de semillas superior a 300,00 en cada uno, mientras que ocho han originado frutos caracterizados por contener un número de semillas por fruto inferior a 187. Debido al número extremadamente bajo de semillas por fruto contabilizadas en la accesión A-41, la diferencia entre ésta y el resto del material estudiado ha resultado la más significativa en la prueba de rango múltiple de Student-Newman-Keuls (Tabla 4.26).

En todos los caracteres se han encontrado diferencias altamente significativas ( $P < 0,0001$ ), con valores del estadístico F entre 7,11 en longitud de la semilla y 27,53 en semillas por fruto (Tabla 4.27).

Al analizar los coeficientes de variación obtenidos en los tres caracteres de semilla, el número de semillas contenido en cada fruto presentó el mayor coeficiente (40,09%), siendo la longitud y el ancho de la semilla los caracteres en los que se encontraron los menores coeficientes (4,72 y 4,86%, respectivamente), con una diferencia considerable entre semillas por fruto y los otros dos caracteres (Tabla 4.28).

El análisis de varianza mostró que el único carácter con diferencias altamente significativas entre grupos agronómicos ha sido el número de semillas por fruto ( $P < 0,0001$ ). Los valores del estadístico F se situaron entre 0,47 para el ancho de la semilla y 10,16 para semillas por fruto (Tabla 4.29). La diferencia significativa más relevante en el número de semillas por fruto ha sido determinado entre el grupo trompo (accesión A-41) y el resto de agrupaciones; otra diferencia significativa de interés, se detectó entre el grupo anaranjado-elíptico-puntón y el grupo rojo (Tabla 4.30).

Tabla 4.27. Análisis de la varianza de las 24 accesiones para caracteres morfológicos de la semilla

Caracteres	Cuadrado medio (entre grupos)	Cuadrado medio (dentro de grupos)	Coefficiente F	Valor P
Longitud de la semilla	$9,47 \times 10^{-4}$	$1,33 \times 10^{-4}$	7,11	< 0,0001***
Diámetro de la semilla	$6,04 \times 10^{-4}$	$6,81 \times 10^{-5}$	8,88	< 0,0001***
Semillas por fruto	$2,99 \times 10^4$	$1,08 \times 10^3$	27,53	< 0,0001***

\* Significativo a nivel 0,05; \*\* Significativo a nivel 0,01; \*\*\* Significativo a nivel 0,001

Tabla 4.28. Medidas de centralización y dispersión de los caracteres morfológicos de la semilla en las 24 accesiones

Carácter	Media	Valor máximo	Valor mínimo	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Longitud de la semilla (cm)	0,38	0,42	0,35	0,02	4,72
Ancho de la semilla (cm)	0,31	0,34	0,28	0,02	4,86
Semillas por fruto (número.)	249,40	382,15	3,40	99,97	40,09

Tabla 4.29. Análisis de la varianza simple entre grupos agronómicos de accesiones para caracteres de la semilla

Caracteres	Cuadrado medio (entre grupos)	Cuadrado medio (dentro de grupos)	Coefficiente F	Valor P
Longitud de la semilla	$4,24 \times 10^{-4}$	$3,49 \times 10^{-3}$	1,22	0,3369
Ancho de la semilla	$1,00 \times 10^{-4}$	$2,18 \times 10^{-4}$	0,47	0,7571
Semillas por fruto	$3,93 \times 10^2$	$3,87 \times 10$	10,16	0,0001***

\* Significativo a nivel 0,05; \*\* Significativo a nivel 0,01; \*\*\* Significativo a nivel 0,001

Tabla 4.30. Comparación múltiple de diferencias entre medias de grupos agronómicos de accesiones para caracteres de la semilla

Grupos	Longitud de la semilla (cm)	Ancho de la semilla (cm)	Semillas por fruto (número)
Anaranjado-elíptico-puntón	0,38 a	0,32 a	192,00 b
Anaranjado-elíptico	0,39 a	0,32 a	259,89 b c
Morado	0,38 a	0,31 a	317,94 b c
Rojos	0,38 a	0,31 a	343,71 c
Trompo	0,42 a	0,32 a	3,40 a
<b>Media</b>	<b>0,39</b>	<b>0,32</b>	<b>223,39</b>

Diferentes letras dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre grupos. Según la prueba de Student-Newman-Keuls

#### 4.1.2. Correlación entre los caracteres morfológicos

Las correlaciones entre los caracteres morfológicos examinados, calculadas por el coeficiente de Pearson, se muestran en la Tabla 4.31.

En el momento de estudiar las correlaciones (entre dos caracteres de cada par) en los 741 pares posibles de caracteres considerados en este estudio, se encontró que 181 correlaciones (24,43% del total) se podrían considerar significativas de acuerdo con el valor de significación establecido en  $\alpha = 0,05$  (Tabla 4.32). Cuando se disminuyó el nivel de significación a  $\alpha = 0,01$  el número de correlaciones significativas se redujo a 105 (14,07%), mientras que al disminuir aún más la probabilidad ( $\alpha = 0,001$ ) se encontraron 59 correlaciones significativas (7,96%).

Para utilizar un nivel de significación más conservador que permitiera identificar con mayor seguridad una correlación significativa entre los caracteres, se calculó, mediante el método de corrección de Bonferroni, un menor valor de probabilidad, que resultó ser  $\alpha = 0,000067$ , indicando que correlaciones iguales o superiores a 0,78 debían considerarse significativas; sobre la base de este valor crítico se pudo determinar un total de 32 correlaciones significativas, que representan un 4,45% del total de pares de caracteres (Tabla 4.32). Naturalmente, mientras mayores sean los valores críticos del coeficiente de correlación para la determinación de significación, menor será el número de correlaciones significativas, lo cual se evidenció, como era de esperar, al comparar los resultados encontrados en cada nivel de significación.

La interpretación de estos resultados depende del nivel de significación que se utilice. A este respecto, se utilizará un criterio conservador de forma que en la discusión de este trabajo se considerarán significativas aquellas correlaciones determinadas según la prueba de Bonferroni ( $r \geq 0,78$ ) y no significativas aquellas con un valor de  $r < 0,40$ , según el criterio poco conservador de  $\alpha = 0,05$ . Por otro lado, se considerará que las correlaciones con  $0,40 < r < 0,78$  podrán ser significativas o no, dependiendo del criterio a utilizar, y en todo caso deberían ser estudiadas con mayor profundidad con muestras más amplias, para determinar su significación.



## Resultados

limbo a la altura de escotadura basal y con el ángulo del ápice del limbo ( $r = 0,84$  y  $0,82$ , respectivamente), el ancho del limbo a la altura de la escotadura también se correlacionó significativamente con el ancho máximo del limbo ( $r = 0,90$ ) y con el ángulo del ápice ( $r = 0,82$ ).

Los pares de caracteres provenientes de las hojas de la copa (21) son los que mayor número de correlaciones significativas mostraron (11), siendo la mayoría caracteres relacionados con la longitud y ancho del limbo, y de escotadura; la longitud del peciolo no mostró ninguna correlación significativa con el resto de variables del grupo (hojas de la copa).

De los 28 pares de caracteres encontrados en las inflorescencias y flores, se determinaron únicamente dos correlaciones significativas, estas son: longitud de la inflorescencia y del pedúnculo ( $r = 0,84$ ) por una parte, y longitud del pétalo con diámetro de la corola ( $0,97$ ), por otra.

En el grupo de caracteres de infrutescencias y frutos se estudiaron 55 pares de caracteres y se encontraron nueve correlaciones significativas, en su mayor parte referidas a medidas de longitud, diámetro y peso del fruto. El número de frutos por planta se correlacionó significativamente con el número de frutos por infrutescencia ( $r = 0,94$ ), correlacionándose además en forma negativa con dos caracteres del fruto, su longitud (C29,  $r = -0,78$ ) y la distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (C30,  $r = -0,82$ ). En relación con las semillas, los caracteres longitud y ancho de la semilla también mostraron una correlación significativa ( $r = 0,82$ ).

En cambio, cuando se analizaron las correlaciones entre caracteres correspondientes a distintas partes de la planta (Tablas 4.31 y 4.32), se encontraron únicamente cinco correlaciones significativas de acuerdo con la prueba de Bonferroni ( $\alpha = 0,0000674$ ). El número de semillas por fruto (que también podría haber sido considerado dentro de los caracteres del fruto) se correlacionó significativamente con la longitud ( $r = 0,78$ ), diámetro ( $r = 0,85$ ) y peso del fruto ( $r = 0,87$ ). Las otras dos correlaciones significativas (negativas) han sido entre la relación longitud: diámetro de fruto con la longitud de la escotadura basal en hojas del tallo ( $r = -0,81$ ) y entre la longitud de inflorescencia y el número de frutos por planta ( $r = -0,78$ ).

Tabla 4.32. Número (y porcentaje) de correlaciones significativas según diferentes niveles de significación

Nivel de significación ( $\alpha$ )	0,05	0,01	0,001	0,000067
<b>Valores críticos del coeficiente de correlación (r) en cada nivel de significación</b>	<b>0.40</b>	<b>0.51</b>	<b>0.62</b>	<b>0.78</b>
Número total de pares de caracteres	741	741	741	741
Número total de correlaciones significativas entre caracteres	181 (24,43)	105 (14,17)	59 (7,96)	32 (4,32)
Número de pares de caracteres dentro del mismo grupo de caracteres	128	128	128	128
Número de correlaciones significativas dentro del mismo grupo de caracteres	73 (57,03)	61 (47,66)	40 (31,25)	27 (21,09)
Número de pares de caracteres entre distintos grupos de caracteres <sup>b</sup>	613	613	613	613
Número de correlaciones significativas entre distintos grupos de caracteres <sup>b</sup>	108 (17,61)	44 (7,17)	19 (3,09)	5 (0,81)

<sup>a</sup> Nivel de significación a considerar según la prueba de Bonferroni para  $\alpha = 0,05$

<sup>b</sup> Los grupos de caracteres a los que se hace referencia son los definidos en el capítulo de metodología (Tabla 3.3)

Tabla 4.33. Número de correlaciones significativas obtenidas entre caracteres morfológicos agrupados por partes de la planta, según diferentes pruebas de significación

Nivel de significación	0,05	0,01	0,0001	0,0000674 <sup>a</sup>	Número total de correlaciones
<b>Valores críticos del coeficiente de correlación (r) en cada nivel de significación</b>	<b>0,4</b>	<b>0,51</b>	<b>0,62</b>	<b>0,78</b>	
Número de correlaciones significativas entre caracteres de arquitectura de la planta	1	1	0	0	6
Número de correlaciones significativas entre caracteres de hojas del tallo principal	10	10	6	4	15
Número de correlaciones significativas entre caracteres de hojas de la copa	20	18	14	11	21
Número de correlaciones significativas entre caracteres de inflorescencia y flor	13	7	3	2	28
Número de correlaciones significativas entre caracteres de infrutescencia y fruto	28	24	16	9	55
Número de correlaciones significativas entre caracteres de semilla	1	1	1	1	3
Número total de correlaciones significativas, entre caracteres agrupados por partes de la planta	73	61	40	27	128

<sup>a</sup> Nivel de significación a considerar según la prueba de Bonferroni para  $P = 0,05$

#### 4.1.3. Análisis de agrupamientos

El dendrograma obtenido por el método UPGMA a partir del análisis de los caracteres morfológicos de todas las accesiones (Figura 4.1) presentó una escasa distorsión, con un coeficiente de correlación cofenética de 0,86. En este dendrograma se pueden observar dos ramas principales, aquí denominadas A y B, conectadas a una distancia euclidiana de 3,29. La primera rama (A) incluye únicamente una accesión (A-41) que se caracterizó por expresar los más altos o más bajos valores (dependiendo del carácter) en más del 50% (23 caracteres) de los 39 caracteres estudiados, especialmente en los relacionados con el fruto (incluyendo el número de frutos). La segunda rama principal (B) está conformada por las 23 accesiones restantes, dividiéndose a su vez en dos ramas, aquí llamadas B1 y B2, que dan lugar a sendos subgrupos en los que las accesiones se reunieron esencialmente por los caracteres del fruto (peso y longitud, entre otros).

La rama B1 reunió el mayor número de accesiones (20), y a su vez se subdividió en dos subagrupaciones aquí llamadas B1.1 y B1.2. De estas, B1.1 conformada por 19 accesiones mostró a la vez dos agrupaciones, la primera (11 accesiones, ubicadas en la parte superior de B1.1 en la Figura 4.1) caracterizada por plantas que expresaron valores intermedios en caracteres de peso, longitud y diámetro de los frutos, en comparación con el resto del material estudiado (particularmente en lo que respecta al peso del fruto). Dentro de esta, el grupo formado por A-32, A-33 y A-34 presentó las menores distancias dentro de la rama, mostrando además que A-33 y A-34 son muy similares, con los valores muy cercanos no sólo en caracteres de fruto sino también en el resto de variables (excepto en el número de frutos por planta). La segunda subagrupación de B1.1 (conformada por ocho accesiones) ha sido definida principalmente por la producción de frutos con longitudes, diámetros y pesos superiores a los de las accesiones de otras agrupaciones, incluyendo a la rama principal A; es importante indicar que dentro de esta subagrupación las accesiones A-29 y A-30 están separadas por la menor distancia euclídea, siendo sus frutos los de menor valor en longitud y peso al compararlos con los del resto de accesiones de la misma subagrupación. La agrupación B.1.2 estuvo conformada por una sola accesión (A-27) y se diferenció del resto de agrupaciones por el menor número de frutos por planta, acompañado por los menores valores en número de infrutescencias por planta y en número de frutos por infrutescencia (Figura 4.1).

La segunda rama de B (B2) es el grupo que menor número de accesiones de B concentró (tres) y se caracterizó por mantener la mayor distancia entre sus accesiones, que forman el material vegetal ubicado en B2 registró el menor diámetro y peso en sus frutos (principalmente A-35 y A-36) de toda la rama B; la tercera accesión (A-37) también expresó una baja medida en dichos caracteres pero no se ubicó entre las de menor valor a escala general, y se separó a una considerable distancia de A-35 y A-36 (Figura 4.1).

No se observa una distribución clara en el dendrograma de los grupos agronómicos de tomate de árbol (Figura 4.1), debido a que en todas las ramas (con la excepción ya mencionada de la rama A) se han encontrado accesiones pertenecientes a más de un grupo agronómico. La rama B1 se encuentra conformada por una mayoría de accesiones (ocho) del grupo anaranjado-elíptico-puntón, seguida por cinco accesiones del morado, cuatro de rojo y tres del anaranjado-elíptico. De las tres accesiones que conforman la rama B2, dos pertenecen al grupo anaranjado-elíptico-puntón y una al morado.

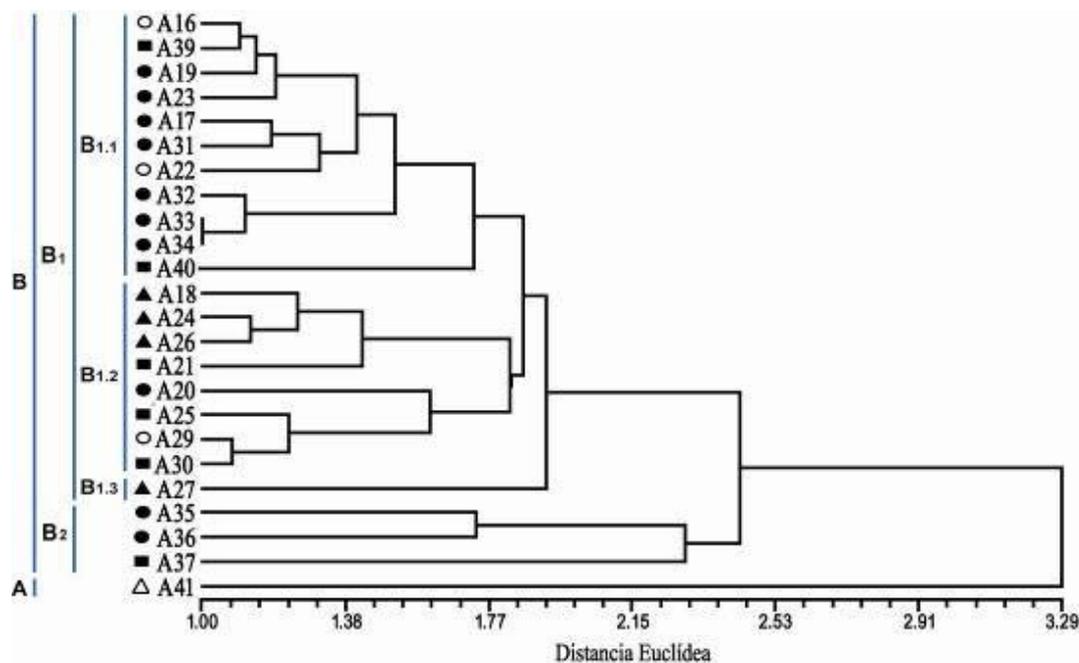


Figura 4.1. Dendrograma de 24 accesiones de tomate de árbol, a partir de 39 caracteres morfológicos. Las líneas de color azul delimitan las ramas establecidas. Grupos agronómicos: ● Anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado, ▲ rojo y ▲ trompo. Ver información sobre las accesiones y sus respectivos grupos agronómicos en la Tabla 3.1

## Resultados

En el momento de relacionar la distribución de las accesiones y su origen geográfico (Figura 4.2), tampoco se obtuvo una estructura clara en el dendrograma, ya que en todas las ramas (con la excepción, otra vez, de la rama A), se observa más de un país de origen. Las accesiones provenientes de Ecuador, a más de ubicarse en la rama principal A, se encuentran distribuidas por todas las agrupaciones de la rama B1, conformada por la mayor parte del material estudiado.

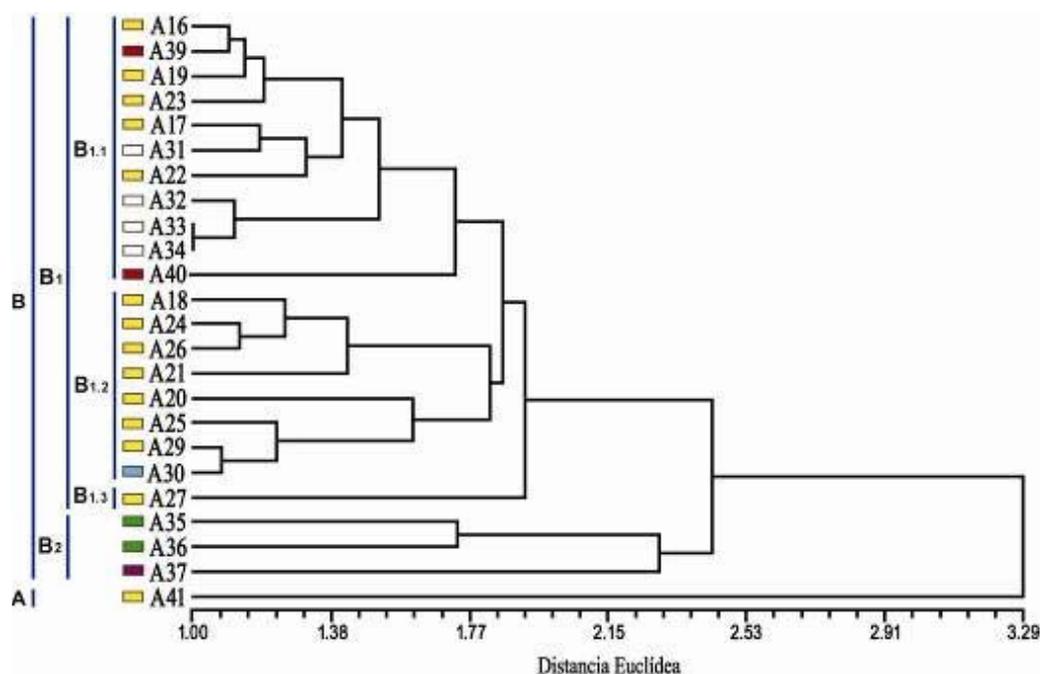


Figura 4.2. Dendrograma de 24 accesiones de tomate de árbol con referencia a su origen geográfico, a partir de 39 caracteres morfológicos. Las líneas de color azul delimitan las ramas establecidas. ■ Ecuador, ■ Colombia, ■ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal y ■ Nueva Zelanda. Ver información sobre las accesiones y su lugar de procedencia en la Tabla 3.1

### - Análisis de agrupamientos (conjunto B)

Cuando se realizó el análisis de agrupamientos por el método UPGMA sin considerar la accesión A-41 (grupo agronómico trompo), el dendrograma obtenido (Figura 4.3) presentó asimismo una baja distorsión, con un coeficiente de correlación cofenética de 0,74 y mostró una agrupación de accesiones muy similar a la del dendrograma obtenido con el total de las accesiones (Figura 4.1). A 2,79 unidades de distancia

euclidiana se conectan dos ramas principales, aquí llamadas A y B, lo que en el dendrograma anterior ha sido la agrupación de B.

La rama principal A mantuvo la mayor distancia entre sus tres accesiones, las cuales produjeron frutos con los menores diámetros y pesos (principalmente A-35 y A-36) de todo el material considerado en este análisis; la rama principal A equivale exactamente a la rama B2 del dendrograma anteriormente obtenido con todas las accesiones. La otra rama principal B (20 accesiones) se subdivide en dos ramas aquí llamadas B1 y B2, a una distancia euclidiana de aproximadamente 2,23 unidades (Figura 4.3).

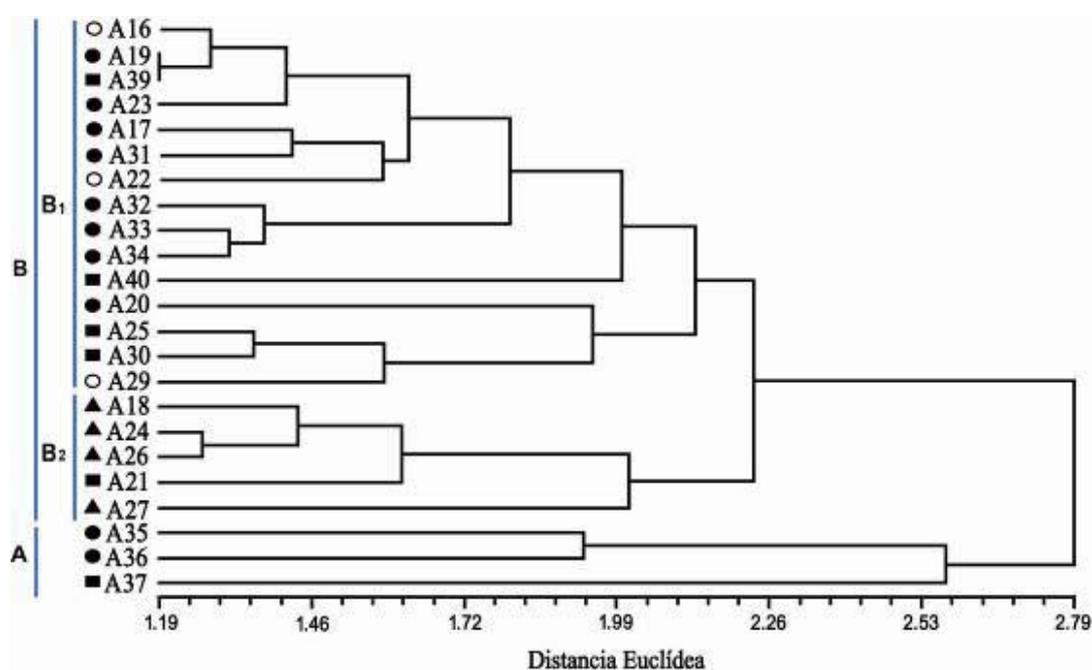


Figura 4.3. Dendrograma de 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B), a partir de 39 caracteres morfológicos. Las líneas de color azul delimitan las ramas establecidas Grupos agronómicos: ● Anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado y ▲ rojo. Ver información sobre las accesiones y sus respectivos grupos agronómicos en la Tabla 3.1

La rama B1 agrupó a la mayor parte (15) de accesiones de B, y a su vez se subdividió en otras dos subagrupaciones. La primera conformada por 11 accesiones (ubicadas en la parte superior de B1, Figura 4.3) agrupadas por producir frutos con valores intermedios (con referencia al resto del germoplasma evaluado) en peso, longitud y diámetro, mostrando una gran similitud entre las accesiones A-19 y A-39; esta

## Resultados

agrupación resulta bastante equivalente, incluso en el número de accesiones, a la primera agrupación de B1.1 del dendrograma anterior (Figura 4.2). La segunda agrupación (parte inferior de B1) estuvo conformada por otras cuatro accesiones (A-20, A-25, A-29 y A-30) que se ubicaron entre el material vegetal con valores altos (pero no los mayores) en caracteres como longitud, diámetro y peso del fruto (principalmente A-20 y A-25).

La rama B2 estuvo conformada por cinco accesiones que al compararlas con el resto de material vegetal (incluyendo las accesiones ubicadas tanto en la rama A como en la B), se ubicaron entre las plantas con frutos de mayor tamaño (longitud y diámetro) y peso. Una accesión (A-27) de esta rama se distanció considerablemente (quedando a aproximadamente 1,99 unidades) de las cuatro accesiones restantes, debido principalmente a que produjo un menor número de frutos por planta, con relación no solo a las otras accesiones de la rama B2 sino a todo el germoplasma estudiado, produciendo además un bajo número de frutos por infrutescencias y de infrutescencias por planta (Figura 4.3).

Cuando se estudiaron los grupos agronómicos de tomate de árbol, sin considerar al grupo trompo (conformado por únicamente por la accesión A-41) (Figura 4.3), tampoco se observa una agrupación clara en el dendrograma obtenido. En ambas ramas principales (A y B) se han ubicado accesiones pertenecientes a más de un grupo agronómico. De las tres accesiones que conforman la rama principal A, dos pertenecen al grupo anaranjado-elíptico-puntón y la restante corresponde al grupo morado. Con referencia a la rama principal B, la rama B1 se encuentra formada por una mayoría de accesiones (ocho) del grupo anaranjado-elíptico-puntón, cuatro accesiones pertenecen al grupo morado y otras tres al grupo anaranjado-elíptico, mientras que en la rama B2 se han ubicado cuatro accesiones del grupo rojo y una del grupo morado.

Asimismo, al analizar la distribución de las accesiones con referencia a su origen geográfico (Figura 4.4), tampoco se obtuvo una estructura clara en el dendrograma; esto se debe a que tanto en la rama principal A como en la B se observa más de un país de origen. La rama principal A se encuentra conformada por dos accesiones provenientes de Bolivia y una de Portugal. Con referencia a la rama principal B, las accesiones provenientes de Ecuador se encuentran distribuidas por toda la rama. La primera subagrupación de B1 (parte superior de B1, Figura 4.4) contiene cinco accesiones de Ecuador, cuatro de Perú y dos de Nueva Zelanda; mientras que la

segunda ha agrupado a tres accesiones de Ecuador y una de Colombia. Por otra parte, todas las accesiones que han conformado la rama B2 provienen de Ecuador, siendo la única agrupación en la que todas sus accesiones han sido de un mismo país (sin considerar a la accesión A-41).

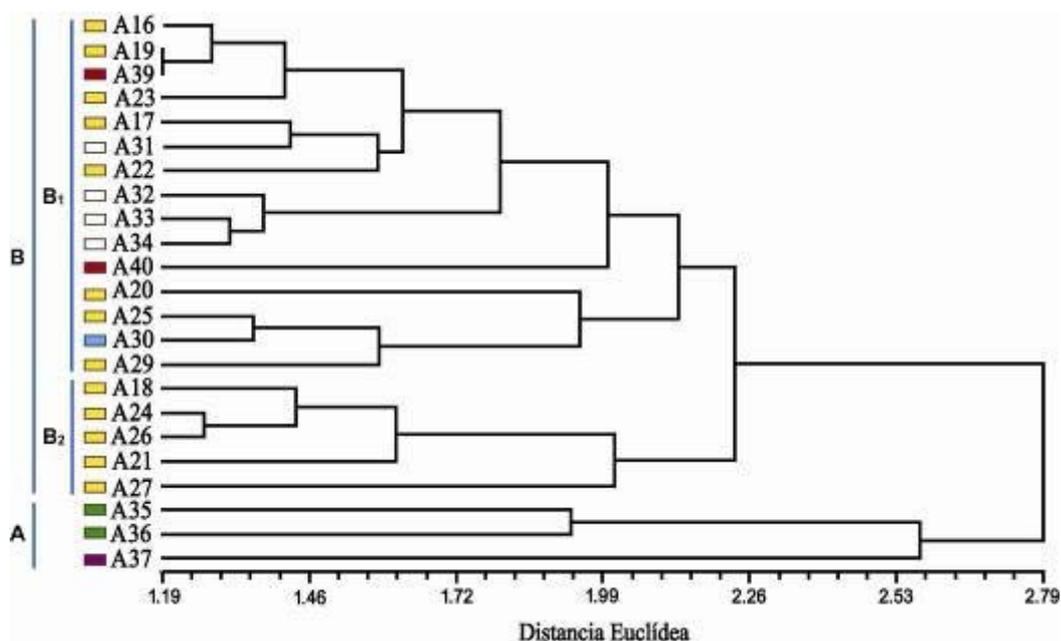


Figura 4.4. Dendrograma de 23 accesiones de tomate de árbol con referencia a su origen geográfico, a partir de 39 caracteres morfológicos. Las líneas de color azul delimitan las ramas establecidas. ■ Ecuador, ■ Colombia, □ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal y ■ Nueva Zelanda. Ver información sobre las accesiones y su lugar de procedencia en la Tabla 3.1

#### 4.1.4. Análisis de componentes principales (ACP)

En el momento de comparar la relación existente entre las 24 accesiones estudiadas mediante el análisis de componentes principales, se seleccionaron las tres primeras componentes (59,74% de varianza acumulada). A este respecto, el valor propio (o *eigen*-valor) de la primera componente representó el 25,33% de la variación total, el de la segunda componente acumuló el 22,08% y el de la tercera el 12,32% (Tabla 4.34).

La Tabla 4.35 recoge los valores que representan las contribuciones de los caracteres (vectores propios o *eigen*-vectores) a la construcción de las tres primeras componentes principales.

## Resultados

Tabla 4.34. Valores propios y proporción de la varianza explicada correspondientes a las componentes con valores propios superiores a 1 en el análisis de componentes principales de los caracteres morfológicos de 24 accesiones de tomate de árbol

Componentes principales (CP)	Valores propios ( $\lambda_p$ )	Proporción de la varianza total explicada	
		Individual (%)	Acumulada (%)
CP 1	9,88	25,33	25,33
CP 2	8,61	22,08	47,42
CP 3	4,80	12,32	59,74
CP 4	3,57	09,16	68,91
CP 5	2,61	06,69	75,61
CP 6	2,06	05,30	80,91
CP 7	1,31	03,36	84,27
CP 8	1,13	02,90	87,18

### - ACP de caracteres (CP1 – CP2)

Cuando se analizó la contribución de los caracteres evaluados a las dos primeras componentes (Figura 4.5 y Tabla 4.35), una amplia mayoría de caracteres contribuyó positivamente a la primera componente; los mayores aportes (*eigen* vectores  $\geq 0,80$ ) fueron los del diámetro del fruto (C32), el peso del fruto (C34) y el ángulo del ápice del limbo de las hojas originadas en el tallo (C10). Otros caracteres que presentaron contribuciones elevadas (*eigen* vectores  $\geq 0,70$ ) corresponden a algunos caracteres medidos en las hojas provenientes de la copa, como son: ancho del limbo a la altura de escotadura basal (C13), ángulo del ápice del limbo (C16), longitud de la escotadura basal (C12) y ancho máximo del limbo (C14); mientras que el ancho del pétalo (C22) ha sido el único carácter de las flores e inflorescencias que mostró una alta contribución (0,71) para la primera componente.

Con referencia a la segunda componente, los únicos caracteres que contribuyeron con cifras altas y positivas (*eigen* vector  $\geq 0,78$ ) han sido el número de frutos, tanto por planta (C26) como por infrutescencia (C28), y el diámetro del tallo (C2). La longitud de la inflorescencia (C18) fue el único carácter que presentó una contribución alta y negativa (-0,77) a esta segunda componente; para el resto de los caracteres de inflorescencia y flor, y la mayor parte de los del fruto, la contribución también fue negativa (Figura 4.5 y Tabla 4.35).

**Tabla 4.35. Contribuciones de los caracteres (vectores propios o *eigen*-vectores) a la construcción de las tres primeras componentes principales**

Caracteres	Vectores propios o <i>eigen</i> vectores*			
	Primera componente	Segunda componente	Tercera componente	
<b>Arquitectura de la planta</b>				
C1	Altura del tallo principal (cm)	0,41	0,26	0,46
C2	Diámetro del tallo (cm)	-0,02	<b>0,78</b>	0,31
C3	Longitud del segundo entrenudo (cm)	0,31	0,18	0,32
C4	Diámetro de la copa (cm)	-0,26	0,36	-0,06
<b>Hojas del tallo</b>				
C5	Longitud del limbo (cm)	-0,48	0,00	0,62
C6	Longitud de la escotadura basal (cm)	0,59	0,39	0,49
C7	Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	0,53	0,20	<b>0,73</b>
C8	Ancho máximo del limbo (cm)	0,38	0,05	<b>0,80</b>
C9	Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	0,29	0,11	0,60
C10	Ángulo del ápice del limbo (grados sexagesimales)	<b>0,80</b>	0,23	0,36
<b>Hojas de la copa</b>				
C11	Longitud del limbo (cm)	0,44	0,18	-0,45
C12	Longitud de la escotadura basal (cm)	<b>0,72</b>	0,56	-0,14
C13	Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	<b>0,75</b>	0,42	-0,29
C14	Ancho máximo del limbo (cm)	<b>0,71</b>	0,42	-0,35
C15	Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	0,58	0,38	-0,42
C16	Ángulo del ápice del limbo (grados sexagesimales)	<b>0,74</b>	0,44	-0,04
C17	Longitud del peciolo (cm)	0,39	0,46	-0,41
<b>Inflorescencia y flor</b>				
C18	Longitud de la Inflorescencia (cm)	0,14	<b>-0,77</b>	0,08
C19	Longitud del pedúnculo (cm)	0,12	-0,60	-0,09
C20	Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	0,22	-0,61	0,03
C21	Longitud del pétalo (cm)	0,25	-0,51	0,36
C22	Ancho del pétalo (cm)	<b>0,71</b>	-0,02	0,08
C23	Diámetro de la corola (cm)	0,27	-0,49	0,37
C24	Longitud de la antera (cm)	0,39	-0,45	0,13
C25	Longitud del estilo (cm)	-0,34	-0,65	0,08
<b>Infrutescencia y fruto</b>				
C26	Frutos por planta (número)	-0,44	<b>0,83</b>	0,13
C27	Infrutescencias por planta (número)	-0,38	-0,25	0,44
C28	Frutos por Infrutescencia (número)	-0,29	<b>0,91</b>	-0,01
C29	Longitud del fruto (cm)	0,66	-0,50	-0,37
C30	Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	0,63	-0,61	-0,30
C31	Longitud del pedicelo (cm)	0,46	-0,44	-0,03
C32	Diámetro del fruto (cm)	<b>0,89</b>	-0,30	-0,06
C33	Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	0,60	-0,21	0,44
C34	Peso del fruto (g)	<b>0,83</b>	-0,33	-0,18
C35	Relación longitud : diámetro del fruto	-0,31	-0,48	-0,52
C36	Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	0,17	0,44	-0,28
<b>Semillas</b>				
C37	Longitud de la semilla (cm)	0,40	0,63	-0,11
C38	Ancho de la semilla (cm)	0,26	0,25	-0,05
C39	Semillas por fruto ((número)	0,59	-0,55	0,04

\* Se resaltan en negrita los valores de mayor contribución (> 0,70)  
La contribución es alta ( $\geq 0,70$ ) independientemente del signo

## Resultados

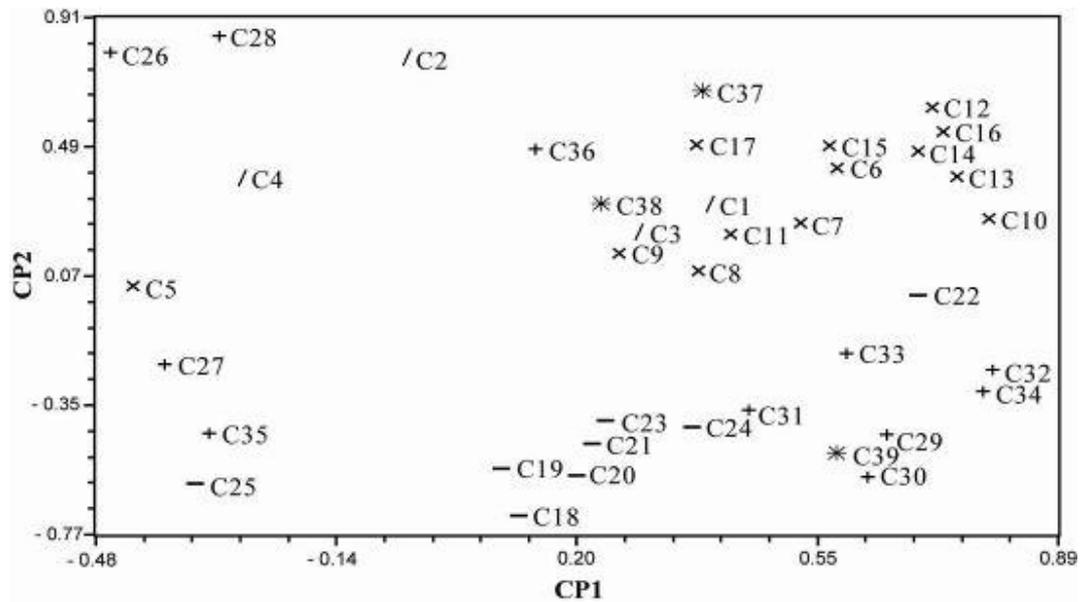


Figura 4.5. Distribución de 39 caracteres morfológicos evaluados en 24 accesiones de tomate de árbol, según la CP1 y CP2. Grupos de caracteres: / arquitectura de la planta, x hojas del tallo y de la copa, - Inflorescencia y flor, + Infrutescencia y fruto, \* y semilla. Los nombres de los caracteres constan en la Tabla 4.35

El análisis de componentes principales ha permitido poner en evidencia agrupaciones de caracteres, de forma que los provenientes de la misma parte de la planta y relacionados con tamaños de órganos o sus partes, tienden a asociarse conjuntamente, indicando que están correlacionados entre sí (Figura 4.5). Así, los caracteres de tamaño y peso de fruto presentaron valores altos para la CP1 y bajos para la CP2, los caracteres de hoja (tanto de tallo como de copa) presentaron valores altos para ambas componentes; en cambio, los de inflorescencia y flor se caracterizaron por presentar valores bajos para la CP2 y un amplio rango de variación para la CP1, y los caracteres de infrutescencia presentaron valores bajos para la CP1 y altos para la CP2.

### - ACP de caracteres (CP1 – CP3)

Para un análisis más completo de la ordenación de las accesiones y de los caracteres, se obtuvieron sendas distribuciones según la primera y tercera componentes principales (Figura 4.6).

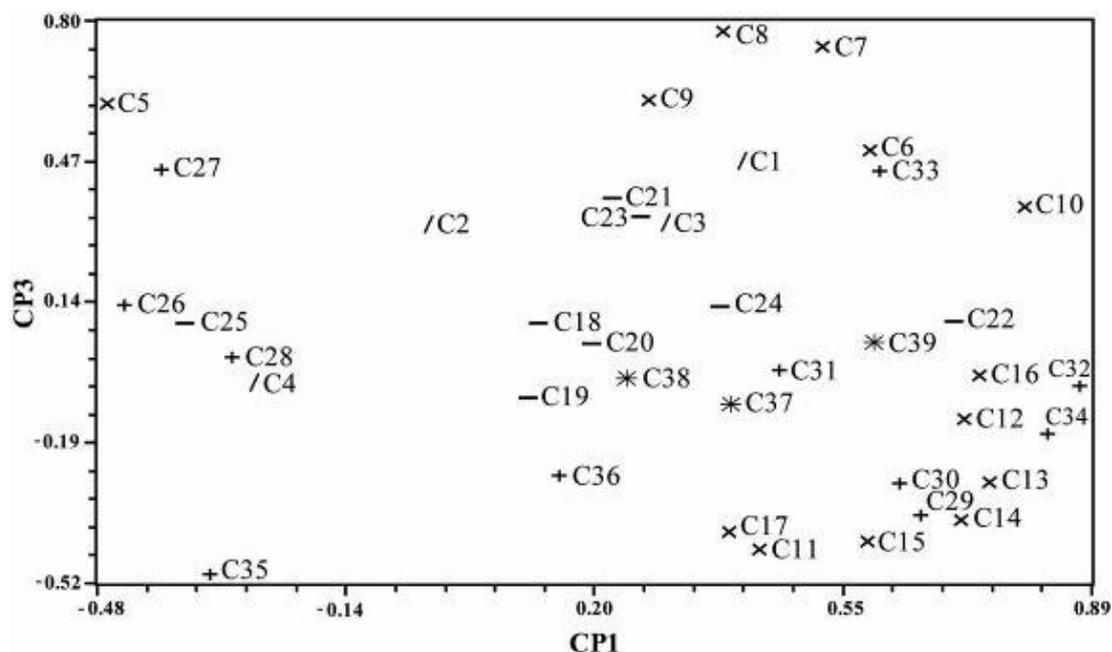


Figura 4.6. Distribución de 39 caracteres morfológicos evaluados en 24 accesiones de tomate de árbol, según las componentes CP1 y CP3. Grupos de caracteres: / arquitectura de la planta, x hojas del tallo y de la copa, - Inflorescencia y flor, + Infrutescencia y fruto, \* y semilla. Los nombres de los caracteres constan en la Tabla 4.35

A este respecto, la CP3 separó principalmente a los caracteres de las hojas provenientes del tallo principal, por una parte, y a los de las hojas originadas en la copa, por otra; observándose valores positivos para las primeras y negativos para las segundas; dicha diferenciación también se observa en el análisis de las dos primeras componentes (Figura 4.5), constatando además la tendencia de los caracteres a agruparse de acuerdo a una misma parte u órgano evaluado. Los caracteres que presentaron una alta contribución para la CP3 (*eigen* vectores  $\geq 0,73$ ) fueron únicamente dos: el ancho máximo del limbo (C8) y el ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (C7), en ambos casos evaluados en las hojas originadas en el tallo (Figura 4.6 y Tabla 4.35).

- ACP de caracteres (CP2 – CP3)

Otra distribución analizada ha sido la de los caracteres según CP2 y CP3, que resultó uniforme para los 39 caracteres en los cuatro cuadrantes (Figura 4.7). Como ocurría con su distribución según CP1-CP2 (Figura 4.5) y según CP1-CP3 (Figura 4.6), los caracteres han mostrado una tendencia a agruparse de acuerdo a la proveniencia de una misma parte de la planta u órgano. De forma general, los caracteres relacionados con el tamaño del fruto, incluyendo el peso, resultaron con valores negativos bajos en ambas componentes, mientras que los relacionados con el número de frutos por planta y por infrutescencia (C26 y C28, respectivamente) asumieron valores positivos de CP2. Los caracteres de inflorescencia y flor también presentaron valores bajos en las dos componentes (exceptuando la longitud de la inflorescencia en la segunda componente), con cifras negativas en CP2 y positivas (excepto la longitud del pedúnculo) en CP3 (Tabla 4.35, Figura 4.7). Como en el análisis anterior (Figura 4.6), la CP3 separó principalmente a los caracteres de las hojas del tallo principal (con valores positivos), de los caracteres de hojas originadas en la copa (con valores negativos).

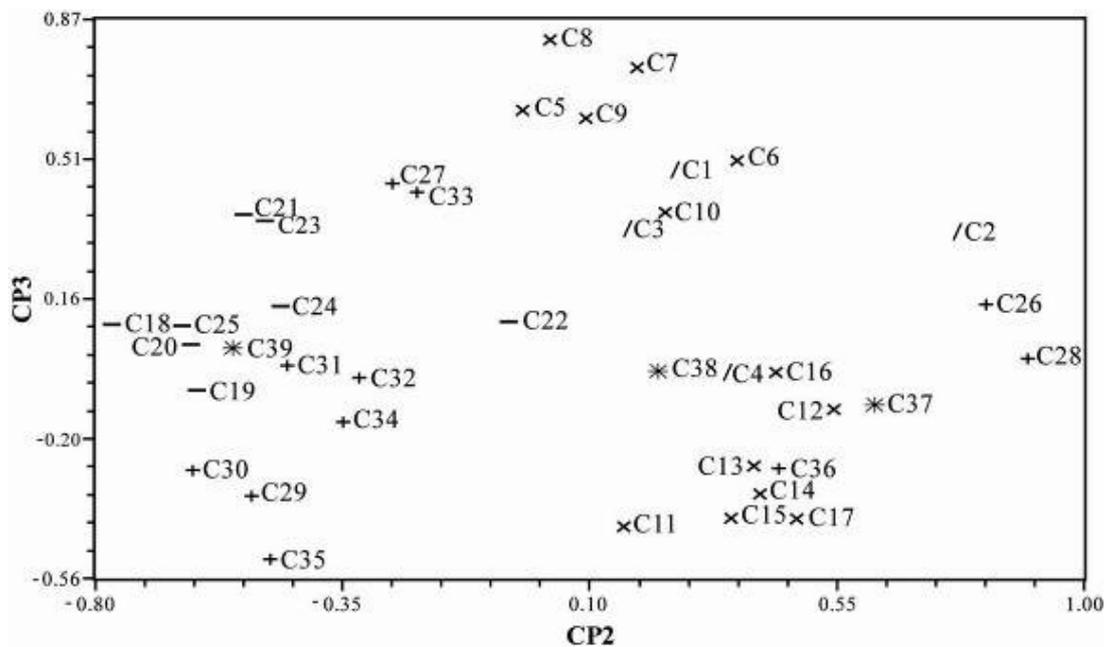


Figura 4.7. Distribución de 39 caracteres morfológicos evaluados en 24 accesiones de tomate de árbol, según la CP2 y CP3. Grupos de caracteres: / arquitectura de la planta, x hojas del tallo y de la copa, - Inflorescencia y flor, + Infrutescencia y fruto, \* y semilla. Los nombres de los caracteres constan en la Tabla 4.35

**- ACP de accesiones (CP1 – CP2)**

Con referencia al ACP de las 24 accesiones de tomate de árbol al considerar la primera y segunda componente, las accesiones se agruparon estableciendo dos conjuntos claramente diferenciados, llamados aquí A (conformado por una única accesión, A-41) y B (constituido por las 23 accesiones restantes); la CP2 fue el eje que determinó la nítida separación entre ambos grupos, con el conjunto A asumió en un valor positivo y alto, y el B con valores en su mayoría negativos y relativamente bajos (Figura 4.8).

La CP1 separó las accesiones del conjunto B, determinando de forma general la existencia de cuatro subconjuntos, aquí denominados B1, B2, B3 y B4, con valores crecientes en cada uno de ellos sobre dicha componente, indicando así que estos subgrupos presentan diferencias en los caracteres más correlacionados con ésta componente, como pueden ser los caracteres relacionados con el tamaño y peso del fruto, o el número de semillas contenidas en cada fruto (Figuras 4.5 y 4.8).

De las cuatro subagrupaciones determinadas en el conjunto B, los subconjuntos B1 y B4 son los que se encuentran más distantes entre sí en la representación gráfica. El subconjunto B1 conformado por las accesiones A-35 y A-36, asumió los valores más bajos de la componente uno, consecuencia de una producción de frutos de menor tamaño y peso, con respecto al total de accesiones de B; este subconjunto B1 presentó también valores bajos en la mayor parte de los caracteres de las hojas de la copa, principalmente en el ángulo apical, y en el ancho máximo del limbo. Por otra parte, las ocho accesiones del subconjunto B4 mostraron los mayores valores de todo el material evaluado sobre la CP1, lo cual está relacionado principalmente con la obtención de frutos con los mayores tamaños y pesos, y con los mayores valores en la mayor parte de caracteres medidos en las hojas de la copa. Los subconjuntos B2 y B3 asumieron valores intermedios en la CP1, lo que de manera general se relacionó con la producción de frutos con valores de tamaño y peso más próximos a la media de todas las accesiones, sucediendo lo mismo con la mayor parte de caracteres de las hojas, en especial con las provenientes del tallo principal. Es de indicar que la accesión A-37, a pesar de resultar con valores bajos en la mayor parte de los caracteres de las hojas de la copa y del fruto, no los presenta tan bajos en caracteres como diámetro y peso del fruto, situándose a cierta distancia de A-35 (subconjunto B1) y A-34 (subconjunto B2); por esta razón no ha sido considerada dentro de ningún

## *Resultados*

subconjunto, aunque por su mayor acercamiento con A-34 podría ser incluida en el conjunto B2.

La CP2 ubicó a A-41 como la accesión más distante del conjunto estudiado (Figura 4.8), concordando con lo obtenido en el análisis de agrupamientos antes realizado (Figura 4.1). Esta accesión A-41 es la única integrante del aquí denominado conjunto A, y queda separada de las 23 accesiones restantes (conjunto B) por expresar diferencias significativas en más del 50% de los caracteres evaluados. Como se ha indicado anteriormente, A-41 mostró valores positivos altos de la segunda componente, lo cual se relaciona con los caracteres correspondientes principalmente a infrutescencias (C28: frutos por infrutescencia y C26: frutos por planta) y al diámetro del tallo principal (C4), que dominaron positivamente sobre la segunda componente; en concreto, la producción en número de frutos por planta de A-41 fue muy superior a la de todas las accesiones del conjunto B. La mayor parte de las variables relacionadas con inflorescencias y flores (exceptuando C22: ancho del pétalo) también contribuyeron de forma significativa a la diferenciación de A-41, que presentó valores inferiores en los caracteres de inflorescencia y flor frente a los obtenidos en el resto del material evaluado. Además, es importante indicar que A-41 produjo frutos con tamaños, pesos y número de semillas muy inferiores a los de todas las demás accesiones, lo cual también contribuyó a la marcada separación de esta accesión en la representación gráfica del análisis de componentes principales.

Con referencia a la ordenación de los grupos agronómicos (Figura 4.8), no se aprecia una agrupación clara de éstos respecto de la CP1; sin embargo, es de destacar la tendencia de los grupos morado y rojo (aunque no en todas sus accesiones) a diferenciarse de manera conjunta del resto de agrupaciones. En general, los grupos morado y rojo se distinguieron de los demás por producir frutos con valores superiores, principalmente en caracteres de longitud, diámetro y peso (Figuras 4.5 y 4.8). La CP2 distinguió significativamente al grupo trompo (conformado únicamente por A-41 y ubicado en el conjunto A) de las demás agrupaciones agronómicas establecidas (conjunto B), de igual forma que ocurrió con A-41 cuando se analizaron las accesiones en forma individual.

De acuerdo con el origen del germoplasma (Figura 4.9), la primera componente diferenció, aunque no de una forma clara, a las accesiones provenientes de Ecuador frente a las que han sido recolectadas en otros países (Bolivia, Colombia, Perú, Nueva Zelanda y Portugal). La segunda componente separó con una distancia significativa a

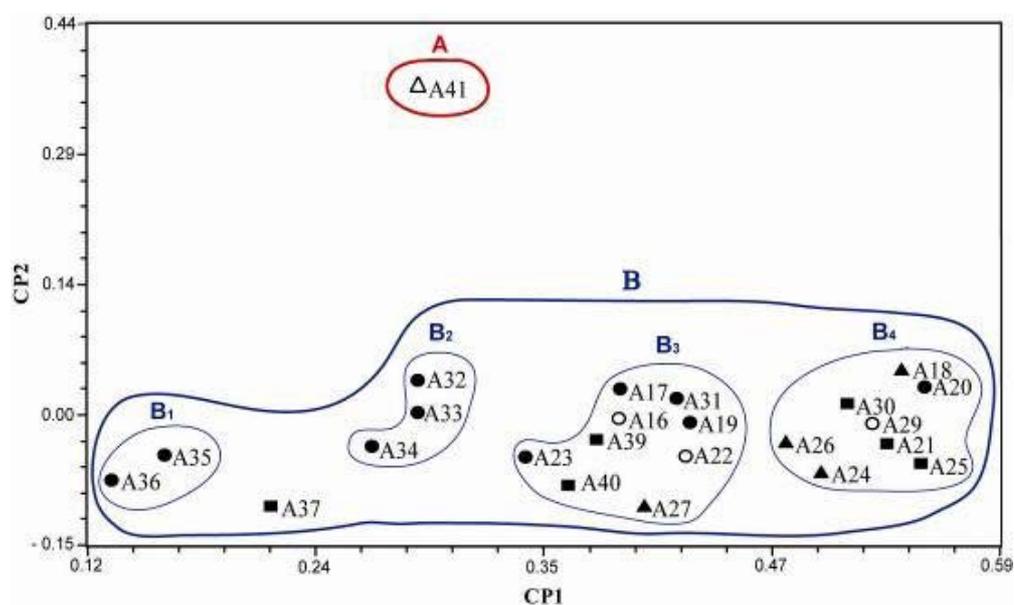


Figura 4.8. Distribución de 24 accesiones de tomate de árbol evaluadas a través de 39 caracteres morfológicos, según la CP1 y CP2. La línea roja delimita al conjunto A y la línea azul delimita al conjunto B y sus respectivos subconjuntos. Grupos agronómicos: ● anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado, ▲ rojo, y △ trompo. Ver información sobre las accesiones y sus respectivos grupos agronómicos en la Tabla 3.1

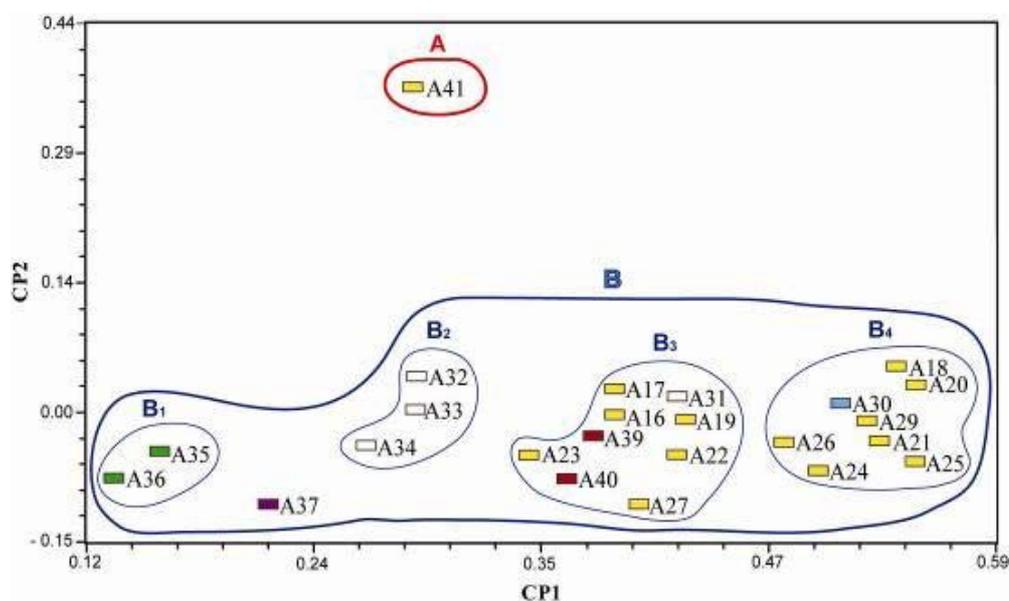


Figura 4.9. Distribución de 24 accesiones de tomate de árbol de acuerdo al origen geográfico, según la CP1 y CP2. La línea roja delimita al conjunto A y la línea azul delimita al conjunto B y sus respectivos subconjuntos. ■ Ecuador, ■ Colombia, □ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal y ■ Nueva Zelanda. Ver información sobre las accesiones y su lugar de procedencia en la Tabla 3.1

## Resultados

una de las accesiones provenientes de Ecuador (A-41) del resto, recolectadas tanto en el mismo Ecuador como en el resto de países.

### - ACP de accesiones (CP1 – CP3)

La CP3 no tuvo una contribución importante en la ordenación de las accesiones de tomate de árbol (Figura 4.10), y no alteró los subconjuntos de B identificados a través de las dos primeras componentes (Figura 4.8). Al representar gráficamente CP1 y CP3 se observa que la CP3 separó las accesiones del subconjunto B1 (A-35 y A-36) algo más que en el análisis anterior. Por otra parte, la accesión A-37 mostró un considerable distanciamiento respecto de las accesiones tanto del subconjunto B2 como del B1, y de su posición en el análisis de las dos primeras componentes (Figura 4.8), razón por la que dicha accesión tampoco ha sido asignada a ningún subconjunto.

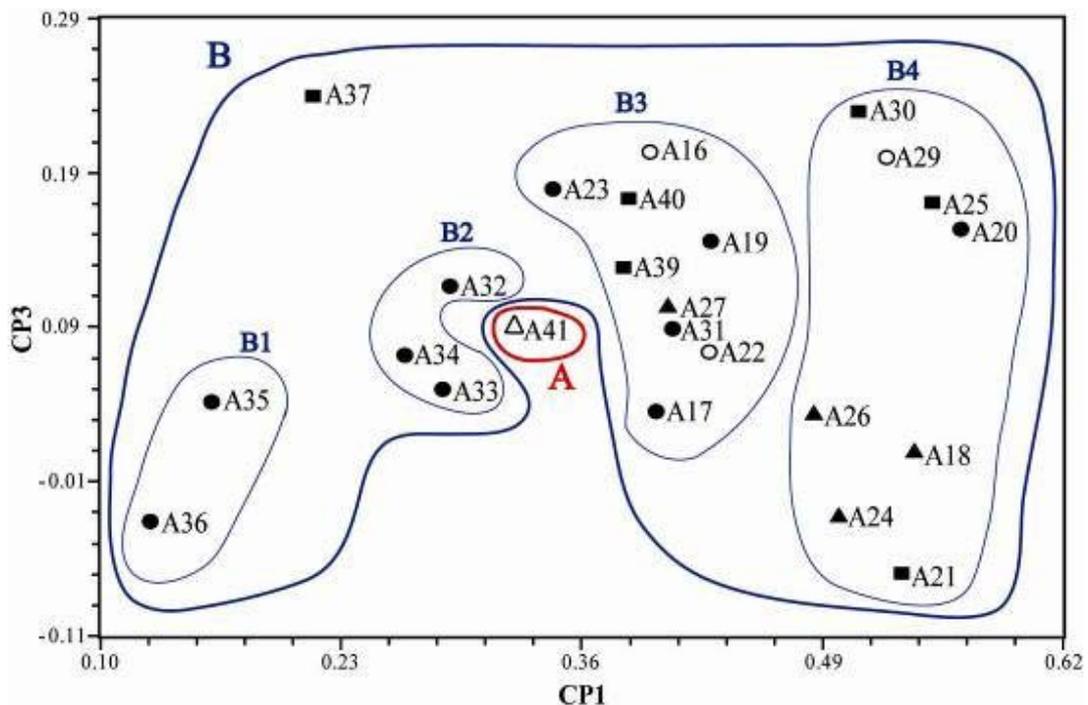


Figura 4.10. Distribución de 24 accesiones de tomate de árbol evaluadas a través de 39 caracteres morfológicos, según la CP1 y CP3. La línea roja delimita al conjunto A y la línea azul delimita al conjunto B y sus respectivos subconjuntos. Grupos agronómicos: ● anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado, ▲ rojo, y △ trompo. Ver información sobre las accesiones y sus respectivos grupos agronómicos en la Tabla 3.1

Otra de las diferencias determinadas por la CP3 se aprecia en el subconjunto B4, en el que se ha separado A-21, con el menor valor (negativo), de las accesiones A-29 y A-30 (con valores positivos altos), debido a que estas últimas mostraron hojas (del tallo) con mayor anchura que A-21, mientras que A-21 produjo frutos de tamaño y peso superiores a los de las otras dos accesiones (Figuras 4.6 y 4.10).

En el momento de estudiar la distribución de las accesiones según los grupos agronómicos (Figura 4.10) y según el origen del material (Figura 4.11), las componentes CP1-CP3 mostraron resultados muy similares a los encontrados con CP1-CP2, los cuales han sido expuestos anteriormente en la Figura 4.8. El hecho de que la CP3 explique una proporción de la varianza mucho menor (12,32%) que la primera (25,33%) y segunda (22,08%) (Tabla 4.34), probablemente haya influido en el escaso efecto que la consideración de esta componente ha tenido en la ordenación ya obtenida con las componentes primera y segunda.

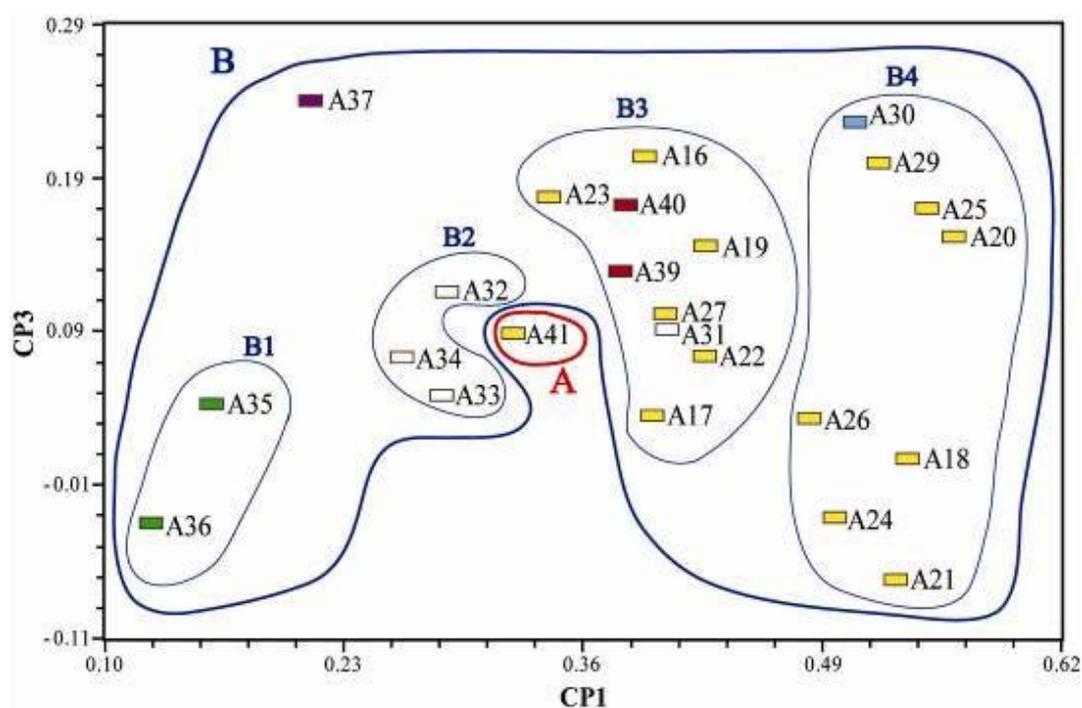


Figura 4.11. Distribución gráfica de 24 accesiones de tomate de árbol de acuerdo al origen geográfico, según la CP1 y CP3. La línea roja delimita al conjunto A y la línea azul delimita al conjunto B y sus respectivos subconjuntos. ■ Ecuador, ■ Colombia, □ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal y ■ Nueva Zelanda. Ver información sobre las accesiones y su lugar de procedencia en la Tabla 3.1

- ACP de accesiones (CP2 – CP3)

En lo que respecta a la distribución de las accesiones en función de CP2 y CP3 (Figura 4.12) se constata que la CP2 determinó un considerable distanciamiento de la accesión A-41 y por ende del grupo trompo (conjunto A) del resto de accesiones y respectivos grupos agronómicos (conjunto B), como ocurría al analizar la distribución según las dos primeras componentes principales (Figura 4.8). Las 23 accesiones del conjunto B asumieron valores de CP3 distribuidos por todo su rango, aunque en su mayoría positivos. La distribución de accesiones del conjunto B no ha permitido en este caso una diferenciación clara de sus cuatro subconjuntos, que sí se apreciaban en los análisis anteriores y principalmente al representar gráficamente las dos primeras componentes.

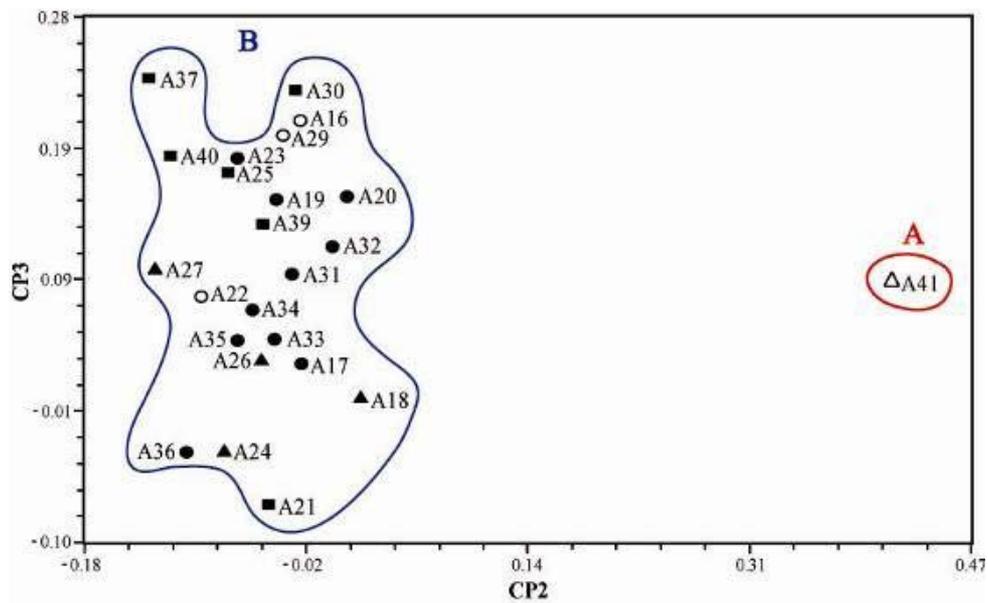


Figura 4.12. Distribución de 24 accesiones de tomate de árbol evaluadas a través de 39 caracteres morfológicos, según la CP2 y CP3. La línea roja delimita al conjunto A y la línea azul delimita al conjunto B y sus respectivos subconjuntos. Grupos agronómicos: ● anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado, ▲ rojo, y △ trompo. Ver información sobre las accesiones y sus respectivos grupos agronómicos en la Tabla 3.1

En lo que respecta a la distribución de accesiones de acuerdo al grupo agronómico al que pertenecen (Figura 4.12) y a su proveniencia geográfica (Figura 4.13), tampoco se han encontrado agrupaciones claras, con la excepción ya mencionada del grupo trompo.

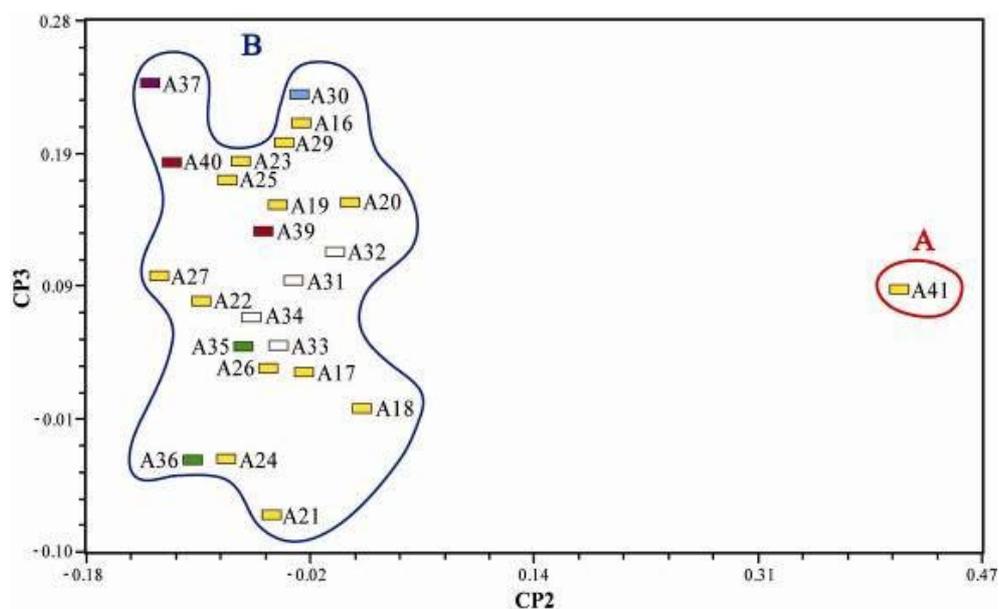


Figura 4.13. Distribución de 24 accesiones de tomate de árbol de acuerdo al origen geográfico, según la CP2 y CP3. La línea roja delimita al conjunto A y la línea azul delimita al conjunto B y sus respectivos subconjuntos. ■ Ecuador, ■ Colombia, □ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal y ■ Nueva Zelanda. Ver información sobre las accesiones y su lugar de procedencia en la Tabla 3.1

#### - ACP de accesiones (CP1 – CP2 – CP3)

De forma general, al analizar la distribución de las accesiones (incluyendo grupos agronómicos y origen del material vegetal) determinada por las tres primeras componentes principales (Figura 4.14), se constata lo observado tanto en el análisis de agrupamientos (Figuras 4.1 y 4.2) como en los tres ACP anteriores (CP1-CP2, CP1-CP3 y CP2-CP3; Figuras 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13).

De acuerdo al gráfico tridimensional (Figura 4.14), la CP2 separa de forma muy notoria dos conjuntos de accesiones: el conjunto A, conformado por una sola accesión (A-41),

## Resultados

y el conjunto B, con las 23 accesiones restantes pertenecientes a cuatro grupos agronómicos y procedentes de seis países (incluyendo Ecuador). Como ya se mencionó en análisis anteriores (Figuras 4.8 y 4.9), el distanciamiento considerable de la accesión A-41 con respecto al resto de germoplasma se debe a diferencias significativas en 23 caracteres, más del 50% de los 39 caracteres estudiados; dichas diferencias corresponden principalmente a caracteres relacionados con el fruto (menor tamaño, menor peso, menor cantidad de semillas contenidas en cada fruto, mayor número de frutos producidos por cada planta, entre otros).

En la Figura 4.14 se puede observar que la CP1 diferenció las accesiones del conjunto B, pudiéndose establecer cuatro subconjuntos (B1, B2, B3 y B4), con valores progresivamente mayores a lo largo de esta componente; las diferencias más relevantes entre estos subconjuntos obedecen a los caracteres con mayor contribución en esta componente, como son principalmente los relacionados con el tamaño y peso del fruto, y el número de semillas por fruto.

Al igual que lo encontrado en los análisis de CP1-CP2 y CP1-CP3 (Figuras 4.8 y 4.10) los subconjuntos que más se han distanciado han sido B1 y B4. El subconjunto B1 constituye la agrupación de B con menor número de accesiones (A-35 y A-36) y que presenta los valores más bajos de CP1, debido principalmente a que las plantas de estas accesiones han producido frutos de menor tamaño y peso. Por otra parte, el subconjunto B4 ha sido una de las agrupaciones del conjunto B que mayor número de accesiones reunió (ocho) y con los valores más altos de CP1, lo que se relaciona con mayores valores en tamaño y peso del fruto. El resto de subconjuntos (B2 y B3) han asumido valores intermedios de CP1, que se relacionan de forma general con frutos de tamaño y peso próximos a la media general de todas las accesiones.

En este análisis tridimensional ha sido posible establecer de manera más clara la ubicación de la accesión A-37, esta vez asignada al subconjunto B2 (ahora conformado por cuatro accesiones). Esta asociación se debe principalmente a que las plantas de la accesión A-37 se han caracterizado por frutos de tamaño parecido al resto de accesiones de B2, principalmente a los de A-32 (Figura 4.14).

No se evidencia un aporte importante de la tercera componente en el establecimiento de agrupaciones; sólo es de mencionar cierta diferenciación encontrada entre accesiones de los subconjuntos B1, B2 y B4, principalmente.

Con referencia a la ordenación según grupos agronómicos y origen geográfico del germoplasma, el análisis tridimensional tampoco diferenció de forma clara la distribución del germoplasma estudiado, aparte del grupo agronómico trompo (A-41) procedente de Ecuador (conjunto A), frente al resto de grupos agronómicos (conjunto B), conformados a su vez por accesiones provenientes de diferentes países (incluido Ecuador).

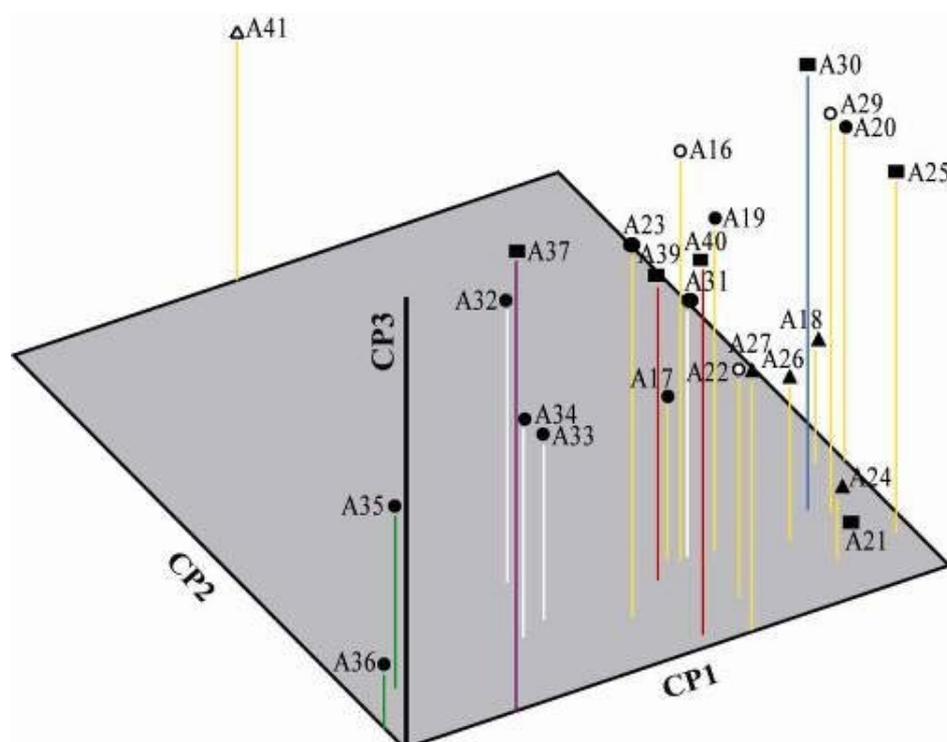


Figura 4.14. Distribución de 24 accesiones de tomate de árbol, según las tres primeras componentes principales. Esta representación tridimensional expresa el 59,74% de la variación total. Grupos agronómicos: ● anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado, ▲ rojo, y △ trompo. Origen geográfico: ■ Ecuador, ■ Colombia, □ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal y ■ Nueva Zelanda. Ver información sobre las accesiones, grupos agronómicos y lugar de procedencia en la Tabla 3.1

- **ACP del conjunto B**

Con el fin de profundizar en la relación de las accesiones del conjunto B se realizó un nuevo análisis de componentes principales en el que se estudiaron únicamente las accesiones de este conjunto. De igual forma que en el caso anterior, se consideraron las tres primeras componentes, las cuales de manera conjunta expresaron el 57,85% de la variación de todos los caracteres. La CP1 asumió el 31,70% de la variación total, la CP2 el 14,17% y la CP3 el 11,97% (Tabla 4.36).

**Tabla 4.36. Valores propios y proporción de la varianza explicada correspondientes a las componentes con valores propios superiores a 1 en el análisis de componentes principales de los caracteres morfológicos de 23 accesiones de tomate de árbol (sin la accesión A-41)**

Componentes principales	Valores propios ( $\lambda_p$ )	Proporción de la varianza total explicada	
		Individual (%)	Acumulada (%)
1	12,36	31,70	31,70
2	5,52	14,17	45,87
3	4,66	11,97	57,85
4	3,57	09,15	67,01
5	2,71	06,96	73,97
6	1,79	04,61	78,58
7	1,51	04,08	82,67
8	1,31	03,37	86,05
9	1,15	02,95	89,00

La Tabla 4.37 recoge los valores que representan las contribuciones de los caracteres (vectores propios o *eigen*-vectores) a la construcción de las tres primeras componentes principales, correspondientes a 23 accesiones de tomate de árbol (sin considerar a A-41).

Tabla 4.37. Contribuciones de los caracteres (vectores propios o *eigen*-vectores) a la construcción de las tres primeras componentes principales

Caracteres	Vectores propios o <i>eigen</i> vectores*			
	Primera componente	Segunda componente	Tercera componente	
<b>Arquitectura de la planta</b>				
C1	Altura del tallo principal (cm)	0,40	0,47	0,12
C2	Diámetro del tallo (cm)	0,07	0,48	-0,47
C3	Longitud del segundo entrenudo (cm)	0,29	0,29	0,02
C4	Diámetro de la copa (cm)	-0,23	-0,04	-0,47
<b>Hojas del tallo</b>				
C5	Longitud del limbo (cm)	-0,54	0,61	-0,22
C6	Longitud de la escotadura basal (cm)	0,66	0,53	0,23
C7	Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	0,52	<b>0,75</b>	0,10
C8	Ancho máximo del limbo (cm)	0,33	<b>0,82</b>	-0,06
C9	Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	0,22	0,66	-0,30
C10	Ángulo del ápice del limbo (grados sexagesimales)	<b>0,83</b>	0,41	0,10
<b>Hojas de la copa</b>				
C11	Longitud del limbo (cm)	0,41	-0,24	<b>-0,73</b>
C12	Longitud de la escotadura basal (cm)	<b>0,86</b>	-0,02	-0,28
C13	Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	<b>0,80</b>	-0,12	-0,45
C14	Ancho máximo del limbo (cm)	<b>0,76</b>	-0,17	-0,53
C15	Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	0,62	-0,23	-0,58
C16	Ángulo del ápice del limbo (grados sexagesimales)	<b>0,83</b>	0,10	-0,24
C17	Longitud del peciolo (cm)	0,51	-0,35	-0,30
<b>Inflorescencia y flor</b>				
C18	Longitud de la Inflorescencia (cm)	-0,04	0,32	-0,39
C19	Longitud del pedúnculo (cm)	-0,02	0,02	-0,46
C20	Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	0,12	0,14	-0,10
C21	Longitud del pétalo (cm)	0,13	0,50	-0,01
C22	Ancho del pétalo (cm)	0,68	0,13	0,00
C23	Diámetro de la corola (cm)	0,15	0,50	-0,01
C24	Longitud de la antera (cm)	0,35	0,20	-0,16
C25	Longitud del estilo (cm)	-0,58	0,15	-0,04
<b>Infrutescencia y fruto</b>				
C26	Frutos por planta (número)	<b>-0,77</b>	0,35	-0,32
C27	Infrutescencias por planta (número)	-0,46	0,48	-0,15
C28	Frutos por Infrutescencia (número)	<b>-0,70</b>	-0,04	-0,27
C29	Longitud del fruto (cm)	<b>0,76</b>	-0,48	0,05
C30	Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	<b>0,77</b>	-0,40	-0,01
C31	Longitud del pedicelo (cm)	0,47	-0,10	0,20
C32	Diámetro del fruto (cm)	<b>0,93</b>	-0,08	0,25
C33	Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	0,58	0,41	0,51
C34	Peso del fruto (g)	<b>0,89</b>	-0,24	0,31
C35	Relación longitud : diámetro del fruto	-0,42	-0,60	-0,40
C36	Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	0,31	-0,39	0,15
<b>Semillas</b>				
C37	Longitud de la semilla (cm)	0,55	0,02	-0,57
C38	Ancho de la semilla (cm)	0,26	0,10	-0,65
C39	Semillas por fruto (número)	0,64	-0,09	0,65

\*Se resaltan en negrita los valores de mayor contribución (> 0,70)

La contribución es alta ( $\geq 0,70$ ) independientemente del signo

**- ACP de caracteres del conjunto B (CP1 – CP2)**

En el momento de analizar la distribución de los 39 caracteres evaluados en las accesiones del conjunto B en función de las dos primeras componentes (Figura 4.15), los caracteres de mayor contribución a la CP1 (*eigen* vectores  $\geq 0,70$ ) han sido principalmente los de infrutescencias, frutos y hojas de la copa; en su mayoría con valores positivos (Tabla 4.37). En este sentido los caracteres diámetro del fruto (C32) y peso del fruto (C34) han sido los de mayor aporte (*eigen* vectores  $\geq 0,89$ ), seguidos por tres caracteres de hojas del tallo y copa principalmente: longitud de la escotadura basal en hojas de la copa (C12), ángulo del ápice del limbo en hojas del tallo y de la copa (C10 y C16) y ancho del limbo a la altura de la escotadura basal en hojas de la copa (C13), todos estos con *eigen* vectores con valores iguales o superiores a 0,80. Los únicos caracteres que han contribuido a CP1 con valores altos pero con signo negativo fueron el número de frutos por planta (C26) y de frutos por infrutescencia (C28) (*eigen* vectores con valores de -0,77 y - 0,70, respectivamente).

Por otra parte, en lo que respecta a la segunda componente, únicamente dos de los 39 caracteres estudiados (ancho del limbo a la altura de la escotadura basal, C7, y ancho máximo del limbo, C8, ambos correspondientes a las hojas del tallo) contribuyeron con valores altos (*eigen* vectores  $\geq 0,75$ ) (Tabla 4.37). Tal como se encontró en el ACP de las 24 accesiones (Figura 4.5), en el momento de estudiar la forma en que se han distribuido los caracteres evaluados en las accesiones del grupo B con respecto a las dos primeras componentes (Figura 4.15) se ha observado la tendencia de los caracteres a agruparse de acuerdo con la parte u órgano al que corresponden. De forma general, la mayoría de los caracteres de tamaño del fruto y de las hojas de la copa asumieron valores altos y positivos en la CP1 y bajos en la CP2; en tanto que los caracteres relacionados con la producción de frutos también mostraron valores altos (pero con signo negativo) en CP1, y valores bajos en CP2. Por otra parte, el resto de caracteres relacionados con la arquitectura de la planta, hojas del tallo (exceptuando el ángulo del ápice del limbo), inflorescencia y flor, y semillas, asumieron valores bajos y en su mayoría positivos, tanto en la CP1 como en la CP2.

La CP2 ha distanciado notoriamente a los caracteres de las hojas del tallo frente a los de las hojas de la copa y del tamaño del fruto (incluyendo al peso), mientras que la CP1 ha diferenciado principalmente a los caracteres de infrutescencia de los del fruto, principalmente los relacionados con tamaño y peso (Figura 4.15).

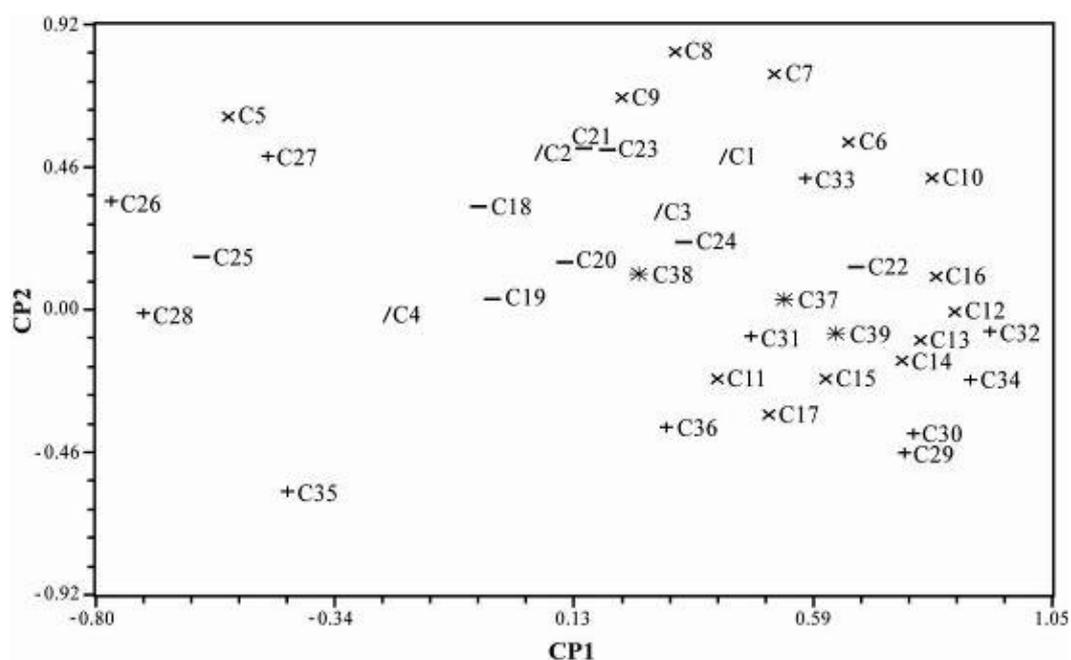


Figura 4.15. Distribución de 39 caracteres morfológicos evaluados en 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B), según la CP1 y CP2. Grupos de caracteres: / arquitectura de la planta, x hojas del tallo y de la copa, - Inflorescencia y flor, + Infrutescencia y fruto, \* y semilla. Los nombres de los caracteres constan en la Tabla 4.37

#### - ACP de caracteres del conjunto B (CP1-CP3)

La distribución de los caracteres según las componentes uno y tres (Figura 4.16) mostró, como lo hacía con CP1-CP2 pero de forma menos clara, una cierta tendencia a formar agrupaciones de acuerdo a la parte u órgano al que corresponden. La CP3 diferenció de cierta forma a los caracteres de las hojas de la copa, por una parte, de los caracteres de las hojas del tallo y de la mayoría de caracteres del fruto, por otra parte. De todos los caracteres evaluados, la longitud del limbo en la hoja de la copa (C11) ha sido el único carácter que mostró una alta contribución a la CP3 (*eigen* vector > 0,70).

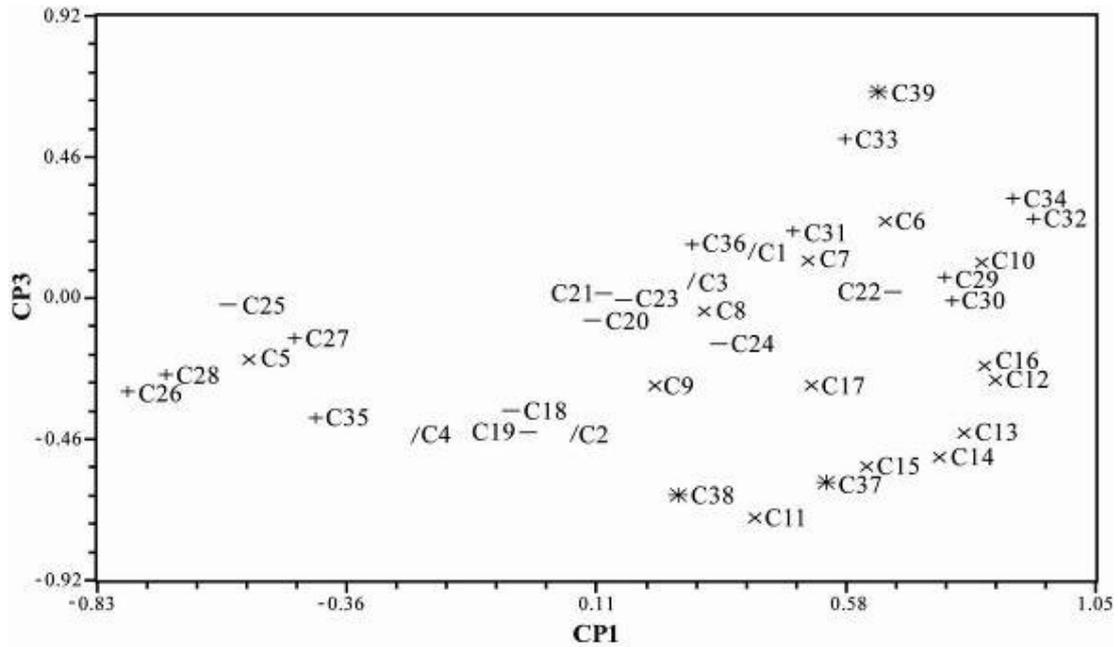


Figura 4.16. Distribución de 39 caracteres morfológicos evaluados en 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B), según la CP1 y CP3. Grupos de caracteres: / arquitectura de la planta, x hojas del tallo y de la copa, - Inflorescencia y flor, + Infrutescencia y fruto, \* y semilla. Los nombres de los caracteres constan en la Tabla 4.37

- ACP de caracteres del conjunto B (CP2–CP3)

En el momento de estudiar la forma en que se han distribuido los caracteres según CP2 y CP3 (Figura 4.17), se observa que las variables morfológicas (al igual que en el estudio de las 24 accesiones en la Figura 4.7), se han distribuido por los cuatro cuadrantes de la Figura 4.17. En este análisis se ha identificado también la tendencia de los caracteres a reunirse de acuerdo a una misma parte de la planta u órgano, aunque de forma menos clara que lo encontrado antes (Figuras 4.5 y 4.15). Como ya se ha manifestado anteriormente, los únicos caracteres que mostraron contribuciones con valores altos (*eigen* vectores  $\geq 0,73$ ) de estas componentes han sido el ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (C7) y el ancho máximo del limbo (C8), con valores positivos de CP2, y la longitud del limbo en hojas de la copa (C11), con valor negativo de CP3.

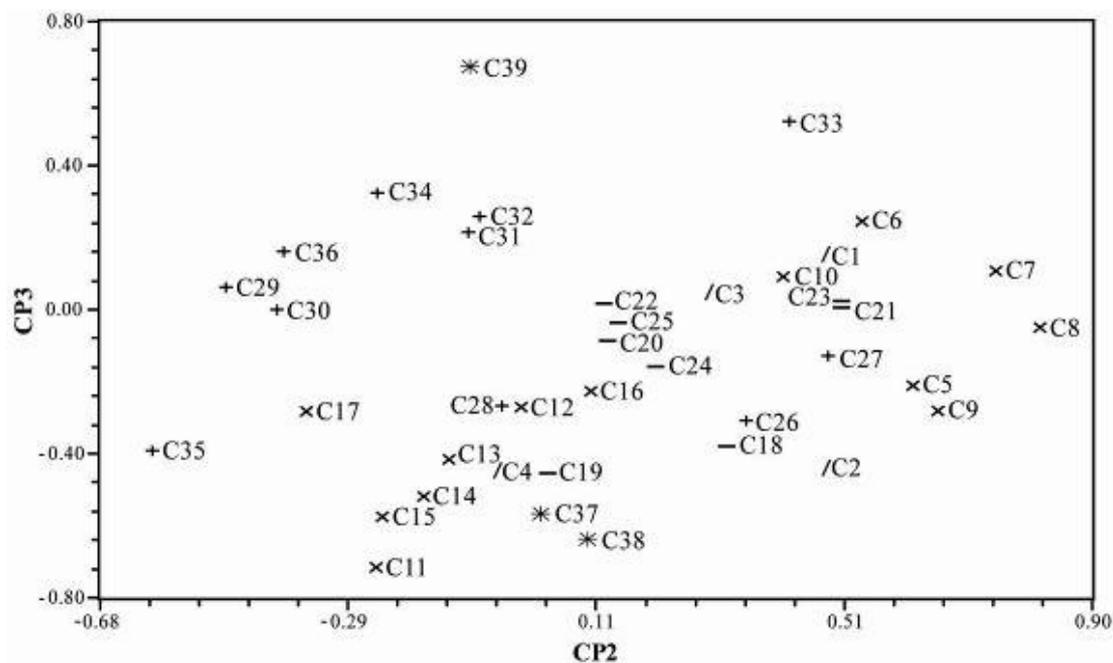


Figura 4.17. Distribución de 39 caracteres morfológicos evaluados en 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B), según la CP2 y CP3. Grupos de caracteres: / arquitectura de la planta, x hojas del tallo y de la copa, - Inflorescencia y flor, + Infrutescencia y fruto, \* y semilla. Los nombres de los caracteres constan en la Tabla 4.37.

#### - ACP de accesiones del conjunto B (CP1–CP2)

Las 23 accesiones del conjunto B se han distribuido en función de las dos primeras componentes (Figura 4.18) de tal forma que se pueden distinguir los mismos grupos ya detectados en el análisis anterior (con 24 accesiones). En este sentido se han distinguido cuatro grupos de accesiones, denominados aquí conjuntos B1, B2, B3 y B4; la estructura y distribución de estos conjuntos coinciden con las de los conjuntos del análisis anterior (con las 24 accesiones, Figura 4.8), con la excepción de que en el presente análisis la accesión A-37 se ha agrupado de manera más clara con las accesiones del conjunto B2, con menor distanciamiento de la accesión A-34 en CP1, en comparación con el resto de accesiones que conforman B2.

Los conjuntos B1, B2, B3 y B4 muestran aquí valores ascendentes de CP1, constatándose que se diferencian principalmente por los caracteres que más han contribuido a esta componente, entre ellos los relacionados sobre todo con el tamaño y peso del fruto. A este respecto, las mayores diferencias se han establecido entre B1

## Resultados

y B4. El conjunto B1 ha sido conformado por accesiones con los más bajos valores en tamaño y peso del fruto, en comparación tanto con B4 como con el resto de conjuntos (B2 y B3); mientras que las accesiones de B4 se caracterizaron especialmente por una producción de frutos de mayor tamaño y peso con relación a las demás agrupaciones (Figura 4.18).

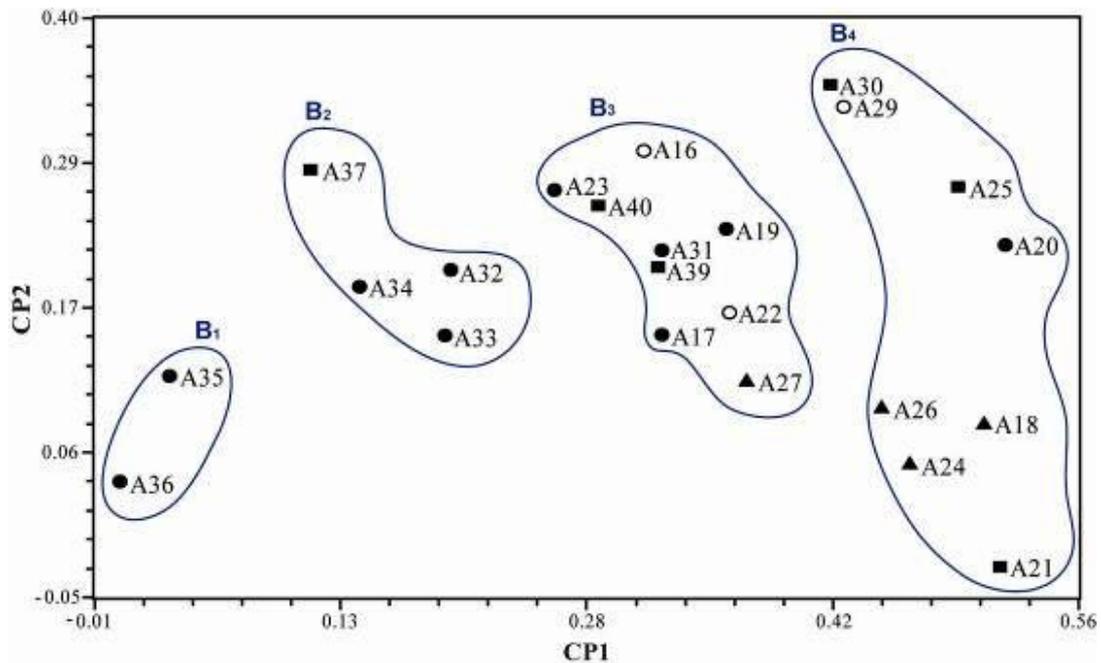


Figura 4.18. Distribución de las 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) evaluadas a través de 39 caracteres morfológicos, según la CP1 y CP2. La línea azul delimita los conjuntos de B. Grupos agronómicos: ● anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado y ▲ rojo. Ver información sobre las accesiones y sus respectivos grupos agronómicos en la Tabla 3.1

En lo que respecta a la distribución por grupos agronómicos, el conjunto B1 ha sido el único que asoció accesiones de un mismo grupo (A-35 y A-36 del grupo anaranjado-elíptico-puntón, Figura 4.18). El conjunto B1 ha sido también el único en que sus accesiones provienen de un mismo país, en este caso Bolivia (Figura 4.19). El resto de conjuntos han sido conformados por accesiones de varios grupos agronómicos, así como de distintas procedencias geográficas.

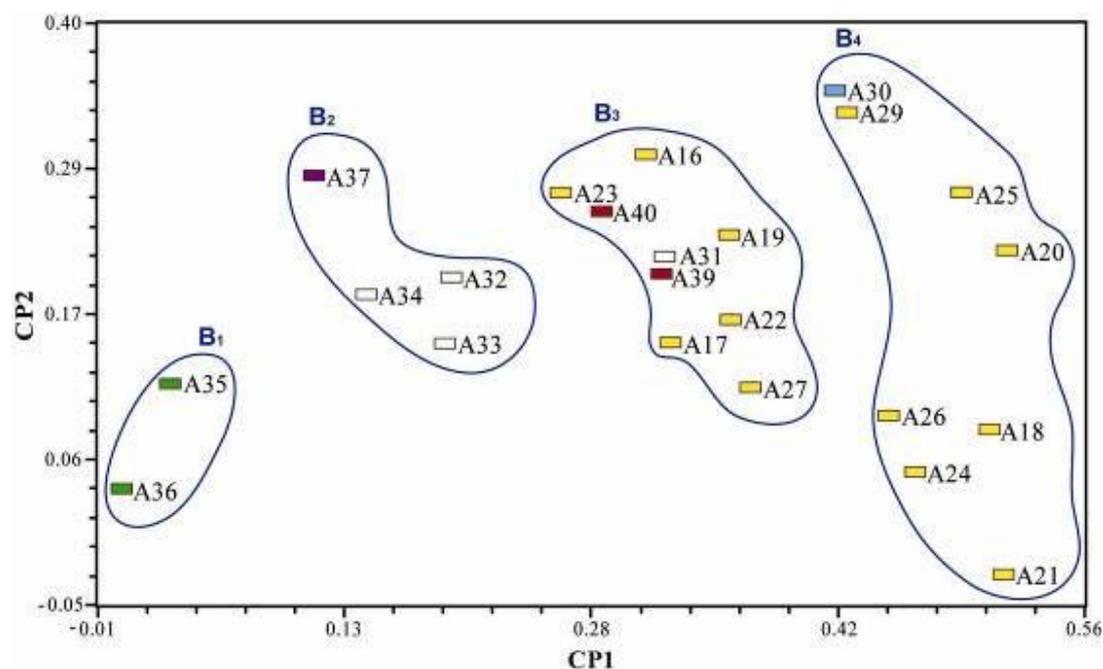


Figura 4.19. Distribución de 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) de acuerdo al origen geográfico, según la CP1 y CP2. La línea azul delimita los conjuntos de B. ■ Ecuador, ■ Colombia, □ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal y ■ Nueva Zelanda. Ver información sobre las accesiones y su lugar de procedencia en la Tabla 3.1

La distribución de las 23 accesiones en cada uno de los grupos del conjunto B según las dos primeras componentes (Figura 4.18) ha sido muy similar a la encontrada cuando se estudiaron las 24 accesiones en función de las componentes uno y tres (Figura 4.10).

#### - ACP de accesiones del conjunto B (CP1–CP3)

En el momento de analizar la forma en que se han distribuido las accesiones en función de CP1 y CP3 (Figura 4.20), se ha observado una forma de agrupación similar a lo encontrado en el estudio de las dos primeras componentes (Figura 4.18).

En este sentido, se observa que la CP1 permite distinguir los cuatro conjuntos (B1, B2, B3 y B4) del análisis con CP1-CP2; como ya se ha mencionado, estas agrupaciones se han diferenciado principalmente por el tamaño y peso de los frutos. Los conjuntos B1 y B4 mostraron el mayor distanciamiento entre conjuntos, el primero (B1)

## Resultados

caracterizado principalmente por frutos de tamaño pequeño y bajo peso con referencia a los tres restantes; mientras que el segundo (B4) mostró los frutos de mayor tamaño y peso en comparación con el resto.

La CP3 no tuvo un aporte significativo en la distribución del material vegetal investigado, aunque distanció a la accesión A-37, con valores negativos bajos, del conjunto B2 (Figura 4.20), en el que se situaba con las dos primeras componentes y cuyas accesiones presentan ahora valores negativos relativamente altos de CP3.

Con referencia a la distribución por grupos agronómicos y procedencia geográfica (Figuras 4.20 y 4.21), las accesiones no mostraron una agrupación clara en el análisis de CP1-CP3, con excepción de los dos primeros conjuntos, B1 y B2, con accesiones pertenecientes a un sólo grupo agronómico (anaranjado-elíptico-puntón para ambos casos) y a un único país (Bolivia para el conjunto B1 y Perú para el conjunto B2); mientras que los otros dos conjuntos (B3 y B4) reunieron accesiones pertenecientes a más de un grupo agronómico y de diferentes países de procedencia.

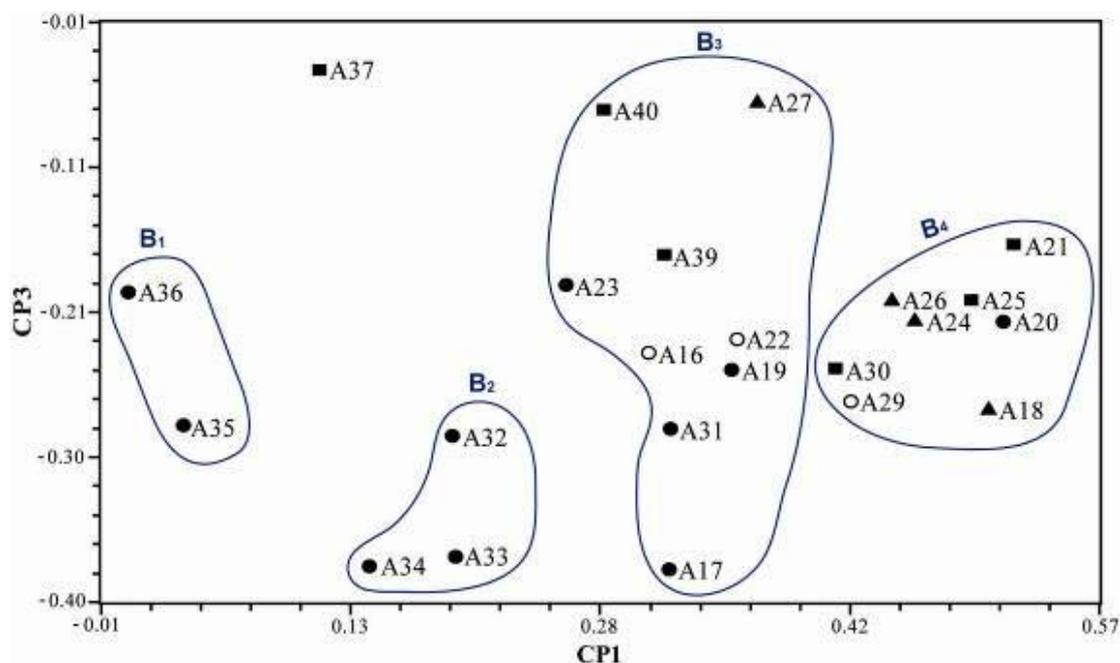


Figura 4.20. Distribución de 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) evaluadas a través de 39 caracteres morfológicos, según la CP1 y CP2. La línea azul delimita los conjuntos de B. Grupos agronómicos: ● anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado y ▲ rojo. Ver información sobre las accesiones y sus respectivos grupos agronómicos en la Tabla 3.1

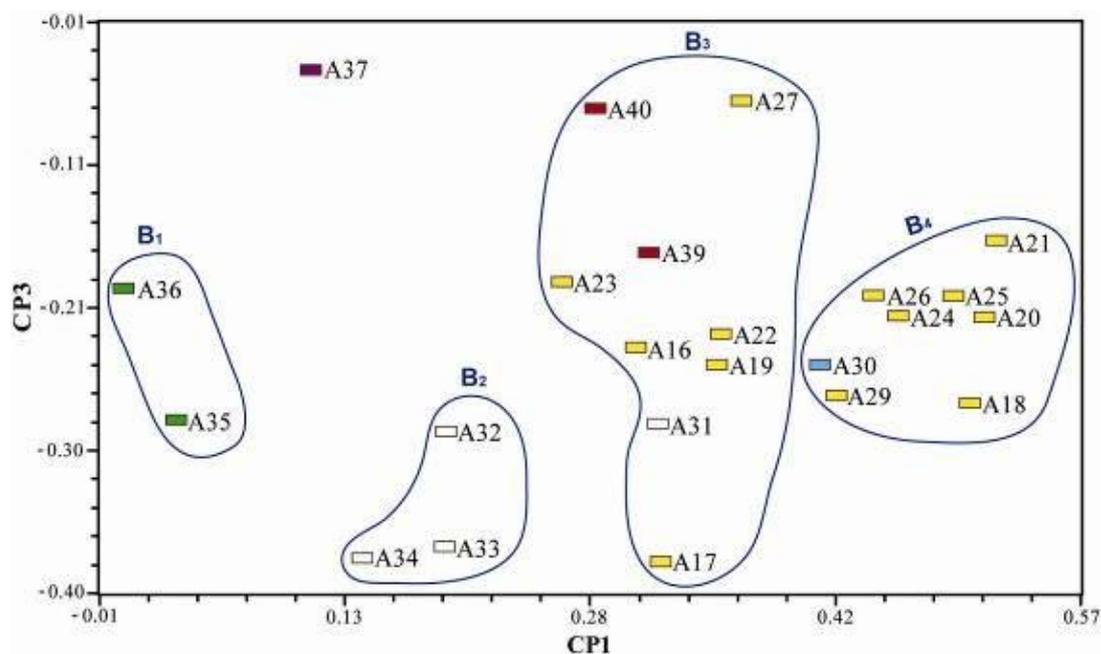


Figura 4.21. Distribución de 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) de acuerdo al origen geográfico, según la CP1 y CP3. La línea azul delimita los conjuntos de B. ■ Ecuador, ■ Colombia, □ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal y ■ Nueva Zelanda. Ver información sobre las accesiones y su lugar de procedencia en la Tabla 3.1

#### - ACP de accesiones del conjunto B (CP2–CP3)

La distribución de las accesiones del grupo B en función de las componentes CP2 y CP3 (Figura 4.22) no mostró una agrupación clara del material vegetal, ya que las 23 accesiones se han distribuido por todo el gráfico asumiendo valores bajos en ambas componentes, entremezclándose las accesiones de los cuatro conjuntos (B1, B2, B3 y B4) de forma que se insinuarían nuevas agrupaciones, aunque la ausencia de un patrón claro de agrupación impide delimitarlas.

Tampoco se observa una agrupación clara de las accesiones con respecto a los cuatro grupos agronómicos y al lugar de procedencia (Figura 4.23) con estas dos componentes, como no se observaba con CP1-CP2 ni con CP1-CP3 (Figuras 4.18, 4.19, 4.20 y 4.21).

Resultados

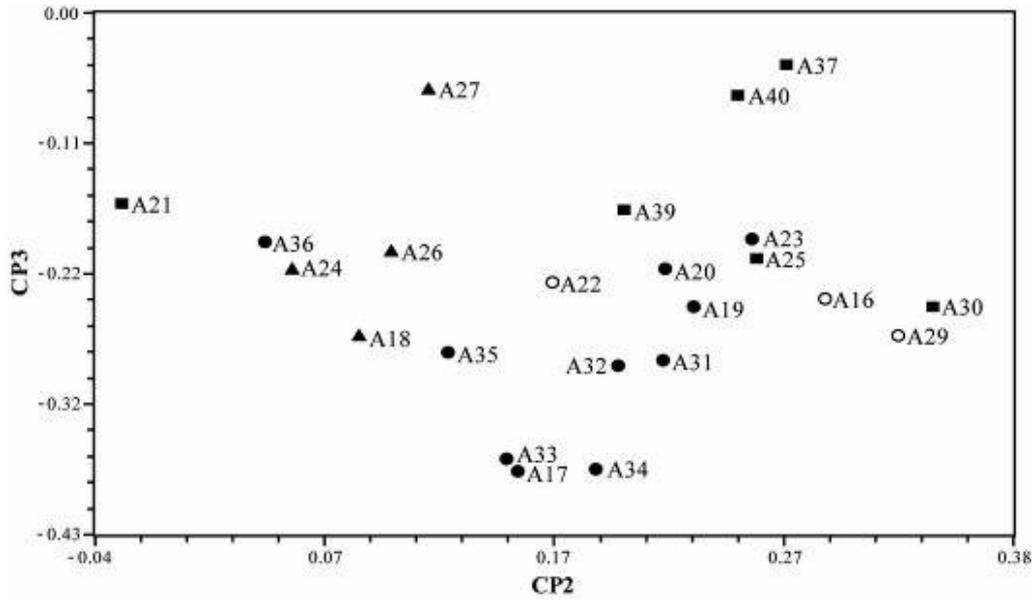


Figura 4.22. Distribución de 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) evaluadas a través de 39 caracteres morfológicos, según la CP2 y CP3. Grupos agronómicos: ● anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado y ▲ rojo. Ver información sobre las accesiones y sus respectivos grupos agronómicos en la Tabla 3.1.

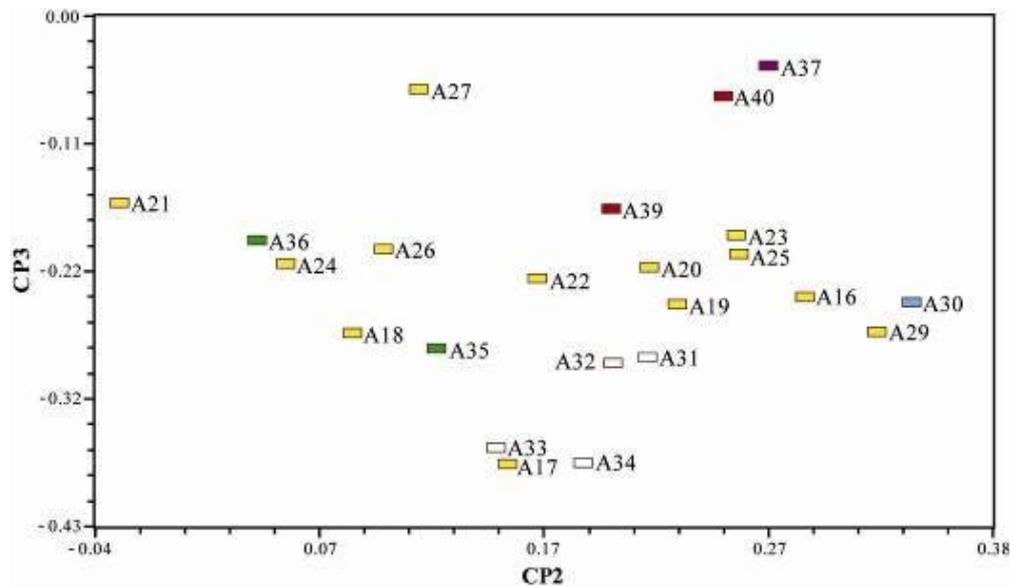


Figura 4.23. Distribución de 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) de acuerdo al origen geográfico, según la CP2 y CP3. ■ Ecuador, ■ Colombia, □ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal y ■ Nueva Zelanda. Ver información sobre las accesiones y su lugar de procedencia en la Tabla 3.1

- ACP de accesiones del conjunto B (CP1–CP2–CP3)

En el momento de analizar la ordenación de las 23 accesiones del grupo B con respecto a las tres primeras componentes, la representación gráfica tridimensional obtenida (Figura 4.24) muestra que, aunque con ciertas variaciones, la agrupación de accesiones fue muy similar a la del análisis de todas las accesiones (Figura 4.14).

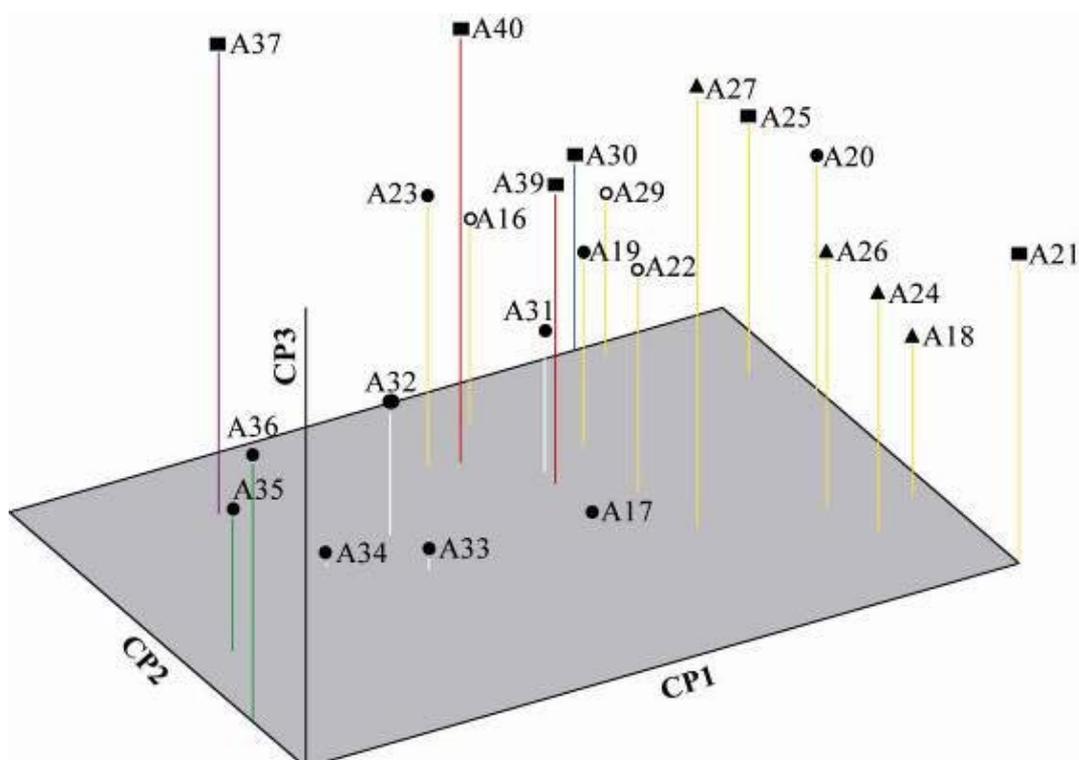


Figura 4.24. Distribución de 23 accesiones de tomate de árbol (conjunto B), según las tres primeras componentes principales. Esta representación tridimensional expresa el 57,85% de la variación total. Grupos agronómicos: ● anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado y ▲ rojo. Origen geográfico: ■ Ecuador, ■ Colombia, □ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal y ■ Nueva Zelanda. Ver información sobre las accesiones, grupos agronómicos y lugar de procedencia en la Tabla 3.1

En general, el material vegetal se ha distribuido de forma que se pueden distinguir las cuatro agrupaciones del conjunto B (B1, B2, B3 y B4) que se establecieron al estudiar todo el germoplasma considerado en este estudio (24 accesiones). Esta semejanza se

## Resultados

debe principalmente a la CP1; los cuatro conjuntos muestran valores crecientes (desde B1 hasta B4) de esta primera componente, en la cual los caracteres relacionados principalmente con el tamaño y peso del fruto han mostrado una mayor contribución. A este respecto, la mayor diferenciación entre conjuntos ha sido entre B1 y B4. El conjunto B1 mostró los menores valores en tamaño y peso de frutos del conjunto B, mientras que el conjunto B4 estuvo conformado principalmente por accesiones con frutos de mayor tamaño y peso de todo el material vegetal estudiado. Por otra parte, los conjuntos B2 y B3 asumieron valores intermedios de CP1, con frutos de valores intermedios en caracteres relacionados con el tamaño y peso. Las componentes dos y tres, que estas componentes acumularon porcentajes muy inferiores (14,17% y 11,97%) al de la primera componente (31,70%), no tuvieron un aporte importante en este análisis.

En lo que respecta a la ordenación según grupos agronómicos y origen geográfico del germoplasma del conjunto B, el análisis tridimensional (Figura 4.24) tampoco diferenció de forma clara la distribución o agrupamiento del material vegetal estudiado. En este sentido el conjunto B1 ha sido el único con todas sus accesiones pertenecientes a un mismo grupo agronómico (anaranjado-elíptico-puntón) y provenientes también de un mismo país (Bolivia). En el conjunto B4 todas las accesiones provienen de un país (Ecuador), pero pertenecen a los grupos rojo, morado y anaranjado-elíptico-puntón. El resto de conjuntos (B2 y B3) estuvieron conformados por accesiones pertenecientes a más de un grupo agronómico y provenientes de más de un país.

### 4.1.5. Heredabilidad de los caracteres

Con el fin de conocer en qué grado la variación fenotípica está determinada por la variación genotípica, se determinó la heredabilidad en el sentido amplio ( $H^2$ ) que presentan los distintos caracteres considerados en la caracterización de tomate de árbol, sobre la base de las varianzas ambiental, genética y fenotípica (Tabla 4.38).

Este valor permitiría determinar cuáles son los caracteres cuya variabilidad está menos influida por los factores ambientales y que por lo tanto resultarán más adecuados para la caracterización de la especie.

**Tabla 4.38. Varianzas ambiental, genética y fenotípica, e Índice de heredabilidad de los caracteres morfológicos evaluados en 24 accesiones de tomate de árbol**

Caracteres	Varianza ambiental ( $V_e^2$ )	Varianza genética ( $V_g^2$ )	Varianza fenotípica ( $V_p^2$ )	Heredabilidad ( $H^2$ )	Interpretación*
<b>Arquitectura de la planta</b>					
Altura del tallo principal (cm)	215,87	115,47	331,34	0,35	media
Diámetro del tallo (cm)	0,35	0,15	0,51	0,30	baja
Longitud del segundo entrenudo (cm)	0,83	0,14	0,96	0,14	baja
Diámetro de la copa (cm)	$1,18 \times 10^3$	371,45	$1,56 \times 10^3$	0,24	baja
<b>Hojas del tallo</b>					
Longitud del limbo (cm)	16,64	4,58	21,22	0,22	baja
Longitud de la escotadura basal (cm)	1,30	0,49	1,79	0,27	baja
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	11,26	2,92	14,18	0,21	baja
Ancho máximo del limbo (cm)	12,27	2,22	14,49	0,15	baja
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	4,66	0,21	4,87	0,04	baja
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	19,60	15,34	34,95	0,44	media
<b>Hojas de la copa</b>					
Longitud del limbo (cm)	7,05	4,50	11,55	0,39	media
Longitud de la escotadura basal (cm)	0,77	0,58	1,35	0,43	media
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	5,54	4,91	10,45	0,47	media
Ancho máximo del limbo (cm)	5,80	5,11	10,91	0,47	media
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	2,00	0,78	2,78	0,28	baja
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	164,36	111,02	275,37	0,40	media
Longitud del peciolo (cm)	1,79	0,70	2,49	0,28	baja
<b>Inflorescencia - flor</b>					
Longitud de la Inflorescencia (cm)	0,62	0,58	1,20	0,49	media
Longitud del pedúnculo (cm)	0,43	0,24	0,67	0,36	media
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	0,06	0,03	0,09	0,36	media
Longitud del pétalo (cm)	0,02	0,00	0,02	0,03	baja
Ancho del pétalo (cm)	0,00	0,00	0,00	0,17	baja
Diámetro de la corola (cm)	0,07	0,00	0,07	0,03	baja
Longitud de la antera (cm)	0,00	0,00	0,00	0,24	baja
Longitud del estilo (cm)	0,00	0,00	0,00	0,33	media
<b>Infrutescencia - fruto</b>					
Frutos por planta (número)	63,48	752,73	816,21	0,92	alta
Infrutescencias por planta (número)	11,06	9,27	20,33	0,46	media
Frutos por Infrutescencia (número)	0,23	7,77	7,99	0,97	alta
Longitud del fruto (cm)	0,03	0,75	0,78	0,96	alta
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	0,02	0,12	0,14	0,86	alta
Longitud del pedicelo (cm)	0,12	0,14	0,26	0,55	media
Diámetro del fruto (cm)	0,02	0,39	0,40	0,96	alta
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	7,21	22,71	29,92	0,76	alta
Peso del fruto (g)	40,15	1012,58	1052,73	0,96	alta
Relación longitud : diámetro del fruto	0,00	0,01	0,01	0,86	alta
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	0,01	0,00	0,01	0,24	baja
<b>Semilla</b>					
Longitud de la semilla (cm)	0,00	0,00	0,00	0,67	media
Ancho de la semilla (cm)	0,00	0,00	0,00	0,72	alta
Semillas por fruto ((número)	$1,08 \times 10^3$	$9,63 \times 10^3$	$1,07 \times 10^4$	0,90	alta

\*Escala de interpretación de la heredabilidad: baja = 0 – 0,3; media = 0,3 – 0,7 media; y alta = 0,7 – 1,0

## Resultados

Por lo que respecta a las cuatro variables estudiadas relacionadas con la arquitectura de la planta, tres mostraron una heredabilidad baja ( $H^2 = 0,0-0,3$ ), mientras que la de la restante (altura del tallo principal) fue media (0,35).

La mayor parte de caracteres relacionados a las hojas provenientes del tallo principal resultaron con heredabilidades bajas, siendo el ángulo del ápice del limbo el único carácter con un valor medio de heredabilidad (0,44), mientras que en las hojas de la copa, la mayoría asumieron heredabilidades medias ( $H^2 = 0,3-0,7$ ), pero la distancia entre la base y el ancho máximo del limbo, y la longitud del peciolo, presentaron valores bajos (0,28, en ambos caracteres).

Del grupo de caracteres evaluados en las inflorescencias y flores, todos los caracteres relacionados con la inflorescencia alcanzaron valores medios de heredabilidad ( $H^2 = 0,3-0,7$ ), mientras que los caracteres de la flor mostraron una heredabilidad baja, exceptuando la longitud del estilo que presentó una heredabilidad media (0,33).

En la mayoría de caracteres relacionados con las infrutescencias, frutos y semillas se observó que la varianza genética ha sido mayor que la ambiental, resultando que dichos caracteres presentan una alta heredabilidad ( $H^2 = 0,7-1,0$ ). De estas variables las que mayores valores presentaron, con cifras próximas a 1,00, fueron las siguientes: frutos por infrutescencia ( $H^2 = 0,97$ ); longitud, diámetro y peso del fruto ( $H^2 = 0,96$  en los tres casos); frutos por planta ( $H^2 = 0,92$ ) y semillas por fruto ( $H^2 = 0,90$ ). La relación longitud: distancia entre la base y el ancho máximo del fruto ha sido el único carácter de este grupo que mostró una baja heredabilidad ( $H^2 = 0,24$ ), mientras que el número de infrutescencias por planta, la longitud del pedicelo y la longitud de la semilla asumieron valores medios ( $H^2 = 0,46$  y  $0,55$  y  $0,67$ , respectivamente).

## 4.2. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN MOLECULAR

### 4.2.1. Descripción de los marcadores (AFLPs) obtenidos

En el estudio de los polimorfismos de longitud de fragmentos amplificados de ADN (AFLPs) de 26 accesiones de tomate de árbol (25 cultivadas pertenecientes a *Solanum betaceum* Cav., y una silvestre perteneciente a *Solanum cajanumense* Kunth), las 11 combinaciones de cebadores utilizadas generaron un total de 197

marcadores, de los cuales 84 (el 42,63%) fueron definidos como polimórficos. Estos fragmentos se ubicaron en un intervalo de longitud comprendido entre 56 y 303 pares de bases. El número de marcadores polimórficos amplificados por cada combinación de cebadores varió entre dos y 19, con un promedio de 7,64 marcadores polimórficos por combinación (Tabla 4.39). Las combinaciones mediante las cuales se obtuvo un mayor número de marcadores polimórficos fueron ACA/CAC (19 marcadores) y ACT/CCA (14 marcadores). En cambio, las asociaciones ACG/CAA (dos marcadores) y AAC/CAC (cuatro marcadores) fueron las que resultaron en un menor número de marcadores entre todas las combinaciones utilizadas, seguidas por ACT/CAA y AGC/CAC, con 5 marcadores cada una, y AGC/CAA con seis marcadores (Tabla 4.39).

**Tabla 4.39. Número y porcentaje de marcadores polimórficos AFLPs obtenidos en 26 accesiones de tomate de árbol (25 cultivadas y una silvestre) utilizando 11 combinaciones de cebadores y dos enzimas de restricción**

Número de combinación	Combinación de cebadores		Número total de marcadores	Número de marcadores polimórficos	% de marcadores polimórficos	Rango (pb)
	<i>EcoRi</i>	<i>MseI</i>				
1	ACT	CAA	14	5	35.71	92-207
2	ACT	CCA	20	14	70.00	66-303
3	AGC	CAA	18	6	33.33	56-224
4	ACG	CAA	11	2	18.18	71-129
5	ACC	CAC	23	10	43.48	70-206
8	ACA	CAC	26	19	73.08	71-260
6	AGG	CAC	17	5	29.41	100-145
7	AAC	CAC	12	4	33.33	70-117
9	AAG	CTC	15	3	20.00	70-150
10	AGC	CTC	28	11	39.29	92-205
11	ACG	CCG	13	5	38.46	80-209
Total			197	84		
Media			17.91	7.64		

Cuando se analizaron todas las accesiones cultivadas sin incluir la accesión silvestre perteneciente a *S. cajanumense* (A-15), el número total de marcadores amplificados mediante 11 combinaciones de cebadores resultó asimismo 197, pero en cambio el número de marcadores polimórficos fue menor, obteniéndose 78 (el 39,59%) fragmentos, seis fragmentos menos que en el caso anterior (Tabla 4.40). Esto indica que al no incluir a A-15 se ha producido una mínima diferencia en la amplificación del

## Resultados

número de fragmentos polimórficos, resultando además que las mismas combinaciones de cebadores que amplificaron un mayor o menor número de marcadores, lo hicieron de igual forma, tanto si se incluía la accesión A-15 como si no. Para este caso el número de fragmentos polimórficos varió entre dos y 16, con una media de 7,09 (Tabla 4.40).

**Tabla 4.40. Número y porcentaje de marcadores polimórficos AFLPs obtenidos en las 25 accesiones cultivadas de tomate de árbol utilizando 11 combinaciones de cebadores y dos enzimas de restricción**

Número de combinación	Combinación de cebadores		Número total de marcadores	Número de marcadores polimórficos	% de marcadores polimórficos	Rango (pb)
	<i>EcoRi</i>	<i>MseI</i>				
1	ACT	CAA	14	5	35.71	92-207
2	ACT	CCA	20	14	70.00	66-303
3	AGC	CAA	18	6	33.33	56-224
4	ACG	CAA	11	2	18.18	71-129
5	ACC	CAC	23	9	39.13	70-206
8	ACA	CAC	26	16	61.54	71-260
6	AGG	CAC	17	5	29.41	100-145
7	AAC	CAC	12	4	33.33	70-117
9	AAG	CTC	15	3	20.00	70-150
10	AGC	CTC	28	10	35.71	92-205
11	ACG	CCG	13	4	30.77	130-209
Total			197	78		
Media			17.91	7.09		

En el momento de determinar la presencia de marcadores específicos y universales en la amplificación de los fragmentos AFLPs de todas las accesiones, se registró la presencia de un marcador específico y universal en la accesión silvestre A-15, a través de la combinación AGC/CTC, con una longitud de 189 pb; esta accesión se destacó además por ser la única que no presentó fragmentos en las siguientes cinco longitudes y combinaciones: a) 124 pb (ACC/CAC) b) 80 pb (ACA/CAC), c) 122 pb (ACA/CAC), d) 126 pb (ACA/CAC), y e) 80 pb (ACG/CCG). La accesión A-38 se distinguió por ser la única de todo el germoplasma que no mostró un fragmento (combinación ACT-CCA y longitud 80 pb).

Cuando no se incluyó la accesión A-15, se encontró que a más de la accesión A-38 (ACT-CCA y longitud 80 pb), otras tres accesiones se caracterizaron por ser las únicas de todo el material cultivado que no presentaron ciertos fragmentos presentes en todas las demás accesiones: 71 pb (AAC-CAC) de la accesión A-24; 95 pb (ACA-CAC), 97 pb (ACA-CAC) y 175 pb (ACT-CAA) de la accesión A-26; y 108 pb (ACA-CAC) de A-40.

Se han encontrado cuatro fragmentos específicos de grupo agronómico. Así, los marcadores 61 pb (AGC-CAA), 102 pb (AAC-CAC), 149 pb (AGC-CTC) y 162 pb (ACA/CAC) se encuentran cada uno de ellos en una accesión de cada uno de los cuatro grupos agronómicos (anaranjado-elíptico-puntón, anaranjado-elíptico, morado y rojo, respectivamente) y faltan en todas las demás accesiones; esto significa que cada grupo agronómico incluye al menos una accesión que contiene un fragmento específico de su grupo. Es de destacar que no se ha encontrado ningún marcador específico y universal para ninguno de los grupos.

Con los 84 ó 78 fragmentos polimórficos (obtenidos al incluir o no, respectivamente, la accesión silvestre A-15) ha sido posible establecer una huella genética específica y única para cada accesión. La accesión silvestre A-15 ha sido la que mayor número de diferencias mantuvo con todas las accesiones cultivadas (Tabla 4.41), en especial A-25 y A-33, con las que mostró el mayor número de diferencias (51 diferencias en cada caso), mientras que el par de accesiones A-39/A-40 fue el que arrojó el menor número de diferencias (siete) de todos los pares posibles de accesiones. La Tabla 4.41 indica además que, si se descarta A-15 (*S. cajanumense*), la accesión A-26 (del grupo agronómico rojo) ha sido la que más se diferenció del resto de accesiones cultivadas, mostrando el mayor número de diferencias (41) con respecto a A-38.

#### 4.2.2. Diversidad genética

La diversidad genética de Nei (1973) hallada en el conjunto de las 26 accesiones de tomate de árbol estudiadas (25 cultivadas y una silvestre) fue  $H_T = 0,3149$ .

Al evaluar la diversidad genética de los cuatro grupos agronómicos (25 accesiones cultivadas), la diversidad total ( $H_T$ ) presentó un valor de 0,2904. Los grupos presentaron valores de diversidad muy parecidos entre sí, pese a que se encuentran conformados por un número desigual de accesiones (Tabla 4.42).



**Tabla 4.42. Diversidad genética ( $H$ ,  $H_T$ ,  $H_S$ ) y diferenciación genética ( $G_{ST}$ ) de los cuatro grupos agronómicos de las accesiones cultivadas**

Grupos agronómicos	Número de accesiones	H	$H_S$	$G_{ST}$
<i>todos</i>	25	0,2904*	0,2251	0,2248
anaranjado-elíptico-puntón	11	0,2498		
anaranjado-elíptico	3	0,1846		
morado	6	0,2413		
rojo	5	0,2246		

\* diversidad genética total  $H_T$

Los grupos anaranjado-elíptico-puntón y morado presentaron los mayores índices de diversidad ( $H = 0,2498$  y  $0,2413$ , respectivamente), seguidos por el grupo rojo (con diversidad  $H = 0,2246$ ), mientras que el grupo anaranjado-elíptico asumió la menor diversidad de todos los grupos, con un índice  $H = 0,1846$ . El promedio de diversidad genética entre los grupos fue  $H_S = 0,2251$ . La Tabla 4.42 indica además que la diferenciación genética ( $G_{ST} = 0,2248$ ) entre los cuatro grupos agronómicos es relativamente baja. Las distancias genéticas ( $D_G$ ) entre grupos agronómicos resultaron relativamente bajas ( $D_G = 0,0840$  el menor valor y  $0,1667$  el mayor valor), siendo el grupo anaranjado-elíptico el que más se distanció de las otras tres agrupaciones (Tabla 4.43).

**Tabla 4.43. Distancias genéticas ( $D_G$ ) entre grupos agronómicos de las accesiones cultivadas**

Grupos agronómicos	a- e-p	a-e	m	r
anaranjado-elíptico-puntón (a-e-p)	0,0000			
anaranjado-elíptico (a-e)	0,1106	0,0000		
morado (m)	0,0986	0,1667	0,0000	
rojo (r)	0,0840	0,1665	0,0869	0,0000

## Resultados

Se calculó la diversidad de las accesiones con frutos de color anaranjado, por una parte, y la de las que presentan el fruto morado o rojo (reunidas) por otra. Los resultados muestran que, con una diversidad total  $H_T = 0,2990$ , la diversidad en estos dos grupos fue similar, con una mínima diferencia entre ellos (0,0091 unidades) (Tabla 4.44). A pesar de que estas dos agrupaciones se distinguen claramente por la coloración de sus frutos, mostraron un valor muy bajo de diferenciación genética ( $G_{ST} = 0,0876$ ), como fue también baja la distancia genética que separa a las accesiones con frutos anaranjados de las que tienen los frutos morados o rojos ( $D_G = 0,0751$ ).

**Tabla 4.44. Comparación de la diversidad genética ( $H$ ,  $H_T$ ,  $H_S$ ) y diferenciación genética ( $G_{ST}$ ) entre los grupos a) fruto anaranjado y b) fruto morado o rojo de las accesiones cultivadas**

Grupos de accesiones	Número de accesiones	H	$H_S$	$G_{ST}$
<i>fruto anaranjado + fruto morado o rojo</i>	25	0,2990*	0,2738	0,0876
fruto anaranjado	14	0,2692		
fruto morado o rojo	11	0,2783		

\* diversidad genética total ( $H_T$ )

Al estudiar la diversidad genética según el origen geográfico de las accesiones se establecieron dos agrupaciones: a) provenientes de Ecuador y b) provenientes de otros países (Tabla 4.45), y la diversidad genética total resultante ha sido  $H_T = 0,2976$ . Los resultados indican que el grupo de accesiones recolectadas en Ecuador fue más diverso ( $H = 0,2884$ ) que el grupo de accesiones de otros países ( $H = 0,2645$ ), aunque con una mínima diferencia entre ambos de 0,0239 unidades. Tanto la diferenciación genética ( $G_{ST} = 0,0712$ ) como la distancia genética ( $D_G = 0,0602$ ) entre el grupo de Ecuador y las accesiones de otros países fueron bajas, lo que indica que aunque el material evaluado haya sido recolectado en diferentes países, el origen diferente no incide de manera significativa en su diferenciación y distanciamiento genético.

**Tabla 4.45. Comparación de la diversidad genética ( $H$ ,  $H_T$ ,  $H_S$ ) y diferenciación genética ( $G_{ST}$ ) entre accesiones cultivadas recolectadas en Ecuador y en otros países**

Grupos de accesiones	Número de accesiones	H	$H_S$	$G_{ST}$
<b>de Ecuador + de otros países</b>	<b>25</b>	<b>0,2976*</b>	<b>0,2764</b>	<b>0,0712</b>
de Ecuador	13	0,2884		
de otros países	12	0,2645		

\* diversidad genética total ( $D_G$ )

### 4.2.3. Análisis de agrupamientos

El análisis de agrupamientos de 26 accesiones de tomate de árbol (25 cultivadas y una silvestre perteneciente a *S. cajanumense*), llevado a cabo a partir de los datos de presencia-ausencia de los marcadores AFLPs (Anexo 2) y utilizando el método UPGMA, dio como resultado un dendrograma con muy baja distorsión (coeficiente de correlación cofenética  $r = 0,95$ ). En dicho árbol (Figura 4.25) se observan dos ramas principales: A) conformada únicamente por la accesión silvestre A-15 (*S. cajanumense*) que, como era de esperar, se separó de todas las accesiones cultivadas, y B) constituida por todas las accesiones cultivadas, que se unen a un coeficiente de semejanza muy bajo (0,20).

La rama principal B conformada por las 25 accesiones cultivadas se subdivide repetidas veces a partir de un coeficiente considerablemente elevado (aproximadamente a 0,59 unidades), dando origen a una estructura muy escalonada en la que es difícil distinguir grupos de forma clara. En este sentido, la principal diferenciación se observa entre A-26 (que pertenece al grupo agronómico rojo, proviene de Ecuador y constituye la rama B2), y las 24 accesiones restantes (conformando la rama B1); esta última se subdivide en otras dos ramas, aquí llamadas B1.1 y B1.2. La rama B1.1 reunió un considerable número de accesiones (22) pertenecientes a los cuatro grupos agronómicos y provenientes de diferentes países, mientras que la rama B1.2 estuvo conformada por únicamente dos accesiones (A-39 y A-40) pertenecientes a un mismo grupo agronómico (morado) y provenientes de un mismo país (Nueva Zelanda) y muy cercanas entre sí. Es de destacar que, dentro de la rama B1.1, la agrupación formada por A-17, A-25 y A-33 presentó las menores distancias entre sus accesiones.

Resultados

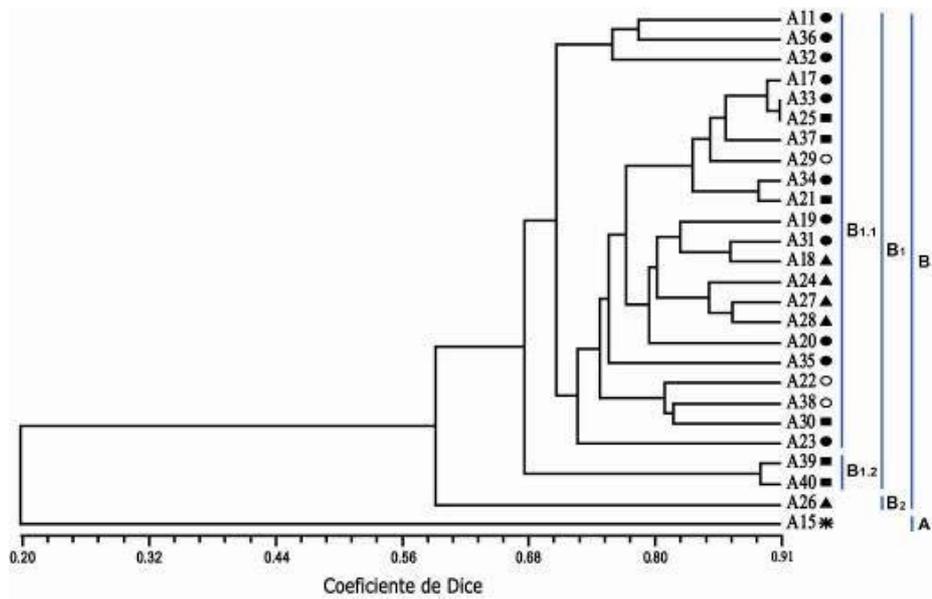


Figura 4.25. Dendrograma de 26 accesiones de tomate de árbol, obtenido a través del estudio de AFLPs. Las líneas de color azul delimitan las ramas establecidas. Grupos agronómicos: ● Anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado y ▲ rojo. Ver información sobre las accesiones y sus respectivos grupos agronómicos en la Tabla 3.1

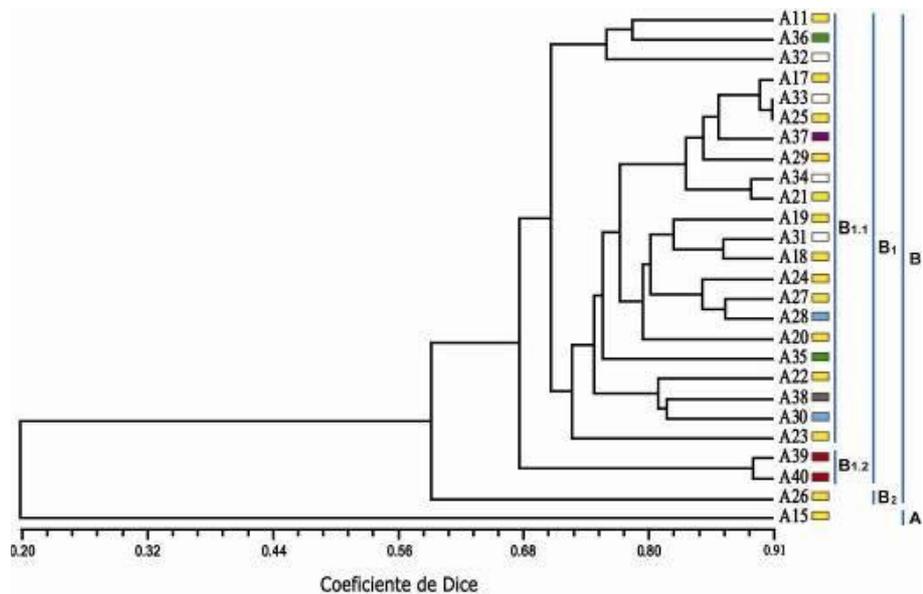


Figura 4.26. Dendrograma de 26 accesiones de tomate de árbol con referencia a su origen geográfico, obtenido a través del estudio de AFLPs. Las líneas de color azul delimitan las ramas establecidas. Ecuador, Colombia, Perú, Bolivia, Portugal, Nueva Zelanda y España. Ver información sobre las accesiones y su lugar de procedencia en la Tabla 3.1

No se observa un patrón de agrupación relacionado con los países de donde proviene el germoplasma (Figura 4.26); como se ha mencionado anteriormente, solo las accesiones A-39 y A-40, recolectadas en Nueva Zelanda, aparecen claramente asociadas en el dendrograma. Las accesiones provenientes de Ecuador (a excepción de la accesión silvestre A-15, que conforma la rama A) se distribuyeron por todas las agrupaciones de la rama principal B.

#### - Análisis de agrupamientos (conjunto B)

Con el objeto de descartar la influencia de la accesión A-15 (perteneciente a *S. cajanumense*), se construyó un dendrograma sin ella pero con las 25 accesiones de germoplasma cultivado (Figura 4.27), el cual mostró una baja distorsión (coeficiente de correlación cofenética  $r = 0,81$ ) y agrupaciones muy similares a las obtenidas con el dendrograma anterior (que incluía todas las accesiones, Figura 4.25), mostrando la formación de dos ramas principales a las que se ha llamado B1 y B2. En este sentido, el dendrograma de la Figura 4.27 equivale a la rama principal B de la Figura 4.25.

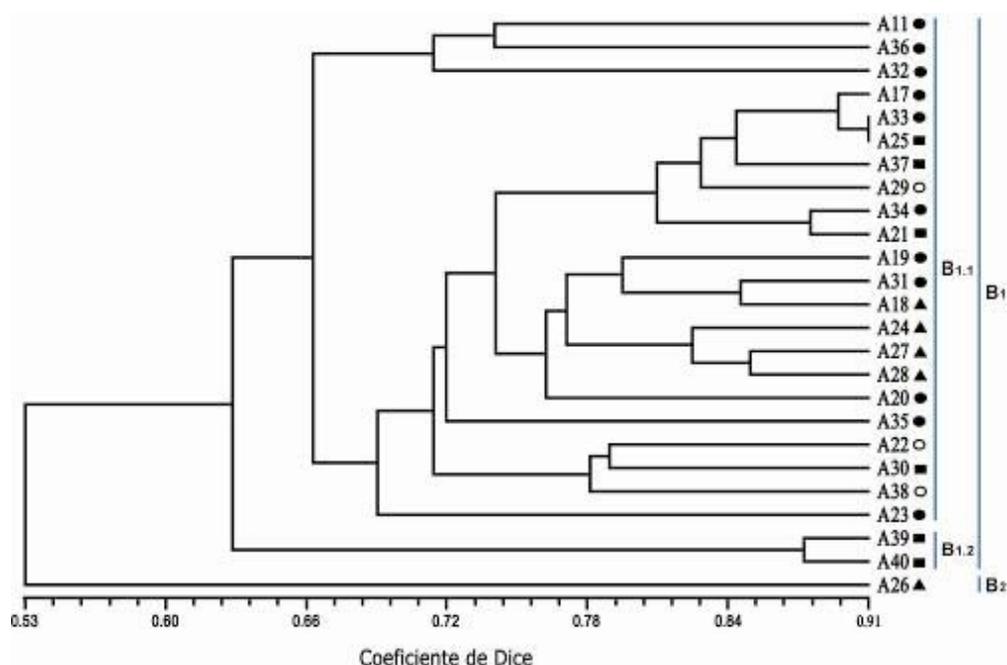


Figura 4.27. Dendrograma de 25 accesiones de tomate de árbol (conjunto B), obtenido a través del estudio de AFLPs. Las líneas de color azul delimitan las ramas establecidas. Grupos agronómicos: ● Anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado, y ▲ rojo. Ver información sobre las accesiones y sus respectivos grupos agronómicos en la Tabla 3.1

## Resultados

La Figura 4.27 confirma que la única accesión de la rama principal B2 (A-26, grupo agronómico rojo) se ha diferenciado claramente de las 24 accesiones cultivadas restantes que conforman la rama principal B1 y que corresponden a los cuatro grupos agronómicos estudiados en la caracterización molecular. Dentro de B1 se distinguen dos ramas, aquí llamadas B1.1 y B1.2. La rama B1.1 reunió a la mayor parte de las accesiones cultivadas (22), pero sin una forma clara de agrupación, con accesiones de más de un grupo agronómico y provenientes de diferentes países de origen; la rama B1.2 comprende dos accesiones (A-39 y A-40) pertenecientes al grupo agronómico morado y ambas provenientes de Nueva Zelanda. Al no existir dos accesiones con un mismo perfil genético (Anexo 2), todas las accesiones han podido ser individualizadas en ambos árboles (Figuras 4.25 - 4.28).

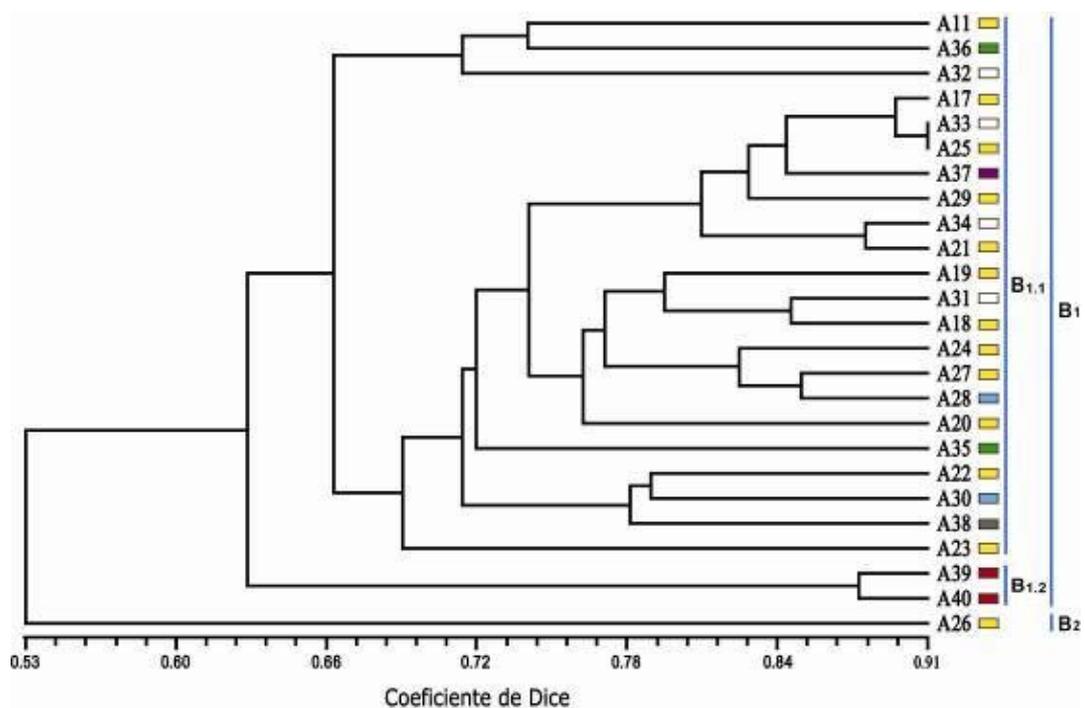


Figura 4.28. Dendrograma de 25 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) con referencia a su origen geográfico, obtenido a través del estudio de AFLPs. Las líneas de color azul delimitan las ramas establecidas. ■ Ecuador, ■ Colombia, ■ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal, ■ Nueva Zelanda y ■ España. Ver información sobre las accesiones y su lugar de procedencia en la Tabla 3.1

Tampoco se obtuvo un claro patrón de agrupación según la proveniencia geográfica de las accesiones cultivadas estudiadas (Figura 4.28); como se ha mencionado en reiteradas ocasiones, solo las accesiones A-39 y A-40, recolectadas en Nueva Zelanda, aparecen claramente asociadas en el dendrograma. Los materiales vegetales provenientes de Ecuador se distribuyeron por todas las agrupaciones de la rama principal B1 (además de constituir la rama B2).

#### 4.2.4. Análisis de coordenadas principales (ACoP)

Para llevar a cabo el análisis de coordenadas principales (ACoP) de los caracteres moleculares (AFLPs) se confeccionó una matriz de presencia-ausencia de marcadores AFLPs en todas las accesiones cultivadas (25) y una silvestre (perteneciente a *S. cajanimense*) (Anexo 2), a partir de la cual se obtuvo la matriz de similitud entre accesiones utilizando el coeficiente de similitud de Dice (Anexo 3). Las coordenadas principales resultantes y sus correspondientes valores propios (autovalores o *eigen*-valores) se recogen en la Tabla 4.46. La primera coordenada asumió el 21,52% de la variación total, la segunda coordenada representó el 13,13%, y a la tercera le correspondió el 6,76%; las tres primeras coordenadas acumularon una varianza del 42,35%.

Tabla 4.46. Valores propios y proporción de la varianza explicada correspondientes a las coordenadas con valores propios superiores a 1,00 en el análisis de coordenadas principales de los caracteres moleculares de las 26 accesiones de tomate de árbol (25 cultivadas y una silvestre)

Coordenadas principales (CoP)	Valores propios ( $\lambda_p$ )	Proporción de la varianza total explicada	
		Individual (%)	Acumulada (%)
1	10,28	21,52	21,52
2	06,27	13,13	34,65
3	03,67	07,69	42,35
4	03,23	06,76	49,11
5	02,54	05,31	54,43
6	02,29	04,80	59,23
7	02,08	04,37	63,60
8	01,74	03,65	67,25
9	01,57	03,29	70,55
10	01,41	02,96	73,51
11	01,31	02,75	76,27
12	01,12	02,34	78,62
13	01,04	02,19	80,81
14	01,01	02,12	82,94

- ACoP de accesiones (CoP1–CoP2)

Al representar gráficamente la distribución de las accesiones según las dos primeras coordenadas (Figura 4.29) se observan claramente, a lo largo de CoP1, dos conjuntos, llamados aquí A (conformado por la única accesión silvestre A-15) y B (conformado por todas las accesiones cultivadas), equivalentes a las ramas encontradas en el análisis de agrupamientos (Figura 4.25). La CoP1 distanció además a las accesiones A-26 (grupo agronómico rojo) y A-37 (grupo morado), conformando el subconjunto B2, de las 23 restantes, que forman el subconjunto B1. La accesión silvestre A-15 asumió un valor positivo muy bajo de CoP1, mientras que las accesiones cultivadas del subconjunto B1 asumieron valores positivos relativamente altos de esta coordenada.

La CoP2 no tuvo un aporte relevante, salvo una tendencia a separar a la accesión A-22 (grupo anaranjado-elíptico) del resto de accesiones que conforman el subconjunto B1. En general, las accesiones cultivadas se han distribuido uniformemente a lo largo de la segunda coordenada, asumiendo valores tanto positivos como negativos; mientras que la accesión silvestre A-15 se ubicó en un punto neutral de esta segunda coordenada.

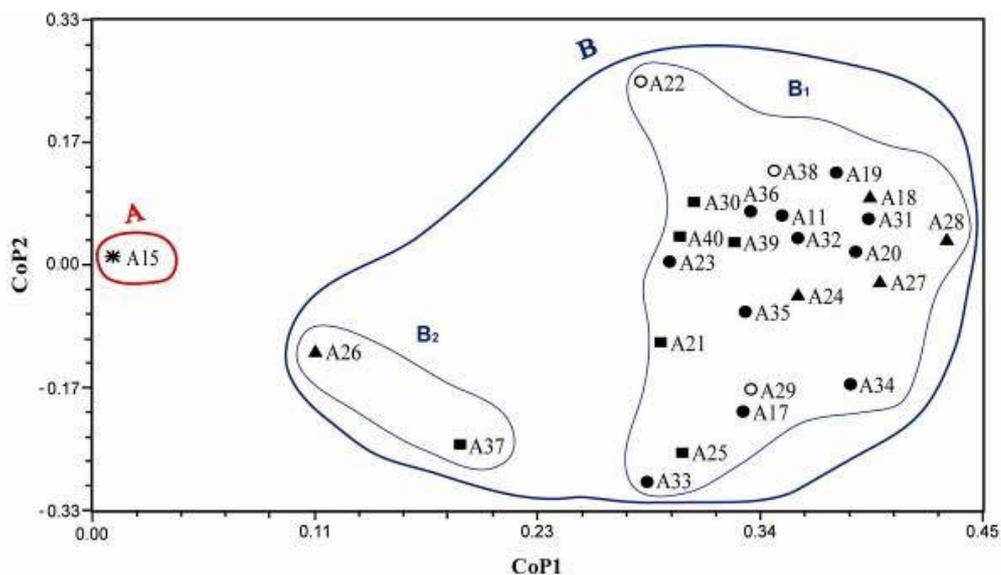


Figura 4.29. Distribución de 26 accesiones de tomate de árbol (una silvestre y 25 cultivadas) obtenida a través del estudio de AFLPs, según la CoP1y CoP2. La línea roja delimita al conjunto A y la línea azul delimita al conjunto B y respectivos subconjuntos. Grupos agronómicos: ● anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado y ▲ rojo; accesión silvestre: \* A-15. Ver información sobre las accesiones y sus respectivos grupos agronómicos en la Tabla 3.1

En lo que respecta a la distribución de los grupos agronómicos según las dos primeras coordenadas principales, no se identificó una forma clara de agrupación; el subconjunto B1 se encuentra conformado por los cuatro grupos agronómicos considerados en la caracterización molecular; mientras que el B2 reunió accesiones de dos grupos (morado y rojo) (Figura 4.29). Esto también sucede al analizar la distribución del germoplasma con referencia al lugar de procedencia; la única accesión (A-15, silvestre) del conjunto A es originaria de Ecuador, mientras que en los dos subconjuntos de B se ha reunido material procedente de más de un país (Figura 4.30).

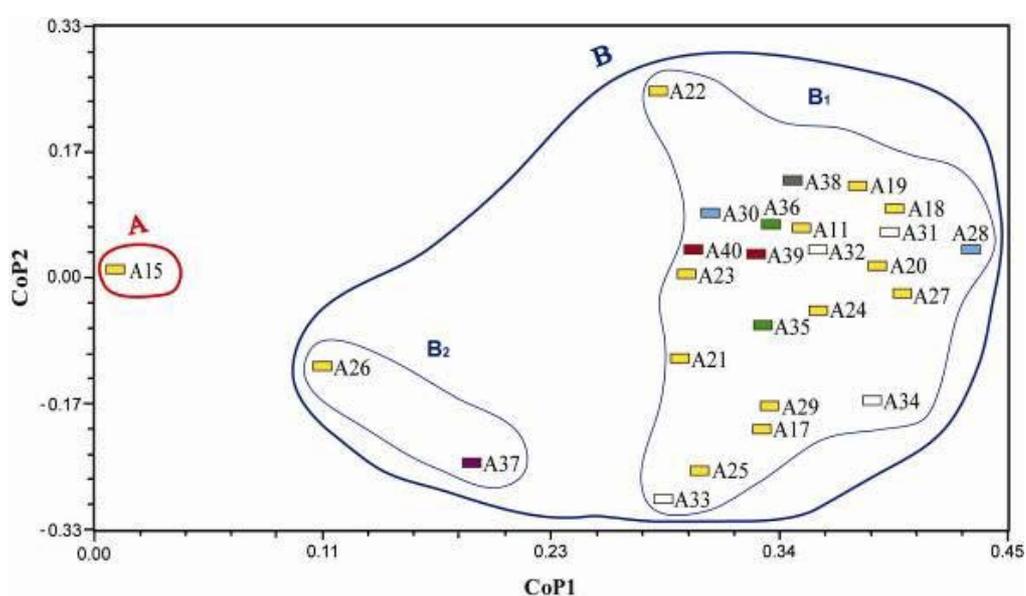


Figura 4.30. Distribución de 26 accesiones de tomate de árbol (una silvestre y 25 cultivadas) obtenida a través del estudio de AFLPs y de acuerdo al origen geográfico, según la CoP1 y CoP2. La línea roja delimita al conjunto A y la línea azul delimita al conjunto B y respectivos subconjuntos. ■ Ecuador, ■ Colombia, □ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal, ■ Nueva Zelanda y ■ España. Ver información sobre las accesiones y su lugar de procedencia en la Tabla 3.1

#### - ACoP de accesiones (CoP1–CoP3)

El análisis de CoP1-CoP3 (Figura 4.31), a más de confirmar la separación de *S. cajanumense* del resto de accesiones, y de las accesiones A-37 y A-26 del resto de las cultivadas por la primera coordenada (CoP1), permitió distinguir a estas dos últimas

## Resultados

entre sí a lo largo de la coordenada CoP3, lo cual además ubicó de forma clara a la accesión A-22 dentro del conjunto B1, a diferencia de lo encontrado en el análisis anterior (Figura 4.29). En el momento de representar gráficamente estas dos coordenadas, de manera general, se pueden distinguir las mismas agrupaciones encontradas en el análisis de las dos primeras coordenadas (Figura 4.29).

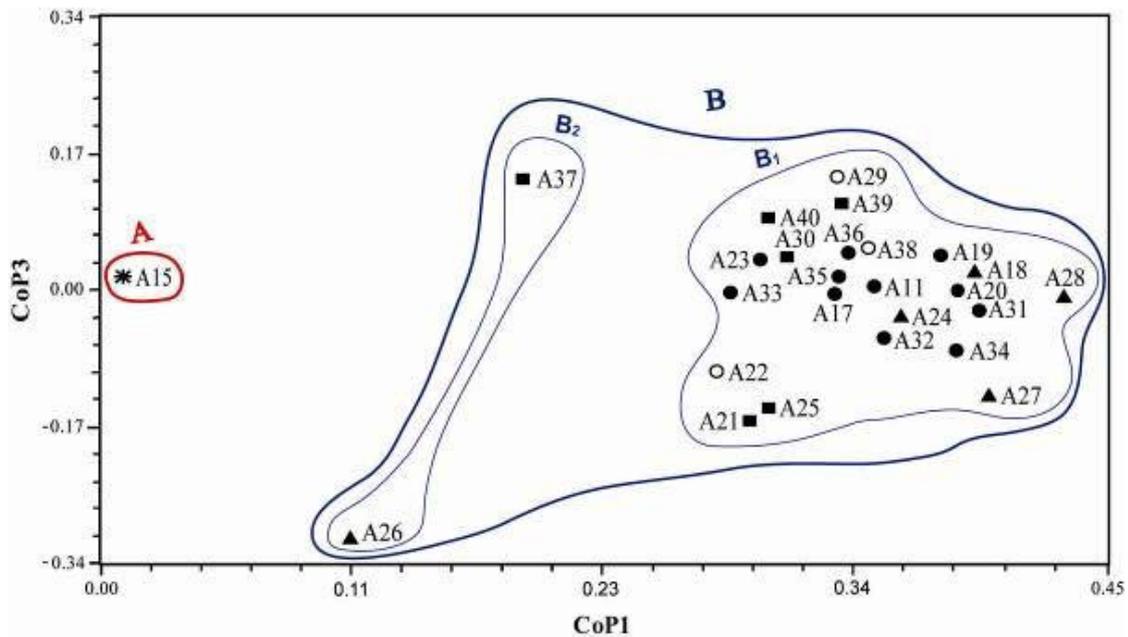


Figura 4.31. Distribución de 26 accesiones de tomate de árbol (una silvestre y 25 cultivadas) obtenida a través del estudio de AFLPs, según la CoP1y CoP3. La línea roja delimita al conjunto A y la línea azul delimita al conjunto B y respectivos subconjuntos. Grupos agronómicos: ● anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado y ▲ rojo; accesión silvestre: \* A-15. Ver información sobre las accesiones y sus respectivos grupos agronómicos en la Tabla 3.1

De igual forma que en análisis anteriores (Figuras 4.29 y 4.30), tampoco se ha observado una forma clara de ordenación de acuerdo a grupos agronómicos (accesiones cultivadas) y lugar de procedencia del material vegetal. El conjunto A (una accesión procedente de Ecuador) no se ha considerado en ningún grupo agronómico (Figura 4.31) debido a que es un material silvestre. Los dos subconjuntos que conforman el conjunto B reúnen accesiones que pertenecen a más de un grupo agronómico y que proceden de diferentes países (Figura 4.32).

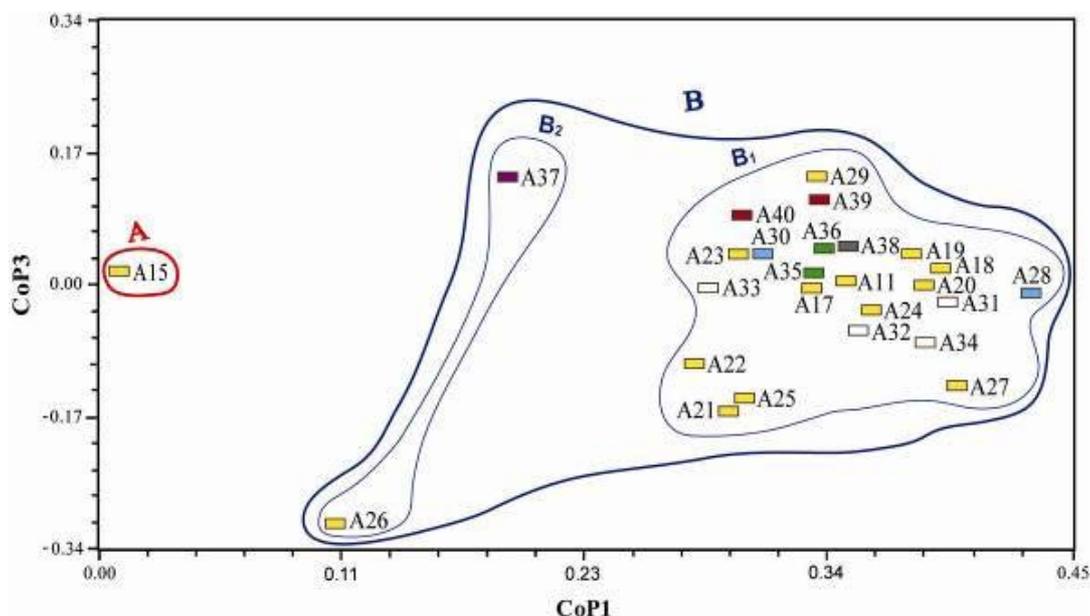


Figura 4.32. Distribución de 26 accesiones de tomate de árbol (una silvestre y 25 cultivadas) obtenida a través del estudio de AFLPs y de acuerdo al origen geográfico, según la CoP1 y CoP3. La línea roja delimita al conjunto A y la línea azul delimita al conjunto B y respectivos subconjuntos. ■ Ecuador, ■ Colombia, □ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal, ■ Nueva Zelanda y ■ España. Ver información sobre las accesiones y su lugar de procedencia en la Tabla 3.1

#### - ACoP de accesiones (CoP1–CoP2–CoP3)

La distribución tridimensional de las accesiones según las tres primeras coordenadas se muestra en la Figura 4.33. Como se ha mencionado en los análisis bidimensionales realizados con CoP1-CoP2 y con CoP1-CoP3 (Figuras 4.29 y 4.31, respectivamente), la accesión silvestre (A-15) se separó nítidamente de todas las accesiones restantes (cultivadas). Esta separación se debe a la CoP1, la cual además distanció a las accesiones A-26 (grupo agronómico rojo) y A-37 (grupo morado) del resto de accesiones cultivadas. En este sentido, la CoP1 ha permitido establecer dos conjuntos aquí llamados A (conformado únicamente por la accesión silvestre A-15) y B (conformado por todas las accesiones cultivadas). Esta primera coordenada permitió además diferenciar dos subconjuntos de B: el B1, que reunió a la mayor parte (24) de las accesiones cultivadas, y el B2, conformado por una sola accesión cultivada (A-26). La segunda coordenada principal no tuvo un aporte relevante, salvo una tendencia a separar a la accesión A-22 (conjunto B) del resto de accesiones cultivadas; mientras

## Resultados

que la tercera coordenada tampoco resultó con un aporte importante, permitiendo distinguir principalmente la separación de la accesión A-26 del resto (Figura 4.33).

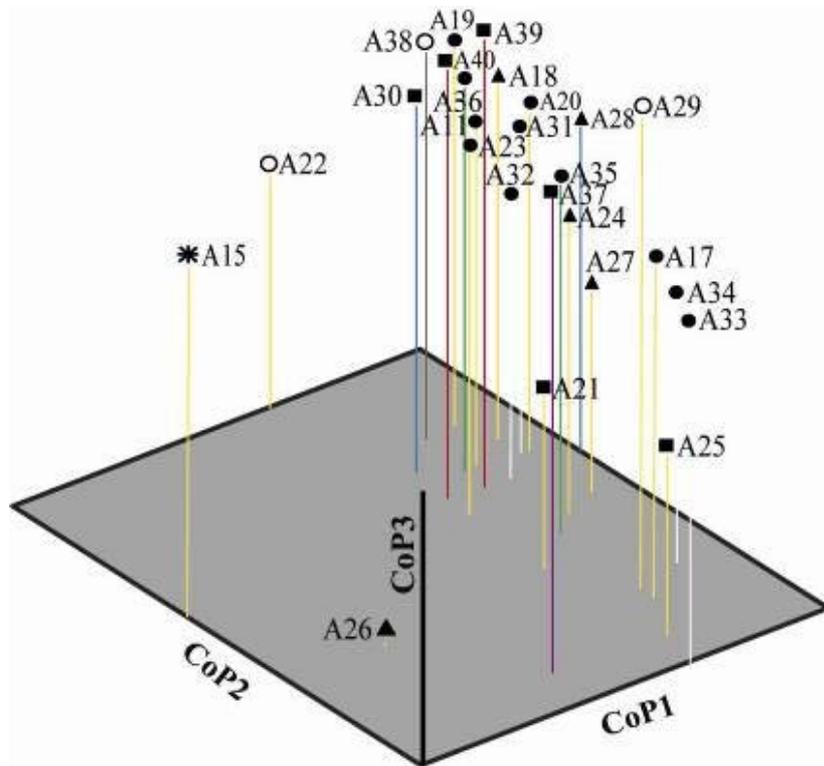


Figura 4.33. Distribución de 26 accesiones de tomate de árbol (una silvestre y 25 cultivadas) obtenida a través del estudio de AFLPs, según las tres primeras coordenadas principales. Esta representación tridimensional expresa el 42,35% de la variación total. Grupos agronómicos: ● anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado y ▲ rojo; accesión silvestre: \* A-15. Origen geográfico: ■ Ecuador, ■ Colombia, □ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal, ■ Nueva Zelanda y ■ España. Ver información sobre las accesiones, grupos agronómicos y lugar de procedencia en la Tabla 3.1

De forma general, la distribución del germoplasma cultivado y silvestre en el análisis tridimensional (Figura 4.33) concuerda claramente con la encontrada en los análisis bidimensionales (Figuras 4.29 y 4.31), con la salvedad de que la accesión A-37 se ha entremezclado con el resto de accesiones cultivadas, ubicándose esta vez dentro del conjunto B2. La forma de agrupación encontrada en el análisis 3D es también muy similar a lo encontrada en el estudio de agrupamientos (Figura 4.25).

Con respecto a los grupos agronómicos y al origen geográfico de las accesiones, ninguna de las tres coordenadas ordenó al germoplasma de acuerdo a un mismo grupo ó a un mismo país de origen (Figura 4.33).

#### - ACoP del conjunto B

Se desarrolló un segundo análisis de coordenadas principales con las 25 accesiones cultivadas (conjunto B), con el fin de conocer su ordenación sin la presencia de la accesión silvestre (*S. caj anumense*). A partir de la matriz de presencia-ausencia de marcadores AFLPs (Anexo 2) y la matriz de similitud entre accesiones (coeficiente de Dice, Anexo 4) se llegó a las coordenadas principales y sus correspondientes valores propios (autovalores o *eigen* valores) que se recogen en la Tabla 4.47. La primera coordenada acumuló el 20,45% de variación, la segunda coordenada representó el 14,03% y la tercera coordenada asumió el 8,12%; en conjunto, las tres primeras coordenadas concentraron el 42,62% de la variación total.

**Tabla 4.47. Valores propios y proporción de la varianza explicada correspondientes a las coordenadas con valores propios superiores a 1,00 en el análisis de coordenadas principales de los caracteres moleculares de las 25 accesiones cultivadas de tomate de árbol**

Coordenadas principales	Valores propios ( $\lambda_p$ )	Proporción de la varianza total explicada	
		Individual (%)	Acumulada (%)
1	09,24	20,45	20,45
2	06,34	14,03	34,49
3	03,67	08,12	42,62
4	03,25	07,19	49,81
5	02,48	05,49	55,31
6	02,28	05,05	60,36
7	02,08	04,60	64,97
8	01,77	03,93	68,90
9	01,51	03,34	72,24
10	01,41	03,12	75,37
11	01,14	02,54	77,91
12	01,05	02,33	80,25
13	01,01	02,24	82,50

- ACoP de accesiones del conjunto B (CoP1–CoP2)

Al representar gráficamente las dos primeras coordenadas principales (Figura 4.34) se distinguen las mismas agrupaciones que han sido establecidas en el análisis de coordenadas que comprendía todas las accesiones (Figura 4.29); esta forma de agrupación también ha sido similar a la encontrada en los análisis de agrupamientos realizados tanto con las 26 accesiones como con 25 (Figuras 4.25 y 4.27). A este respecto, a lo largo de CoP1 se separan dos conjuntos de accesiones cultivadas, llamados aquí B1 y B2, los cuales equivalen a los subconjuntos de B establecidos en el análisis de las 26 accesiones.

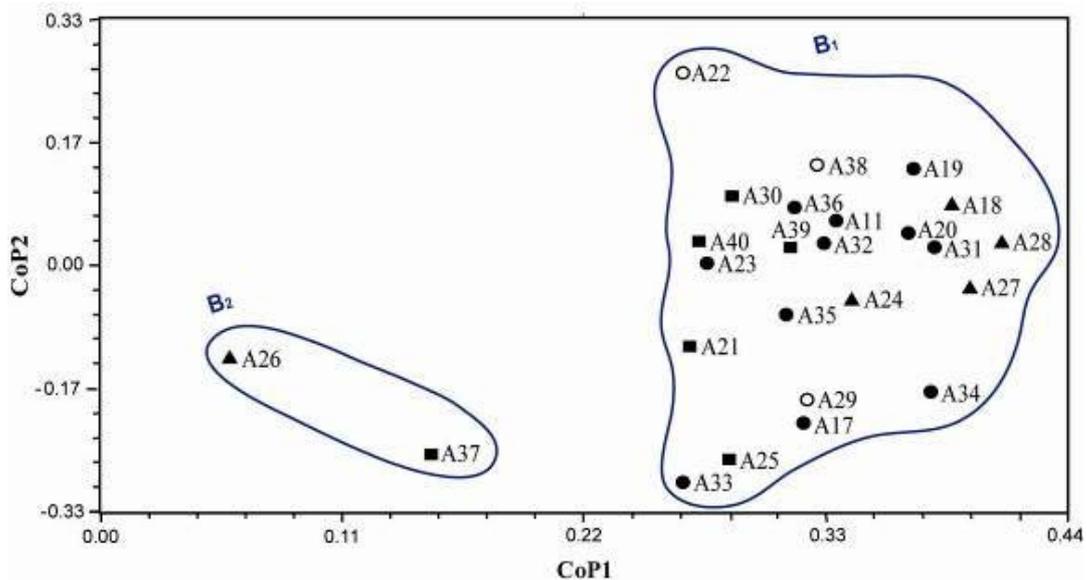


Figura 4.34. Distribución de 25 accesiones cultivadas de tomate de árbol (conjunto B) obtenida a través del estudio de AFLPs, según la CoP1y CoP2. La línea azul delimita los conjuntos de B. Grupos agronómicos: ● anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado y ▲ rojo. Ver información sobre las accesiones y sus respectivos grupos agronómicos en la Tabla 3.1

El conjunto B1 se encuentra conformado por una mayoría de accesiones (23) pertenecientes a más de un grupo agronómico y procedentes de diversos países de origen, mientras que el conjunto B2 reunió tan solo dos accesiones, A-26 y A-37 (Figuras 4.34 y 4.35). La coordenada CoP1 determinó además cierto distanciamiento

entre las dos accesiones del conjunto B2 (A-26 y A-37). La coordenada CoP2 no tuvo un aporte notable, salvo, otra vez, una tendencia de distanciar a la accesión A-22 (ubicada en el conjunto B1) del resto de accesiones de su conjunto.

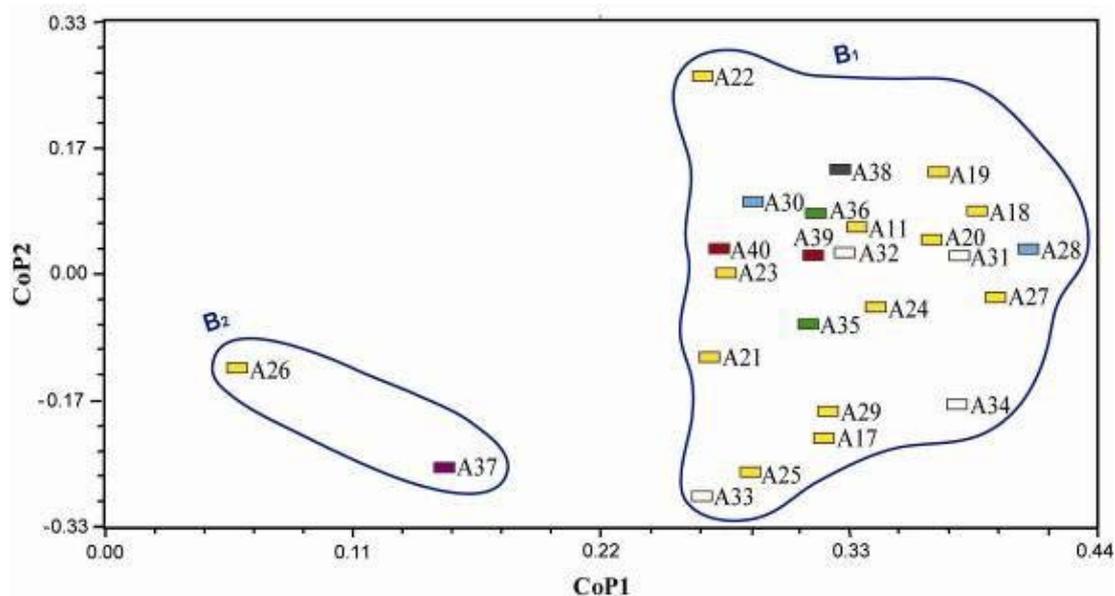


Figura 4.35. Distribución de 25 accesiones cultivadas de tomate de árbol (conjunto B) obtenida a través del estudio de AFLPs y de acuerdo al origen geográfico, según la CoP1 y CoP2. La línea azul delimita los conjuntos de B. ■ Ecuador, ■ Colombia, □ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal, ■ Nueva Zelanda y ■ España. Ver información sobre las accesiones y su lugar de procedencia en la Tabla 3.1

#### - ACoP de accesiones del conjunto B (CoP1–CoP3)

El análisis de las coordenadas principales CoP1 y CoP3 (Figura 4.36), no modificó significativamente la distribución de las accesiones cultivadas de tomate de árbol (conjunto B), distinguiéndose los mismos conjuntos (B1 y B2) establecidos en el análisis de las dos primeras coordenadas (Figura 4.34), aunque esta vez en forma menos clara. La CoP1 permitió distinguir los conjuntos B1 y B2, mientras que la CoP3 estableció un distanciamiento significativo entre las dos accesiones que conforman el conjunto B2 (A-26 y A-37) y acercó a la accesión A-22 (que en el gráfico de la Figura 4.34 se mantenía alejada de su conjunto) al resto de accesiones del conjunto B1.

Resultados

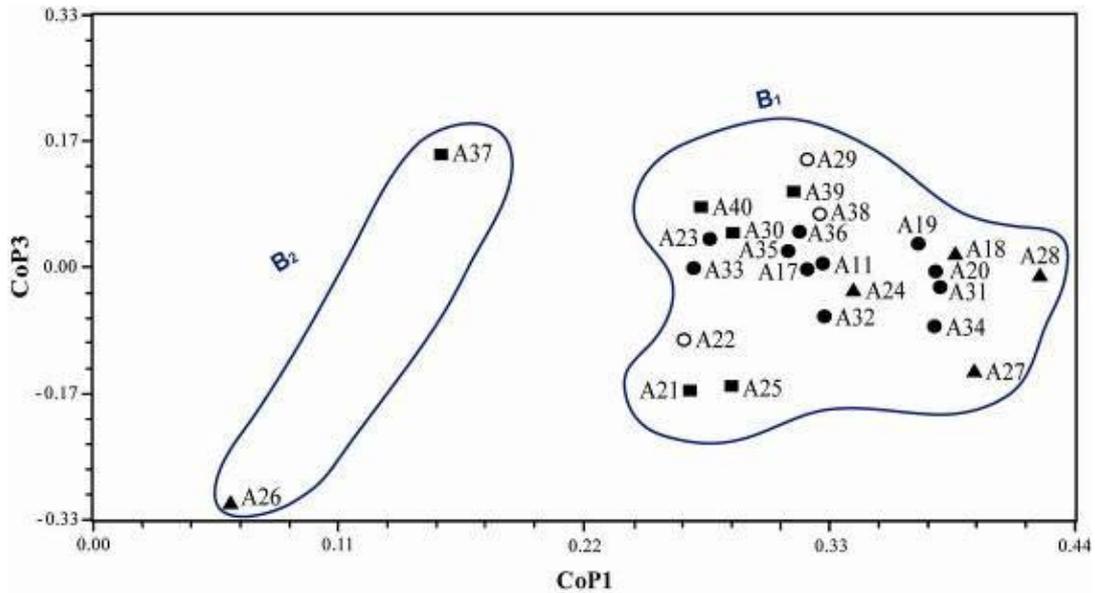


Figura 4.36. Distribución de 25 accesiones cultivadas de tomate de árbol (conjunto B) obtenida a través del estudio de AFLPs, según la CoP1y CoP3. La línea azul delimita los conjuntos de B. Grupos agronómicos: ● anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado y ▲ rojo. Ver información sobre las accesiones y sus respectivos grupos agronómicos en la Tabla 3.1

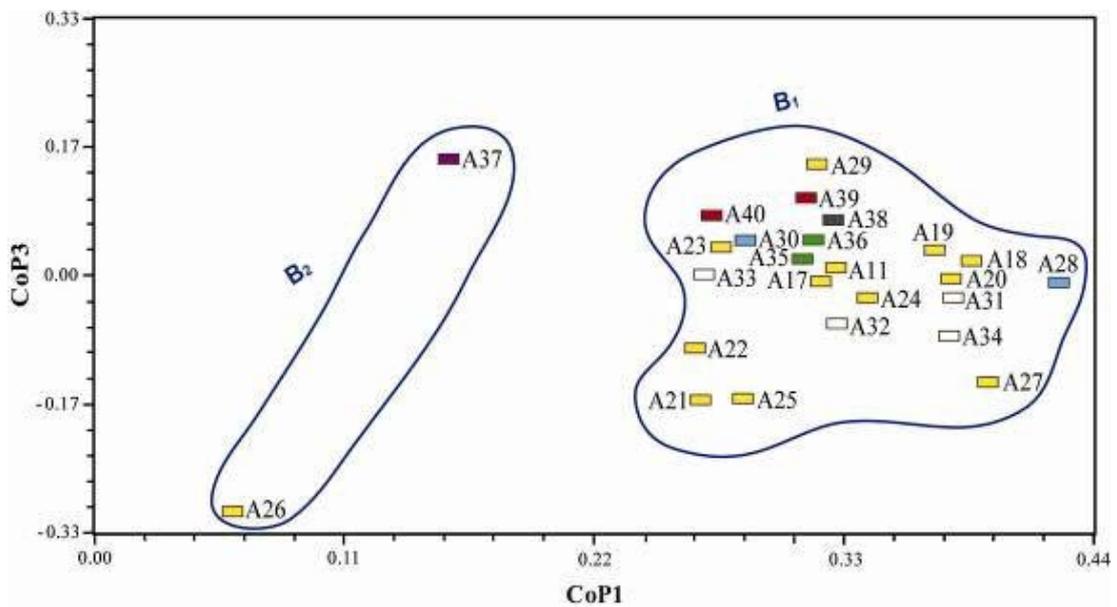


Figura 4.37. Distribución de 25 accesiones cultivadas de tomate de árbol (conjunto B) obtenida a través del estudio de AFLPs y de acuerdo al origen geográfico, según la CoP1 y CoP3; la línea azul delimita los conjuntos de B. ■ Ecuador, ■ Colombia, □ Perú, ■ Bolivia, ■ Portugal, ■ Nueva Zelanda y ■ España. Ver información sobre las accesiones y su lugar de procedencia en la Tabla 3.1

Tampoco se observa una forma clara de agrupación (Figuras 4.36 y 4.37) según grupos agronómicos y origen del material vegetal, resultando una estructura muy similar a la encontrada en el análisis de las dos primeras componentes (Figuras 4.34 y 4.35). Los conjuntos B1 y B2 han reunido accesiones de distintos grupos agronómicos y provenientes de diferentes países.

#### - ACoP de accesiones del conjunto B (CoP1–CoP2–CoP3)

La distribución de las accesiones cultivadas (conjunto B) según las tres primeras coordenadas (Figura 4.38) resultó muy similar a la obtenida cuando se incluyó además a *S. cajanumense* (Figura 4.33); estos resultados han sido también muy parecidos a los obtenidos en el análisis de agrupamientos con y sin esta accesión silvestre (Figuras 4.25 y 4.27, respectivamente).

En el momento de representar gráficamente la ordenación de las accesiones según las tres primeras coordenadas (Figura 4.38), se observa que se han distribuido por todo el gráfico, principalmente por el plano de las dos primeras coordenadas; la coordenada CoP1 diferenció claramente dos conjuntos de accesiones, llamados aquí B1 y B2. El conjunto B1 reunió a casi todas las accesiones (23), con valores relativamente altos de CoP1, mientras que el conjunto B2 estuvo conformado por dos accesiones (A-26 del grupo rojo y A-37 del grupo morado) que asumieron valores bajos de CoP1. Las siguientes dos coordenadas no tuvieron un aporte notable a esta distribución. La coordenada CoP2 mostró únicamente cierta tendencia a alejar a la accesión A-22 del resto del conjunto B1, mientras que la coordenada CoP3 determinó cierto distanciamiento entre A-26 y A-37, las dos accesiones que conformaron el conjunto B2.

En general, la forma en que se ha distribuido el germoplasma cultivado de tomate de árbol según el análisis tridimensional de coordenadas principales (Figura 4.38) no ha sido muy clara, situación que se repite al analizar los grupos agronómicos y la procedencia geográfica, ya que los conjuntos detectados B1 y B2 resultan conformados por más de un grupo agronómico y por accesiones provenientes de diferentes países.

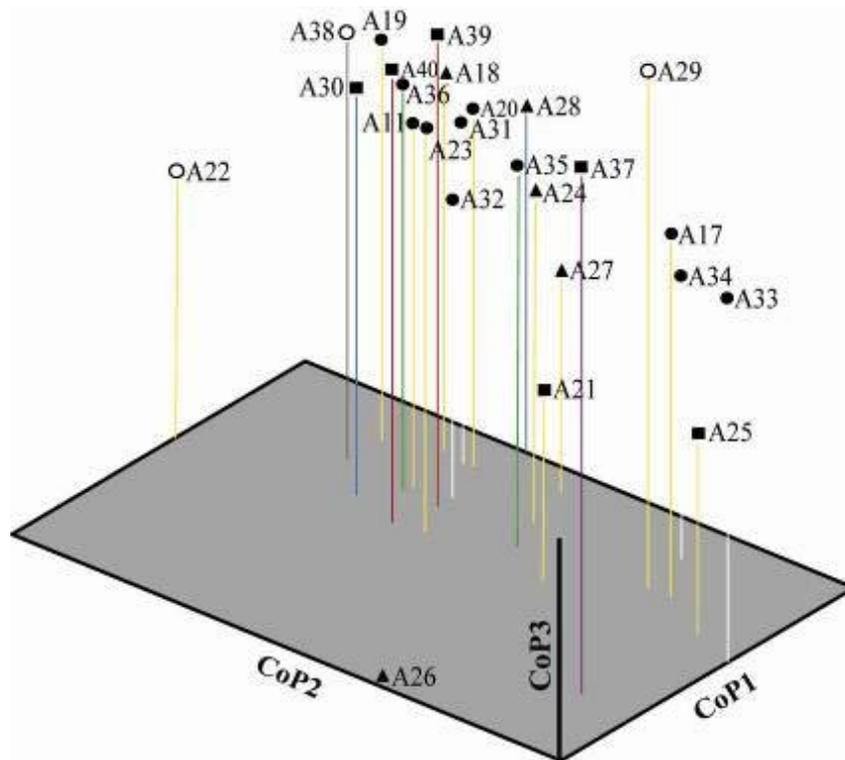


Figura 4.38. Distribución de 25 accesiones de tomate de árbol (conjunto B) obtenida a través del estudio de AFLPs, según las tres primeras coordenadas principales. Esta representación tridimensional expresa el 42,62% de la variación total. Grupos agronómicos: ● anaranjado-elíptico-puntón, ○ anaranjado-elíptico, ■ morado y ▲ rojo; \* accesión silvestre A-15. Origen geográfico: □ Ecuador, □ Colombia, □ Perú, □ Bolivia, □ Portugal, □ Nueva Zelanda y □ España. Ver información sobre las accesiones, grupos agronómicos y lugar de procedencia en la Tabla 3.1.

#### 4.3. COMPARACIÓN ENTRE EL ANÁLISIS DE LOS CARACTERES MORFOLÓGICOS Y EL DE LOS CARACTERES MOLECULARES (AFLPs)

La correlación entre la matriz de distancias euclídeas (con datos morfológicos) y la matriz de similitud (con datos moleculares de tipo AFLPs) confeccionadas con las 22 accesiones que fueron objeto de ambos tipos de análisis se llevó a cabo mediante un test de Mantel (1967); la correlación resultó ser de -0,024, indicando una escasa correspondencia entre las dos bases de datos.

## ***V. DISCUSIÓN***



## 5.1. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD EN TOMATE DE ÁRBOL

El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav., Solanaceae) es muy popular en muchos países de Sudamérica por su consumo principalmente como fruta fresca (Bohs, 1989a; Prohens & Nuez, 2000); siendo una importante alternativa en la producción, diversificación y comercialización de productos no tradicionales, los cuales son una opción importante en la comercialización (Hallam *et al.*, 2004). Por otra parte, constituye un cultivo prometedor para ciertas regiones de clima mediterráneo, incluyendo a España e Italia, que también ha despertado un alto interés como cultivo para diversificar la producción agrícola en países como Nueva Zelanda, existiendo potenciales alternativas de industrialización (Pileri, 1989; Boyes & Strübi, 1997; Prohens & Nuez, 2000; Prohens *et al.*, 2004).

En la región andina, principalmente en Ecuador, el cultivo y comercialización del tomate de árbol representa una alternativa económica tanto en el mercado nacional como internacional. Sin embargo, la producción de tomate de árbol atraviesa actualmente por serios problemas en Ecuador, reflejados en una inadecuada comercialización del producto (a escala local y de exportación). Un indicador de ello es la significativa disminución en la exportación de esta fruta; en el año 2001 se exportaron 103,45 t, pero en los tres últimos años (2008 - 2010) el volumen exportado se ha reducido significativamente a un promedio anual de 30,2 t, indicando una reducción superior al 70% (Banco Central de Ecuador, 2011). En cambio Nueva Zelanda, que en la actualidad es considerado el mayor productor mundial de la fruta, ha registrado exportaciones con un volumen anual promedio de 70 t en los últimos tres años, pese a que en el último año también ha sufrido una disminución considerable de más del 70% respecto de sus exportaciones del 2007, que superaron las 100 t (NZ Tamarillo Export Council Ltd, 2010). Los inconvenientes de exportación y comercio interno de tomate de árbol en Ecuador derivan principalmente de problemas de producción, entre los cuales se encuentran la inexistencia de una diferenciación clara entre sus variedades, la mala calidad de la fruta (tamaño heterogéneo, escasa uniformidad de color y problemas sanitarios) y la utilización de variedades no adecuadas. Asimismo, en los últimos años se ha ido produciendo una sustitución de las variedades locales por materiales procedentes de otros orígenes, lo cual está llevando a una erosión genética de este cultivo.

## Discusión

El tomate de árbol en Ecuador aún es considerado como una especie marginada, entendiéndose como tal aquel cultivo que en el pasado, bajo condiciones diferentes, tuvo mayor importancia en la agricultura convencional pero ahora su importancia se concentra principalmente en la alimentación de las comunidades locales y en permitir sostener la alimentación de las poblaciones con economía de subsistencia (Hernández-Bermejo & León, 1992); estas especies se consideran además subutilizadas u olvidadas y están inadecuadamente caracterizadas y marginadas por los programas de investigación y conservación (Thies, 2000). En la actualidad, el tomate de árbol en Ecuador constituye principalmente un cultivo de subsistencia y no ha sido considerado en programas de conservación y mejora de sus recursos fitogenéticos, lo cual pone de manifiesto la necesidad de emprender estudios de caracterización de su diversidad.

Con referencia a los estudios realizados en tomate de árbol, los trabajos relacionados con la taxonomía, la filogenia y la etnobotánica del género *Cyphomandra*, considerado actualmente dentro del género *Solanum*, se deben principalmente a Bohs (1989a, 1989b, 1991, 1994, 1995, 2001, 2007) y colaboradores (Bohs & Nelson, 1997; Bohs & Olmstead, 1997; Weese & Bohs, 2007; entre otros); sin embargo pocos estudios se han enfocado hacia su mejoramiento (Pringle & Murray, 1991a; Pringle & Murray, 1992a, 1992b), y únicamente se ha encontrado una publicación que incluye el estudio de las relaciones dentro de la especie a través de una caracterización molecular usando marcadores Cos II (Enciso-Rodríguez *et al.*, 2010). Ha existido un mayor interés en temas relacionados con la postcosecha del fruto y con sus características químicas (Mwithiga *et al.*, 2007; Mertz *et al.*, 2009; Vasco *et al.*, 2009; entre otros), lo cual refleja la potencialidad que puede tener este cultivo.

De lo que se conoce hasta la fecha, no se han publicado trabajos que incluyan descriptores morfológicos para la caracterización de esta especie, ni tampoco que se refirieran a las relaciones morfológicas y genéticas entre los grupos agronómicos. Ante la falta de trabajos de investigación que aporten a la mejora productiva del tomate de árbol en Ecuador, así como a la conservación y disponibilidad de su variabilidad genética, la presente investigación pretende profundizar en el conocimiento de su diversidad genética, a través de la caracterización morfológica y molecular (mediante AFLPs) de un conjunto de 27 accesiones representativo de la diversidad de la especie, recolectadas en Ecuador (en su mayoría) y otros países de Sudamérica (Colombia, Perú y Bolivia), así como en Nueva Zelanda, España y Portugal.

La caracterización de los recursos fitogenéticos es esencial para el desarrollo de un adecuado aprovechamiento de una determinada especie y su respectiva conservación (Hammer *et al.*, 2003; de Vicente *et al.*, 2006), y a este respecto lo más oportuno es la integración de la caracterización morfológica y molecular (Hillis, 1987; Furini & Wunder, 2004); ambos tipos de caracterización han demostrado, a través de un amplio número de estudios desarrollados en diversas especies, entre ellas varias solanáceas (como tomate (*Solanum lycopersicum* L.), pimiento (*C. annuum* L.), patata (*S. tuberosum* L.) y berenjena (*S. melongena* L.)), ser positivamente complementarias (Nuez *et al.*, 2004; Geleta *et al.*, 2005; Veteläinen *et al.*, 2005; Muñoz-Falcón *et al.*, 2008a; Kwon *et al.*, 2009; entre otros). Para una adecuada caracterización son necesarios descriptores morfológicos y marcadores moleculares apropiados, por lo que a través de esta investigación se han elaborado unos descriptores morfológicos para el tomate de árbol, los cuales podrían ser de utilidad para el establecimiento de una lista de descriptores de *Bioversity International*, así como también se ha empleado un tipo de marcadores moleculares, como son los AFLPs, para los cuales no es necesario disponer de información genómica de la especie (Mueller & Wolfenbarger, 1999; García-Mas *et al.*, 2000; Torres & Moreno, 2001).

La presente investigación supone una primera caracterización morfológica y molecular con un importante número de descriptores morfológicos y de marcadores AFLPs, basada en una amplia diversidad de accesiones provenientes de la región andina, que constituye el centro de origen del tomate de árbol (Bohs, 1991; Bohs & Nelson, 1997), así como de otros continentes.

## **5.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA**

### **5.2.1. Variación de los caracteres morfológicos**

A través del trabajo de caracterización morfológica de accesiones de tomate de árbol cultivado (sin considerar la accesión silvestre A-15), se ha elaborado una lista de descriptores morfológicos, que de manera general, son similares a los propuestos por *Bioversity International* (<http://www.bioversityinternational.org/publications>) para otras especies de solanáceas, como por ejemplo los de berenjena (IBPGR, 1990), tomate (IPGRI, 1996) o pepino dulce (*S. muricatum* Aiton) (IPGRI, 2004), entre otros. Los

## Discusión

descriptores elaborados en este trabajo constan de 39 caracteres distribuidos en seis grupos relacionados con las distintas partes u órganos de la planta y han permitido llevar a cabo en forma satisfactoria la caracterización de la diversidad intraespecífica del tomate de árbol. En todos los caracteres evaluados, con la excepción de tres relacionados con la flor (longitud del pétalo, ancho del pétalo y diámetro de la corola) (Tabla 4.17), se han encontrado diferencias significativas entre las accesiones analizadas.

Los caracteres de arquitectura de planta son de gran relevancia en el establecimiento (condiciones ambientales, densidades de plantación, etc.) y manejo (cosecha, podas, fertilización foliar, etc.) de los cultivos (Fischer, 2000; Roos *et al.*, 2005; Turnbull, 2005). A este respecto, se han encontrado diferencias importantes entre las accesiones en el diámetro de la copa, con valores de más del doble entre las accesiones con el menor y el mayor diámetro de la copa; estas diferencias tienen implicaciones en el manejo agronómico del cultivo, influyendo entre otros aspectos en la densidad de plantación. Por otra parte, esto indica que podrían existir diferencias con relación al vigor de la planta, debido a que se trata de plantas jóvenes.

La altura de la planta es un carácter muy importante ya que determina la altura de ramificación (Bohs, 1994; Turnbull, 2005) e influye por lo tanto de forma notable en las operaciones de cultivo y cosecha, e incluso en la susceptibilidad de la planta al viento. Con referencia a esto, aunque se han encontrado diferencias significativas entre accesiones en la altura del tallo principal, la distancia entre el valor máximo (163,36 cm) y el mínimo (116,27 cm) obtenidos es de aproximadamente 47 cm (Tabla 4.1), lo cual refleja que los materiales de tomate de árbol tienen una altura de planta similar. Por otra parte, hay que señalar que según varios autores (Morton, 1982; Pringle & Murray, 1991a; Prohens & Nuez, 2000), las plantas obtenidas mediante semillas alcanzan una altura comprendida entre 1,5 y 1,8 m antes de su ramificación, por lo que pueden ser sensibles a la incidencia del viento y dificultar ciertas labores del cultivo y recolección de frutos; mientras que las plantas propagadas en forma asexual (por estacas) son de menor altura, por lo que son recomendables para zonas con alta incidencia de vientos y pueden facilitar el manejo del cultivo y su cosecha.

En este trabajo se han encontrado importantes diferencias entre caracteres de hojas del tallo y caracteres de hojas de la copa; dichas diferencias podrían deberse a que durante los seis primeros meses la planta mantiene un estado juvenil con formación de hojas grandes, pero cuando se ha iniciado la ramificación del tallo principal (copa), la

planta produce un mayor número de hojas, pero de menor tamaño. A este respecto, todos los caracteres de hojas del tallo y copa han resultado con diferencias significativas entre las accesiones analizadas. A pesar de dichas diferencias, los coeficientes de variación para estos caracteres, cuando se comparan con los de fruto, han sido bajos.

Un aspecto importante a considerar es que la variación entre accesiones en los caracteres de las hojas de la copa ha sido mayor que la originada por los caracteres de las hojas del tallo, por lo que la caracterización de las hojas de la copa podría ser más útil que las del tallo para la detección de diferencias entre accesiones.

En lo que respecta a los caracteres de inflorescencia y flor, tres caracteres de la flor (longitud de pétalo, ancho de pétalo, y diámetro de corola) no mostraron diferencias significativas entre accesiones. Esto sugiere que la forma y tamaño de los órganos accesorios de la flor están muy conservados en esta especie, probablemente asociados a una polinización mediada por insectos; de esta forma es posible que cambios en el tamaño o morfología de la flor diesen lugar a una reproducción menos eficiente con lo cual la conservación de estos caracteres florales estaría sometida a una fuerte presión de selección que los mantendría poco variables (Pringle & Murray, 1991b; Bernhardt, 1996; Lewis & Considine, 1999a, 1999b; Tcherkez, 2004). Por lo que respecta al resto de caracteres de inflorescencia y flor, a pesar de existir diferencias significativas entre accesiones, los coeficientes de variación han sido relativamente bajos.

Todos los caracteres de infrutescencia y fruto han resultado con diferencias significativas entre las accesiones estudiadas, siendo los más variables de todos los descriptores establecidos para la caracterización morfológica de tomate de árbol (Tablas 4.21 y 4.22). La amplia variación en los caracteres del órgano por el que ha sido domesticada una especie constituye un fenómeno común entre las especies cultivadas (Zohary & Spiegel-Roy, 1975). Así, por ejemplo, en algunas especies de solanáceas aprovechadas por sus frutos (como pepino dulce, berenjena o tomate) se ha descrito una considerable variación de sus bayas (Anderson *et al.*, 1996; Prohens *et al.*, 2005; Ranc *et al.*, 2008). Lo mismo ocurre en otra solanácea aprovechada por sus tubérculos como lo es la patata, donde existe una importante variación de tamaño, formas, colores, etc. en este órgano (Huamán & Spooner, 2002; Veteläinen *et al.*, 2005), así como también en tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), el cual muestra una gran variación de tamaños y formas en sus hojas (Wernsman & Ruffy, 1987; Siva *et al.*,

## Discusión

2008), que contrasta con la mucho menor variación en la morfología de hojas encontrada en el tomate de árbol.

La mayor parte de los caracteres de la baya del tomate de árbol han mostrado una considerable variación; principalmente el peso del fruto, con valores que difieren en más de cinco veces entre la accesión con frutos de mayor peso y la que presenta los frutos más ligeros (Tabla 4.21). Los caracteres relacionados con el tamaño del fruto también resultaron con una importante variación, aunque con un menor coeficiente que el obtenido en el peso. También, el número de frutos por planta y por infrutescencia han presentado una alta variación, exponiendo los valores de coeficiente de variación más altos de toda la caracterización morfológica. Estos dos caracteres son muy importantes desde el punto de vista agronómico, debido a que el número de frutos que produce una planta representa un componente importante del rendimiento del cultivo. Algunas de las accesiones estudiadas, en particular A-21 y A-25 (piel morada), A-20 (piel anaranjada) y A-18 (piel roja), con los mayores pesos del fruto (154, 132, 139 y 130 g/fruto, respectivamente), serían de interés por su elevado valor de este carácter demandado por el mercado (Jackson & Looney, 1999; Prohens & Nuez, 2000). Estas accesiones, las de frutos de mayor peso en todo el germoplasma estudiado, pertenecen a distintos grupos agronómicos, por lo que cada uno de éstos se encuentra representado por al menos una accesión con un elevado peso del fruto, lo que favorece la diversificación de la comercialización. Es de recalcar que los pesos registrados en estas accesiones, entre otras (Tabla 4.21), han resultado superiores a los valores máximos (56-90 g/fruto) registrados por otros autores (El-Zeftawi *et al.*, 1988; Pringle & Murray, 1991a; Romero-Rodríguez *et al.*, 1994; Prohens *et al.*, 1996).

Los caracteres referentes a la forma del fruto, como las relaciones longitud: diámetro del fruto y longitud: distancia entre la base y el ancho máximo del fruto, pese haber mostrado diferencias significativas entre las accesiones evaluadas, resultaron con menores coeficientes de variación que el resto de caracteres de infrutescencia y fruto.

Con la caracterización de frutos son de destacar las importantes diferencias que presenta la accesión A-41 con respecto al resto de material estudiado. Dichas diferencias se deben básicamente a que esta accesión ha presentado un alto número de frutos por planta y por infrutescencia, un tamaño de fruto muy pequeño y una forma de fruto diferente (Tabla 4.21).

En los tres caracteres de semillas evaluados también se encontraron diferencias significativas entre accesiones, y aunque los coeficientes de variación de longitud y ancho de semilla han sido bajos, en el número de semillas por fruto se encontraron diferencias de más de 100 veces entre accesiones. Esto se debe fundamentalmente al muy bajo número de semillas de la accesión A41 (Tabla 4.26). Por sus características de fruto pequeño podría tratarse de una variedad poco domesticada; sin embargo, el también bajo número de semillas por fruto de esta variedad parece excluir esta hipótesis, ya que las formas silvestres presentan un elevado número de semillas (Bohs, 2001). Es más probable que la accesión A-41 represente un paso intermedio entre las variedades de fructificación normal (no partenocárpicas) y materiales partenocárpicos, los cuales, hasta el momento no se conocen en tomate de árbol. En otras solanáceas hortícolas, como tomate, pimiento, berenjena o pepino dulce, sí se han descrito materiales con bajo número de semillas o partenocárpicos que naturalmente tienen un alto interés agronómico y comercial (Ikeda *et al.*, 1999; Prohens *et al.*, 1998; Gorguet *et al.*, 2005; entre otros). Las diferencias en el tamaño de semillas tienen implicaciones para este cultivo, puesto que una semilla pequeña sería deseable para el consumo, pero probablemente el tamaño de semilla esté relacionado con su viabilidad, de forma que las semillas pequeñas podrían tener un menor porcentaje de germinación (Silvertown, 1981). Por otra parte, un número bajo de semillas también es deseable para el consumo, pero al igual que ocurre en otras especies, una alta presencia de semillas favorece la formación de frutos con mayor tamaño, debido a la influencia de fitohormonas, como las auxinas o giberelinas, segregadas por las semillas (Fos *et al.*, 2000).

El establecimiento de grupos agronómicos diferenciados por las características del órgano cosechado es importante para la comercialización de un producto agrícola, así como para la conservación de los recursos fitogenéticos de una especie. Así, en la mayor parte de especies hortícolas se consideran distintos grupos agronómicos que pueden diferir en las características morfológicas del órgano de aprovechamiento, tipos de uso, vigor, precocidad, fisiología de la floración y reproducción, origen y/o distribución geográfica, etc. (Spooner *et al.*, 2003). En el presente estudio se han establecido cinco grupos agronómicos que se corresponden con materiales que presentan distinta coloración y morfología del fruto, y que son habitualmente reconocidos como tipos diferentes por parte de los productores en Ecuador.

## Discusión

Dentro de los grupos agronómicos se ha encontrado una amplia diversidad en la mayoría de los caracteres estudiados, solapándose los rangos de variación entre grupos en la mayor parte de estos caracteres. De hecho, cuando se comparan los valores medios de los caracteres entre los grupos agronómicos, principalmente se encuentran diferencias significativas en algunos caracteres entre el grupo trompo y el resto de agrupaciones, mientras que no se encuentran diferencias significativas en ningún carácter entre los grupos anaranjado-elíptico-puntón, anaranjado-elíptico, morado y rojo. Esto sugiere que los caracteres por los que se distinguen los distintos grupos agronómicos, fundamentalmente los de color y forma del fruto, se encuentran controlados por pocos *loci* o QTLs responsables de dichos caracteres, como sucede en otras especies de solanáceas (Nunome *et al.*, 2001; Zygier *et al.*, 2005; Brewer *et al.*, 2007; Bradshaw *et al.*, 2008). En efecto, un control monogénico u oligogénico de estos caracteres facilitaría su introgresión en distintos fondos genéticos, de forma que en diferentes fondos genéticos podrían existir accesiones pertenecientes a distintos grupos agronómicos.

### 5.2.2. Correlación entre los caracteres morfológicos

El estudio de correlaciones permite detectar patrones similares de variación entre los valores de distintos caracteres (Crisci & López, 1983). A este respecto, el estudio de los coeficientes de correlación de Pearson es particularmente adecuado para caracteres cuantitativos con un rango de variación continua (Crisci & López, 1983; Peña, 2001). En esta investigación, dado que se han establecido 39 caracteres, el número total de pares posibles de correlaciones es 741. El estudio de un número tan elevado de correlaciones a un determinado nivel de probabilidad incrementa la posibilidad de cometer errores de tipo I, es decir, de considerar diferencias significativas las que realmente no lo son (Peña, 2001), por lo que además de estudiar la significación a los niveles habituales (0,05; 0,01 y 0,001), también se estudió la significación al nivel determinado por la prueba de Bonferroni para una probabilidad de 0,05 (nivel de significación 0,000067). Esta prueba de significación se considera altamente conservadora (Hochberg, 1988), lo cual ha permitido identificar aquellas correlaciones que, con un alto grado de confianza, no son espúreas.

La mayor parte de correlaciones entre caracteres no han resultado significativas, independientemente del nivel de significación estudiado, como era de esperar debido a

que los caracteres medidos representan distintos órganos y características de la planta. Con la prueba de significación de Bonferroni se ha determinado un total de 32 correlaciones significativas ( $r \geq 0,78$ ) (Tabla 4.31), la mayoría de las cuales correspondieron a correlaciones entre caracteres que afectan a un mismo órgano o parte de la planta, obedeciendo a patrones naturales de variación. Así, por ejemplo, se han determinado altas correlaciones entre caracteres de longitud y ancho de las hojas; el número de frutos por planta y el de frutos por infrutescencia también se correlacionaron significativamente; otros caracteres que asimismo se correlacionaron significativamente entre sí fueron la longitud, el diámetro y el peso del fruto. Muchas de estas correlaciones son la evidencia de un control genético en gran medida común; así, parece probable considerar que uno o pocos genes pleiotrópicos que inciden en la magnitud de un carácter relacionado con el tamaño de un órgano, afecten también a otros caracteres relacionados con el tamaño del mismo órgano (por ejemplo: longitud y ancho de la hoja, del fruto, del pétalo, etc.) (Cooper *et al.*, 2002; Sulmon *et al.*, 2006). Es importante destacar que se han encontrado muy pocas correlaciones significativas, de acuerdo con la prueba de Bonferroni, entre pares de caracteres de distintas partes de la planta, lo cual sugiere que en el caso de órganos distintos existen mecanismos genéticos distintos que afectan al desarrollo de cada una de las partes de la planta. Estudios comparativos de expresión de genes entre distintos órganos en varias especies, como por ejemplo en *Arabidopsis*, muestran que existen amplias diferencias de expresión genética entre distintos órganos, lo cual podría explicar estas bajas correlaciones (Schmid *et al.*, 2005). De hecho, las pocas correlaciones significativas encontradas entre caracteres de diferentes partes de la planta en tomate de árbol corresponden principalmente a caracteres de semilla y de fruto, los cuales podrían considerarse como caracteres del mismo grupo.

### 5.2.3 Análisis multivariante

El análisis multivariante es de gran utilidad para estudiar de forma simultánea un gran número de caracteres en un conjunto de accesiones de germoplasma, considerando además la relación existente entre estos (Hidalgo, 2003; Mohammadi & Prasanna, 2003). En la caracterización morfológica y molecular de este trabajo se han utilizado dos herramientas complementarias (análisis de agrupamientos y métodos de ordenación) para el estudio de las relaciones entre los materiales de tomate de árbol.

## Resultados

Tabla 4.1. Comparación múltiple de diferencias entre medias de las 24 accesiones para caracteres de la arquitectura de la planta

Accesiones	Altura del tallo principal (cm)	Diámetro del tallo (cm)	Longitud del segundo entrenudo (cm)	Diámetro de la copa (cm)
A-16	127,67 a b c	3,59 b c d e	4,52 a	132,67 b c d e f
A-17	128,47 a b c	3,61 b c d e	3,83 a	112,00 a b c d e f
A-18	143,47 c d e	3,52 b c d e	4,17 a	147,88 e f
A-19	144,73 c d e	3,28 b c d	4,31 a	130,33 b c d e f
A-20	148,32 d e f	4,06 e	5,74 b	159,00 f
A-21	138,20 b c d e	3,03 a b c	4,51 a	96,90 a b
A-22	132,79 a b c d	3,29 b c d	4,63 a	98,64 a b c
A-23	137,67 b c d e	3,38 b c d e	3,88 a	114,50 a b c d e f
A-24	129,64 a b c	3,09 a b c d	3,99 a	116,64 a b c d e f
A-25	130,93 a b c d	3,56 b c d e	4,01 a	124,33 a b c d e f
A-26	140,41 c d e	2,86 a b	3,70 a	116,00 a b c d e f
A-27	134,92 b c d e	3,11 a b c d	3,92 a	118,00 a b c d e f
A-29	163,36 g	3,59 b c d e	4,46 a	102,36 a b c d
A-30	160,13 f g	3,71 c d e	4,49 a	115,53 a b c d e f
A-31	140,00 c d e	3,34 b c d e	3,74 a	118,79 a b c d e f
A-32	129,36 a b c	3,85 d e	4,54 a	139,36 b c d e f
A-33	120,33 a b	3,43 b c d e	3,98 a	153,07 e f
A-34	127,47 a b c	3,55 b c d e	4,12 a	155,13 e f
A-35	137,47 b c d e	3,39 b c d e	4,49 a	158,00 f
A-36	116,27 a	3,01 a b c	3,57 a	122,87 b c d e f
A-37	151,40 e f g	3,54 b c d e	4,14 a	115,80 a b c d e f
A-39	130,58 a b c d	3,43 b c d e	4,37 a	142,00 c d e f
A-40	130,20 a b c d	2,60 a	4,40 a	77,47 a
A-41	145,93 c d e	4,70 f	4,25 a	144,28 d e f
<b>Media general</b>	<b>137,07</b>	<b>3,44</b>	<b>4,24</b>	<b>125,48</b>
<b>Error estándar</b>	<b>3,79</b>	<b>0,15</b>	<b>0,23</b>	<b>8,90</b>

Diferentes letras dentro de una misma columna indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ ) entre accesiones. Según la prueba de Student-Newman-Keuls

En todos los caracteres se han encontrado diferencias altamente significativas ( $P < 0,0001$ ), con valores del estadístico F entre 3,52 en la longitud del segundo entrenudo y 9,02 en altura del tallo principal (Tabla 4.2).

El mayor coeficiente de variación de los caracteres de arquitectura de la planta (Tabla 4.3) ha resultado ser el del diámetro de la copa, con un coeficiente de 16,92%,

como ocurrió en un estudio de diversidad de otra solanácea, la patata (Veteläinen *et al.*, 2005). La distribución por todo el dendrograma de las accesiones de tomate de árbol procedentes de diferentes países sugiere que esta especie tiene una dinámica de distribución continua entre distintas regiones, debido a la facilidad de su propagación mediante el uso de semillas.

#### - **Análisis de componentes principales (ACP)**

En el análisis de componentes principales, las tres primeras componentes permitieron explicar cerca de un 60% de la variación encontrada, lo cual es un valor relativamente alto teniendo en cuenta que se han considerado 39 caracteres. En estudios similares realizados en tomate y berenjena con un número casi similar de caracteres (36 y 34, respectivamente) las tres primeras componentes principales explicaron un porcentaje menor de variación (43%) para el caso de tomate (Terzopoulos & Bebeli, 2010); mientras que en berenjena se obtuvo casi un 32% con las dos primeras componentes (Muñoz *et al.*, 2009). En otro trabajo realizado en berenjena y dos especies relacionadas (*S. macrocarpon* L. y *S. aethiopicum* L.) las tres primeras componentes principales explicaron porcentajes cercanos al obtenido en este estudio (60, 69 y 68%, respectivamente), aunque utilizando un bajo número de caracteres (11) (Polignano *et al.*, 2010).

A través de éste análisis se han identificado diversas agrupaciones de caracteres, de tal forma que se encuentran asociaciones conjuntas entre caracteres pertenecientes a una misma parte u órgano de la planta (Figura 4.5); esto se corresponde con lo encontrado en el análisis de correlaciones. Al igual que el análisis de agrupamientos, el análisis de componentes principales diferenció a la accesión A-41 (grupo trompo) del conjunto de las restantes accesiones, que se distribuyeron en cuatro subconjuntos (Figura 4.8). A pesar de haberse distinguido dos subagrupaciones más que en el análisis de agrupamientos, la tendencia en la forma de asociación de las accesiones ha sido parecida en ambos análisis. Aunque en este estudio de componentes principales dos de las cuatro subagrupaciones han reunido material perteneciente a un mismo grupo agronómico (anaranjado-elíptico-puntón en ambos casos) y proveniente de un mismo país (Bolivia en un caso y Perú en el otro), en general la forma de agrupación de las accesiones tampoco corresponde con los grupos agronómicos o con

## Discusión

el origen de las accesiones. Esto confirma que dentro de cada uno de los grupos agronómicos existe una considerable diversidad morfológica.

Los resultados del ACP se alteran muy escasamente cuando se excluye la accesión A-41, salvo por cierto acercamiento de la accesión A-37 (grupo morado, recolectada en Portugal) a una de las cuatro subagrupaciones identificadas (Figura 4.18). La presencia o ausencia de la accesión A-41 en el conjunto analizado no incide de manera significativa en la forma de agrupación del resto de accesiones, como tampoco influye en la forma en que se distribuyen los grupos agronómicos o los distintos orígenes geográficos del germoplasma.

Una vez más, los resultados del ACP indican que los grupos agronómicos no delimitan grupos de accesiones con un patrón morfológico determinado, sino que únicamente comparten unos pocos caracteres fundamentalmente de color y forma del fruto. Resultados similares, han sido obtenidos en un estudio de variedades tradicionales de tomate (Cebolla, 2005).

### 5.2.4. Heredabilidad de los caracteres

El estudio de la heredabilidad tiene importantes repercusiones para el conocimiento de las componentes de la variación fenotípica, para la caracterización, selección y mejora genética (Wricke & Weber, 1986; Holland *et al.*, 2003). Los valores altos de heredabilidad en sentido amplio indican que la mayor parte de la variación que se observa se debe a factores genotípicos, que existe una alta estabilidad del carácter frente a factores ambientales, y que la selección entre genotipos será altamente eficaz (Dudley & Moll, 1969; Nyquist, 1991; Dabholkar, 1999;). En este trabajo se encontró que los valores más altos de heredabilidad son los de caracteres de infrutescencia, fruto y semilla. Ya que estos caracteres corresponden a la parte económicamente aprovechable de la planta (el fruto), la selección de aquellos materiales con unas características de fruto más adecuadas será eficaz, lo que facilitará la mejora genética de esta especie. Entre los escasos trabajos sobre selección y mejora del tomate de árbol publicados hasta el momento destacan los de Pringle & Murray (1991a, 1992a, 1992b).

### 5.3. CARACTERIZACIÓN MOLECULAR

#### 5.3.1. Descripción de los marcadores AFLPs obtenidos

La caracterización molecular representa un complemento de la caracterización morfológica; en particular, aquella que va dirigida a detectar diferencias en el material genético puede proporcionar información sobre las relaciones genéticas entre distintos individuos o accesiones (Patterson *et al.*, 1993; Spooner *et al.*, 2005). En el presente estudio se han utilizado marcadores AFLPs, los cuales detectan principalmente polimorfismos debidos a mutaciones puntuales en la secuencia de ADN (Mueller & Wolfenbarger, 1999; García-Mas *et al.*, 2000; Valadez-Moctezuma & Kahl, 2005). El uso de marcadores AFLPs es particularmente adecuado para este estudio, ya que no existe información genómica previa disponible sobre tomate de árbol (Mueller & Wolfenbarger, 1999; García-mas *et al.*, 2000; Torres & Moreno, 2001) ni existen tampoco marcadores SSR específicos de este cultivo. Además, los AFLPs presentan la ventaja de un mayor polimorfismo por reacción y reproducibilidad que el de otros marcadores que tampoco requieren reconocimiento previo del genoma, como los RAPDs (Powell *et al.*, 1996; Jones *et al.*, 1997).

El número total de marcadores AFLPs hallados fue 197, siendo 84 polimórficos cuando se consideran tanto los materiales cultivados como la accesión silvestre A-15 (*S. cajanumensis* Kunth.) y 78 polimórficos cuando únicamente se consideran las accesiones cultivadas (*S. betaceum*) (Tablas 4.39 y 4.40). Esto representa un número suficiente de marcadores para poder llevar a cabo un estudio de las relaciones entre distintos materiales de tomate de árbol; en algunos estudios similares realizados en otras solanáceas como berenjena y patata, entre otras, se han obtenido un menor número de marcadores polimórficos (aunque con menor número de combinaciones de cebadores), con resultados positivos en la diferenciación del germoplasma correspondiente (Kardolus *et al.*, 1998; Cebolla, 2005; Veteläinen, 2005; Muñoz-Falcón *et al.*, 2008a; entre otros).

Sin embargo, el porcentaje de polimorfismo obtenido ha sido relativamente bajo (39,59%) si se compara con el de otras especies de la familia solanáceas (berenjena, tomate y pepino dulce) evaluadas en el mismo laboratorio (COMAV) y con los mismos procedimientos utilizados en este trabajo. Así, en una colección de berenjena se obtuvo un 79,4% de marcadores polimórficos (Prohens *et al.*, 2005); en el estudio de

## Discusión

dos especies emparentadas con berenjena (*Solanum vespertilio* Aiton y *S. lidii* Sunding) se encontró un 98% de polimorfismo (Prohens *et al.*, 2007); mientras que en otro estudio relacionado con la clasificación y filogenia del tomate se ha reportado un polimorfismo de 90,2% (Zuriaga *et al.*, 2009). Significativamente el nivel de polimorfismo obtenido en tomate de árbol ha sido también más bajo que el encontrado en otra especie andina marginada como es el pepino dulce, cultivo en el que se halló un polimorfismo de hasta el 100% (Blanca *et al.*, 2007).

Se han encontrado diferencias considerables en el número de marcadores y grado de polimorfismo entre distintas combinaciones de cebadores. Ello indica que utilizando determinadas combinaciones de cebadores (como *EcoRi* ACA – *MseI* CAC, *EcoRi* ACT – *MseI* CCA y *EcoRi* AGC – *MseI* CTC) es posible obtener más información acerca de las relaciones del germoplasma estudiado, que utilizando otras combinaciones de cebadores (como *EcoRi* ACG - *MseI* CAA, *EcoRi* AAG – *MseI* CTC, *EcoRi* AAC – *MseI* CAC, entre otras) (Tablas 4.39 y 4.40). Para poder detectar esas combinaciones de cebadores más polimórficas en futuros estudios que se realicen en esta especie, se sugiere la realización de pruebas de distintas combinaciones de cebadores en un reducido número de accesiones que representen la variabilidad del tomate de árbol.

Los marcadores AFLPs han permitido detectar algunos marcadores que se encuentran en alguna/s (pero no en todas) accesiones de un determinado grupo agronómico y ausentes en el resto de grupos agronómicos; sin embargo no se han detectado marcadores específicos y universales para todas las accesiones de un grupo agronómico determinado. Resultados similares con este tipo de marcadores se han obtenido al estudiar distintos grupos de cultivares de berenjena (Muñoz-Falcón *et al.*, 2008b, 2009). En este sentido, otro tipo de marcadores como los SSR se han mostrado más útiles en otras especies de solanáceas para detectar fragmentos específicos y universales dentro de un conjunto de cultivares del mismo grupo agronómico (García-Martínez *et al.*, 2006; Muñoz-Falcón *et al.*, 2008b). No obstante, los AFLPs han permitido obtener un perfil genético único para cada una de las accesiones utilizadas, lo cual resulta de gran utilidad en la identificación del material cultivado y silvestre (por ejemplo duplicados en bancos de germoplasma, relaciones entre distintos materiales, etc.) (Kardolus *et al.*, 1998; Lanteri *et al.*, 2003; Furini & Wunder, 2004; Prohens *et al.*, 2005; Esfahani *et al.*, 2009; Zuriaga *et al.*, 2009; entre otros).

El número de diferencias en fragmentos AFLPs entre accesiones es una alternativa que permite conocer cuáles son las accesiones más próximas y más alejadas entre sí, lo cual podría ser de utilidad para la identificación de parentales que den lugar a híbridos heteróticos para producción (Cubero, 2003), como se ha hecho o sugerido en otros cultivos de solanáceas, como pepino dulce, berenjena, patata, etc. (Rodríguez-Burruezo *et al.*, 2004a; Goncharova & Vojtekovich, 2007; Polignano *et al.*, 2010). En esta caracterización se ha identificado una accesión del grupo rojo (A-26) como el material que mayores diferencias ha expresado con respecto al resto del germoplasma, en especial con relación a una accesión del grupo anaranjado-elíptico (A-38) (Tabla 4.41).

### 5.3.2. Diversidad genética

Los estudios de diversidad genética dentro y entre grupos agronómicos de tomate de árbol confirman que dentro de cada una de las agrupaciones establecidas existe una considerable diversidad (0,18–0,25). La diversidad encontrada indica que cada uno de los grupos agronómicos de tomate de árbol contiene una parte importante de la diversidad genética detectada en la especie, lo cual tiene implicaciones importantes en la conservación de los recursos genéticos y en la mejora genética del tomate de árbol (Soller & Beckmann, 1983; Hidalgo, 2003). Con referencia a su conservación, se podría preservar una parte importante de la diversidad genética manteniendo varias accesiones de un mismo grupo agronómico. En lo que respecta a la mejora genética, los estudios de diversidad sugieren que si se plantea un programa de mejora dirigido a desarrollar nuevas variedades de un determinado grupo agronómico, es posible encontrar suficiente diversidad genética dentro de ese grupo. Por ejemplo, dentro de un mismo grupo agronómico se pueden encontrar accesiones separadas por una gran distancia genética que permitan la obtención de híbridos heteróticos para caracteres de producción. En algunas especies de solanáceas como pepino dulce, berenjena, patata, tabaco, etc.; se han encontrado dichas condiciones, que dieron lugar a obtener variedades mejoradas (Sanford & Hanneman, 1982; Prohens & Nuez, 1999; Illangakoon *et al.*, 2004; Rodríguez-Burruezo *et al.*, 2004a; Lewis *et al.*, 2007).

Cuando se reúnen las accesiones de los grupos agronómicos con fruto anaranjado por una parte y las de fruto morado y rojo por otra, cada una de estas agrupaciones contiene una diversidad muy próxima a la diversidad total, de forma que no existen

## Discusión

diferencias en diversidad asociadas al color. Asimismo, cuando se compara la diversidad de las accesiones provenientes de Ecuador con la de las de otros países, ambos grupos presentan valores de diversidad muy cercanos y un muy bajo grado de diferenciación genética, lo cual indica que en Ecuador existe una alta diversidad genética de tomate de árbol (o al menos tan alta como la que cabría encontrar fuera de sus fronteras) (Tabla 4.45). A pesar de que se considera que el centro de origen del tomate de árbol es Bolivia (Bohs, 1991; Bohs & Nelson, 1997), esta alta diversidad sugeriría que Ecuador es un centro de acumulación de diversidad de esta especie (Harlan, 1992). Por otra parte, la baja diferenciación genética desde el punto de vista geográfico posiblemente sea consecuencia de un intercambio y transporte continuo de materiales de esta especie entre distintas regiones, favorecidos por su propagación por semilla. Asimismo, la gran variabilidad ambiental en la región andina con microclimas muy diferentes, incluso dentro de una misma área geográfica (Sierra, 1999), también facilitaría la acumulación de la diversidad y favorecería la falta de diferenciación genética entre distintas regiones.

El estudio de distancias genéticas entre grupos (Tabla 4.43) muestra que las menores distancias separan al grupo rojo del anaranjado-elíptico-puntón y del morado. En cambio, las mayores distancias se han encontrado entre el anaranjado-elíptico y el morado, y entre aquél y el rojo, lo cual permite la identificación tanto de los grupos más similares como de los más distintos.

### 5.3.3. Análisis multivariante

De igual forma que en la caracterización morfológica, en la caracterización molecular se han aplicado dos herramientas complementarias como son el análisis de agrupamientos y el de coordenadas principales (ACoP), esta vez sobre la base de los AFLPs.

#### - Análisis de agrupamientos

En la caracterización molecular del tomate de árbol, el análisis de agrupamientos de las accesiones mediante el método UPGMA separó notablemente a todo el material cultivado de la accesión silvestre *S. cajanumensis* (Figura 4.25), confirmando que esta especie tiene una estructura genética claramente diferenciada de la de *S. betaceum*

(Bohs, 1994; 1995; 2007) y que su utilización ha funcionado efectivamente como controlador externo en este tipo de caracterización. La comparación de accesiones cultivadas con sus especies silvestres o con especies relacionadas, mediante el uso de marcadores AFLPs, ha sido llevada a cabo en diversas especies de solanáceas, demostrando que el uso de estos marcadores ha sido adecuado en su respectiva diferenciación (Furini & Wunder, 2004; Nuez *et al.*, 2004; Prohens *et al.*, 2005). Como ya se ha mencionado anteriormente, se ha obtenido un perfil genético único para cada una de las accesiones, pero el material cultivado de tomate de árbol no presenta grupos de accesiones que se diferencien de forma significativa entre sí. La accesión A-26 (grupo agronómico rojo) se ha diferenciado claramente del resto, mientras que las 24 accesiones cultivadas restantes se distribuyeron en dos agrupaciones, una conformada por dos accesiones de un mismo grupo agronómico (morado) y la segunda, con la mayor parte del material cultivado y sin una estructura clara, reunió accesiones de diferentes grupos agronómicos. Tampoco se obtuvo una estructura clara con respecto al origen del germoplasma, encontrándose accesiones de diferentes países, incluido Ecuador, en cada uno de los subgrupos que se han distinguido.

La ausencia de agrupaciones claras del germoplasma de tomate de árbol, junto a una escasa diferenciación genética entre grupos agronómicos, es común en otras especies cultivadas de solanáceas como el tomate, pimiento y pepino dulce (Votava & Bosland, 2002; García-Martínez *et al.*, 2006; Blanca *et al.*, 2007; Mazzucato *et al.*, 2008). De igual forma, la agrupación no consistente de las accesiones de acuerdo a su origen geográfico, asociada con la baja diferenciación genética entre las distintas regiones se puede deber, como se discutió anteriormente, a un continuo intercambio y transporte de materiales, así como a la variabilidad ambiental que caracteriza a la región andina. Una situación similar, en la que no se encuentra agrupación de cultivares por países ha sido también encontrada en otras solanáceas cultivadas como la patata y la berenjena (Prohens *et al.*, 2005; Veteläinen *et al.*, 2005;).

La forma de agrupación del material estudiado no se ve influida de forma notoria por la exclusión de la accesión silvestre A-15, de forma que el dendrograma obtenido sin A-15 (Figura 4.27) equivale a una de las dos agrupaciones principales obtenidas al incluir todo el germoplasma estudiado.

**- Análisis de coordenadas principales (ACoP)**

El análisis de coordenadas principales diferenció significativamente a la accesión silvestre A-15 de todas las accesiones cultivadas, confirmando lo obtenido y discutido en el análisis de agrupamientos, y además separó a la accesión A-26 (grupo rojo) y distanció también a las accesiones A-37 (grupo morado) y A-22 (grupo anaranjado-elíptico) del resto de accesiones, lo cual no ocurrió en el análisis de agrupamientos (Figura 4.29). Una vez más, la ordenación de las accesiones de *S. betaceum* resultó escasamente alterada al excluir a *S. cajanumensis* del análisis (Figura 4.34). En el ACoP de las accesiones cultivadas, las tres primeras coordenadas han permitido explicar algo más de un 42% de la variación total; en otros estudios de caracterización de cultivos de solanáceas se han obtenido resultados que explican, con las dos primeras coordenadas, un porcentaje de variación similar al explicado en este estudio (Prohens *et al.*, 2005, 2007; Muñoz-Falcón *et al.*, 2008a).

De forma general, la distribución de accesiones en función de los grupos agronómicos y de la proveniencia del material no ha sido clara, como se vio en el análisis de diversidad genética y de agrupamientos; resultados similares se obtuvieron en otras solanáceas como tomate, pepino dulce y pimiento (Votava & Bosland, 2002; Cebolla, 2005; Blanca *et al.*, 2007; entre otros).

**5.4. COMPARACIÓN ENTRE CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y CARACTERIZACIÓN MOLECULAR**

Las correlaciones entre las distancias obtenidas en la caracterización morfológica y las generadas por la caracterización molecular varían mucho según el cultivo evaluado, material vegetal utilizado, tipo de descriptores morfológicos y de marcadores moleculares utilizados, etc. (Mohammadi & Prasanna, 2003; Chowdhury *et al.*, 2005). En este estudio de caracterización morfológica y molecular del tomate de árbol cultivado, las correlaciones obtenidas entre las distancias determinadas con marcadores morfológicos y las de los AFLPs no han sido significativas, presentando un valor muy cercano a cero, como encontraron diversos autores en otras solanáceas, como patata, pimiento y tomate (Cebolla, 2005; Geleta *et al.*, 2005; Veteläinen *et al.*, 2005), así como en olivo (Hagidimitriou *et al.*, 2005), cebada (*Hordeum vulgare* L.) (Lund, 2002) y sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (Geleta *et al.*, 2006).

Las correlaciones tan bajas sugieren que estos dos tipos de caracterización muestrean niveles diferentes de diversidad, de forma que la información obtenida entre ambos resulta complementaria y útil para la conservación de recursos fitogenéticos y mejora del material. Los marcadores morfológicos muestrean caracteres cuya variación generalmente está controlada por pocos genes, como lo indicado en berenjena por Doganlar *et al.* (2002), mientras que los AFLPs principalmente detectan mutaciones puntuales en regiones no codificantes. Además, algunos estudios indican que los marcadores AFLPs obtenidos mediante enzimas *EcoRi* y *MseI* (utilizadas en este estudio) no se distribuyen de forma uniforme por el genoma (Castiglioni *et al.*, 1999; Young *et al.*, 1999). A este respecto, Wendel & Doyle (1998) han señalado que la falta de correlación entre las distancias morfológicas y genéticas, como ocurre en el presente estudio, se pueden deber a que la evolución morfológica puede diferir de la evolución a nivel molecular.

El hecho de que no exista correlación entre las distancias a nivel morfológico y a nivel molecular sugiere que la utilización de ambos tipos de datos es conveniente en el manejo de colecciones de germoplasma y en el establecimiento de colecciones nucleares en esta especie (Brown *et al.*, 1995; Ghislain *et al.*, 1999). Asimismo, esta falta de correlación también tiene implicaciones para los programas de mejora genética. Por ejemplo, en muchos cultivos se ha observado que se pueden obtener híbridos heteróticos al cruzar materiales situados a una gran distancia genética; a este respecto, la utilización de las distancias genéticas obtenidas mediante marcadores AFLPs podrían ser más ventajoso que la utilización de las distancias morfológicas, a la hora de seleccionar parentales para la obtención de híbridos de alta productividad (Rodríguez-Burruezo *et al.*, 2008). Sin embargo, este es un aspecto que requeriría una comprobación experimental.



## ***VI. CONCLUSIONES***



1. El tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) es una especie de origen andino a la que se ha dedicado poca atención. Este trabajo contribuye a la caracterización morfológica y molecular de una colección de materiales de este cultivo que contiene una amplia diversidad de formas y orígenes, y al establecimiento de descriptores para la especie, aportando de forma significativa al conocimiento de su diversidad y, por tanto, a la conservación y utilización de los recursos genéticos de esta especie.
2. Los descriptores morfológicos elaborados, siguiendo los criterios utilizados por *Bioversity International* para la elaboración de descriptores de recursos fitogenéticos, han mostrado su utilidad para diferenciar los distintos tipos y accesiones, así como para conocer características morfológicas y agronómicas de interés de cada uno de los materiales estudiados y de los respectivos grupos agronómicos.
3. Se han encontrado diferencias significativas entre accesiones en la mayoría de caracteres morfológicos evaluados, en particular en los de fruto. Esto indica que existe una considerable variación entre accesiones y que se pueden seleccionar materiales con características de fruto más adecuadas para los mercados. A este respecto, en tres de los grupos agronómicos se han encontrado accesiones con altos valores medios de peso de fruto (superiores a 130 g); lo cual es de gran interés para mercados de exportación, tanto por el peso mostrado como por la alternativa en forma y color de frutos característicos de cada grupo.
4. En cuatro de los cinco grupos agronómicos estudiados se ha encontrado una considerable diversidad, no encontrándose en la mayor parte de casos diferencias significativas entre grupos agronómicos en los caracteres morfológicos evaluados. En cambio, el grupo trompo presentó diferencias con respecto a los otros grupos en un número considerable de caracteres.
5. La mayor parte de correlaciones significativas corresponden a pares de caracteres de un mismo órgano o parte de la planta, principalmente de hoja, infrutescencia y fruto, y que obedecen a patrones naturales de variación.
6. Los caracteres de infrutescencia, fruto y semilla, se caracterizan por su alta heredabilidad, lo que indica que la mayor parte de la variación encontrada en ellos se debe a factores genotípicos; por lo que la selección de accesiones con las mejores características de fruto, que es el órgano económicamente aprovechable del tomate de árbol, será más eficaz en su mejora genética.

## Conclusiones

7. El análisis multivariante de caracteres morfológicos mediante el estudio de agrupamientos y el análisis de componentes principales separó al grupo agronómico trompo (accesión A-41) del resto de accesiones, las cuales a su vez han formado grupos de accesiones con mínimas diferencias morfológicas entre sí. Los caracteres morfológicos que más han aportado a la agrupación de accesiones se relacionan con el fruto. En lo que respecta a los grupos agronómicos y al origen del material estudiado, no existió una agrupación clara, existiendo en algunos casos mayor similitud morfológica entre ciertas accesiones de distintos grupos agronómicos que entre accesiones de un mismo grupo agronómico o de un mismo país de origen. Esto sugiere que la especie tiene una activa dinámica de distribución entre distintas regiones, debido a su fácil forma de propagación (sexual).
8. La utilización de marcadores moleculares de tipo AFLPs ha aportado datos útiles para el establecimiento de relaciones y huellas genéticas en tomate de árbol. Con los 78 marcadores AFLPs de 25 accesiones cultivadas se obtuvo un nivel de polimorfismo del 39,59 %, con huellas genéticas específicas y únicas para cada accesión. Esta herramienta resulta apropiada para la identificación de materiales de tomate de árbol, pero sin embargo no permitió detectar marcadores específicos y universales para los grupos agronómicos, lo cual sugiere que existe una baja diferenciación genética entre grupos.
9. Los grupos agronómicos establecidos mostraron una considerable diversidad interna, indicando que cada uno contiene una parte importante de la diversidad genética de la especie, lo cual tiene implicaciones relevantes tanto para su conservación como para su mejora genética. Al comparar la diversidad entre accesiones procedentes de Ecuador con la que albergan las de otros países se encontraron valores muy parecidos, con un bajo grado de diferenciación genética entre ambos grupos. En Ecuador existe, por tanto, una elevada diversidad, por lo que este país puede ser considerado como un centro de acumulación de diversidad de tomate de árbol.
10. Los análisis de agrupamientos y de coordenadas principales de los datos moleculares, de igual forma a lo encontrado en la caracterización morfológica, no arrojaron una forma clara de agrupación de las accesiones y sí una baja diferenciación genética entre grupos agronómicos y entre orígenes geográficos de las accesiones, determinándose una asociación inconsistente en su agrupación.

Las accesiones de Ecuador se distribuyeron por la mayor parte de grupos agronómicos.

11. Los dos tipos de caracterización (morfológica y molecular) mostraron una escasa correspondencia, pero la información que proporcionan resulta complementaria y oportuna para la conservación y mejora genética del tomate de árbol.



## ***VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS***



- Afanador-Kafuri L, Minz D, Maymon M, Freeman S (2003). Characterization of *Colletotrichum* isolates from tamarillo, passiflora, and mango in Colombia and identification of a unique species from the genus. *Phytopathology* 93:579–587.
- Aiton WT (1810). *Hortus Kewensis*, 2ª ed., vol. 1. Longman, Hurts, Rees, Orme & Brown, London, Reino Unido [citado por Bohs (1989a)].
- Alliaume (1880). *Solanum betaceum*. *Rev Hort* 52:150-151 [citado por Bohs (1989a)].
- Anderson GJ, Jansen RK, Kim Y (1996). The origin and relationships of the pepino, *Solanum muricatum* (Solanaceae): DNA restriction fragment evidence. *Econ Bot* 50:369-380.
- Andrews H (1801). *Solanum betaceum*. *Bot Repos* 8: tab. 511 [citado por Bohs (1989a)].
- Anis M, Baksh S, Iqbal M (1994). Cytogenic studies on the F1 hybrid *Solanum incanum* x *S. melongena* var. American Wonder. *Cytologia* 59:433-436.
- Anónimo (1887). Tree tomato. *Bull Misc Inform* 8:2-6 [citado por Bohs (1989a)].
- Anónimo (1922). USDA inventory of seeds and plants imported. Jan 1 to Mar 31, 1917. Inventory No. 50. USDA. Bur. Plant Industry, Washington, D.C., Estados Unidos [citado por Bohs (1989a)].
- Avidan A (1994). Determinación del régimen de riego de los cultivos. Calculo de las necesidades de riego. Haigud-CINADCO, Fascículo 3, Bet Dagan, Israel, 58 pp.
- Bacchetta G, Grillo O, Mattana E, Venora G (2008). Morpho-colorimetric characterization by image analysis to identify diaspores of wild plant species. *Flora* 203: 669-682.
- Banco Central de Ecuador (2011). Estadísticas de exportaciones. Diciembre 2010. [http://www.portal.bce.fin.ec/vto\\_bueno/seguridad/ComercioExteriorEst.jsp](http://www.portal.bce.fin.ec/vto_bueno/seguridad/ComercioExteriorEst.jsp) [consultado febrero-2011].
- Belén-Camacho DR, Sánchez ED, García D, Moreno-Álvarez MJ, Linares O (2004). Características fisicoquímicas y composición en ácidos grasos del aceite extraído de semillas de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) variedades roja y amarilla. *Grasas Aceites* 55:428-433.
- Benham J, Jeung JU, Jasieniuk M, Kanazin V, Blake T (1999). Genographer: a graphical tool for automated fluorescent AFLP and microsatellite analysis. Department of Plant Science, Montana State University, Bozeman, Estados Unidos.
- Bernhardt P (1996). Anther adaptation in animal pollination. En: D'Arcy WG, Keating RC (eds). *The anther: form, function and phylogeny*. Cambridge University Press, New York, Estados Unidos, pp 192-220.

## Referencias Bibliográficas

- Biltons J (1986). Tamarillo cook book. Irvine Holt. Auckland, Nueva Zelanda.
- Blanca J, Prohens J, Anderson G, Zuriaga E, Cañizares J, Nuez F (2007). AFLP and DNA sequence variation in an Andean domesticate pepino (*Solanum muricatum*, *Solanaceae*): Implications for evolution and domestication. *Am J Bot* 94:1219-1229.
- Blank RH, Dance HM, Hampton RE, Olson MH, Holland PT (1987). Tamarillo (*Cyphomandra betacea*): effect of field-applied fungicides and post-harvest fungicide dips on storage rots of fruit. *New Zeal J Exp Agr* 15: 191-198.
- Blank RH, Dawson TE, Richardson AC (1991). A comparison of buprofezin and deltamethrin/oil for control of greenhouse whitefly on tamarillo. *Proc. 44th New Zeal Weed and Pest Control Conf*: 237-241.
- Blank RH, Olson MH, Bell DS (1983). Screening insecticides to protect tamarillo against grass grub adults. *Proc. 36th New Zeal Weed Pest Control Conf*: 111-115.
- Bohs L (1989a). Ethnobotany of the genus *Cyphomandra* (*Solanaceae*). *Econ Bot* 43:143-163.
- Bohs L (1989b). *Solanum allophyllum* (Miers) Standl. and the generic delimitation of *Cyphomandra* and *Solanum* (*Solanaceae*). *Ann Mo Bot Gard* 76:1129-1140.
- Bohs L (1991). Crossing studies in *Cyphomandra* (*Solanaceae*) and their systematic and evolutionary significance. *Am J Bot* 78:1683-1693.
- Bohs L (1994). *Cyphomandra* (*Solanaceae*). *Flora Neotropica Monogr* 63. The New York Botanical Garden, New York, Estados Unidos, 175 pp.
- Bohs L (1995). Transfer of *Cyphomandra* (*Solanaceae*) and its species to *Solanum*. *Taxon* 44:583-587.
- Bohs L (2001). A revision of *Solanum* section *Cyphomandropsis* (*Solanaceae*). *Syst Bot Monogr* 61:1-85.
- Bohs L (2007). Phylogeny of the *Cyphomandra* clade of the genus *Solanum* (*Solanaceae*) based on ITS sequence data. *Taxon* 56:1012-1026.
- Bohs L, Nelson A (1997). *Solanum maternum* (*Solanaceae*), a new Bolivian relative of the tree tomato. *Novon* 7:341-345.
- Bohs L, Olmstead RG (1997). Phylogenetic relationships in *Solanum* (*Solanaceae*) base on *ndhF* sequences. *Syst Bot* 22:5-17.
- Bohs L, Olmstead RG (2001). A reassessment of *Normania* and *Triguera* (*Solanaceae*). *Plant Syst Evol* 228:33-48.

- Botstein D, White RL, Skolnick M, Davis RW (1980). Construction of a genetic map in man using restriction fragment length polymorphisms. *Am J Hum Genet* 32:314-331.
- Boyes S, Strübi P (1997). Organic acid and sugar composition of three New Zealand grown tamarillo varieties (*Solanum betaceum* (Cav.)). *New Zeal J Crop Hort* 25:79-83.
- Bradshaw JE, Hackett CA, Pande B, Waugh R, Bryan GJ (2008). QTL mapping of yield, agronomic and quality traits in tetraploid potato (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*). *Theor Appl Genet* 116:193-211.
- Bravo L (1998). Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutr Rev* 56:317-333.
- Breithaupt DE, Bamedi A (2001). Carotenoids esters in vegetables and fruits: a screening with emphasis on  $\beta$ -cryptoxanthin esters. *J Agr Food Chem* 49:2064-2070.
- Brewer MT, Moyseenko JB, Monforte AJ, van der Knaap E (2007). Morphological variation in tomato: a comprehensive study of quantitative trait loci controlling fruit shape and development. *J Exp Bot* 58:1339-1349.
- Brown AHD (1995). The core collection at the crossroads. En: Hodgkin T, Brown AHD, Hintum, TJL, Morales EAV (eds). *Core Collections of Plant Genetic Resources*, John Wiley y Sons, Chichester, Reino Unido, pp 3-19.
- Burkill IH (1966). A dictionary of the economic products of the Malay peninsula, 2<sup>a</sup> ed. Govts. of Malaysia and Singapore, Kuala Lumpur, Malasia [citado por Bohs (1989a)].
- Calabrese F, De Michele A, Barone F, Mirto I, Panno M (1995). Comportamento agronomico-qualitativo di cultivar di tamarillo in Sicilia. *Riv Frutticol Ortofloricol* 57:43-46.
- Cañadas L (1993). El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. MAG-PRONAREG, Quito, Ecuador, pp 25-28.
- Carnevali A (1974). Il tamarillo: una nuova possibilità per la frutticoltura meridionale. *Riv Frutticol Ortofloricol* 36 (10/11):31-37.
- Castiglioni P, Ajmone-Marsan P, van Wijk P, Motto M (1999). AFLP markers in a molecular linkage map of maize: codominant scoring and linkage group distribution. *Theor Appl Genet* 99:425-431.
- Cavanilles AJ (1799). Descripción de cinco géneros nuevos y de otras plantas. *Anales Hist Nat* 1:33-45.
- Cazar EA, Saavedra F, Ortega A (1989). Evaluación de cuatro sustratos para enraizamiento de esquejes de tomate de árbol. *Rumipamba* 6:23-40.

## Referencias Bibliográficas

- Cebolla J (2005). Recuperación de variedades tradicionales de tomate y pimiento. Caracterización y mejora genética. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 276 pp.
- Chowdhury AK, Yonemoto Y, Kato H, Macha MM (2005). Classification of some acerola (*Malpighia glabra* Linn.) cultivars using morphometric descriptors and RAPD markers. *Jpn J Trop Agric* 49:255-263.
- CIP (2011). Centro Internacional de la Papa. <http://www.cipotato.org/> [consultado febrero-2011].
- Clark CJ, Richardson AC (2002). Biomass and mineral nutrient partitioning in a developing tamarillo (*Cyphomandra betacea*) crop. *Sci Hortic* 94:41-51.
- Cohen D, van den Brink RC, MacDiarmid RM, Beck DL, Forster RLS (2000). Resistance to tamarillo mosaic virus in transgenic tamarillos and expression of the transgenes in F1 progeny. *Acta Hortic* 521:43-50.
- Colin K, Laliberte B, Guarino L (2010). Trends in *ex situ* conservation of plant genetic resources: a review of global crop and regional conservation strategies. *Genet Resour Crop Ev* 57:625–639.
- Cooper KM, Grandinson GS (1987). Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on infection of tamarillo (*Cyphomandra betacea*) by *Meloidogyne incognita* in fumigated soil. *Plant Dis* 71:1101-1106.
- Cooper M, Podlich DW, Micallef KP, Smith OS, Jensen NM, Chapman SC, Kruger NL (2002). Complexity, quantitative traits and plant breeding: a role for simulation modelling in the genetic improvement of crops. En: Kang MS (ed). *Quantitative genetics, genomics and plant breeding*. CABI Publishing, Wallingford, Reino Unido, pp 143-166.
- Crisci J, López M (1983). Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. *Monogr Cient OEA, ser Biología*, 26. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, Estados Unidos, 132 pp.
- Cruden RW (1977). Pollen-ovule ratios: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants. *Evolution* 31:32-46.
- Cruden RW (2000). Pollen grains: why so many?. *Plant Syst Evol* 222:143-165.
- Cubero JI (2003). Introducción a la mejora genética vegetal, 2ª ed. Mundi-Prensa, Madrid, España, 567 pp.
- Dabholkar AR (1999). *Elements of biometrical genetics*. Concept Publishing Co, New Delhi, India, 501 pp.
- D'Arcy WG (1972). Solanaceae studies II. Typification of subdivisions of *Solanum*. *Ann Mo Bot Gard* 59:262-278.

- D'Arcy WG (1991). The Solanaceae since 1976, with a review of its biogeography. En: Hawksws JG, Lester RN, Nee M, Estrada N (eds). Solanaceae III: taxonomy, chemistry, evolution. Royal Botanic Gardens, Kew, Reino Unido, pp 75-137.
- Darrigues A, Hall J, van der Knaap E, Francis D (2008). Tomato analyzer-color test: A new tool for efficient digital phenotyping. J Am Hortic Sci 133:579–586.
- Daunay MC (2008). Eggplant. En: Prohens J, Nuez F (eds). Vegetables II. Springer, New York, Estados Unidos, pp 163-220.
- Daunay MC, Lester RN, Ano G (2001). Eggplant. En: Charrier A, Jacquot M, Hamon S, Nicolas D (eds). Tropical plant breeding. CIRAD, SciencePublishers Inc, Enfield, Estados Unidos & Plymouth, Reino Unido, pp 199-221.
- De Rosso VV, Mercadante AZ (2007). HPLC-PDA-MS/MS of anthocyanins and carotenoids from dovyalis and tamarillo fruits. J Agr Food Chem 55:9135-9141.
- de Vicente MC, Guzmán FA, Engels J, Rao VR (2006). Genetic characterization and its use in decision making for the conservation of crop germplasm. En: Ruane J, Sonnino A (eds). The role of biotechnology in exploring and protecting agricultural genetic resources. FAO, Rome, Italia, pp 121-128.
- Dice LR (1945). Measures of the amount of ecological association between species. Ecology 26:297-302.
- Doganlar S, Frary A, Daunay MC, Lester RN, Tanksley SD (2002). Conservation of gene function in the Solanaceae as revealed by comparative mapping of domestication traits in eggplant. Genetics 161:1713–1726.
- Doyle JJ, Doyle JL (1987). A rapid isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. Phytochem Bull 19:11-15.
- Dudley JW, Moll RH (1969). Interpretation and use of estimates of heritability and genetic variances in plant breeding. Crop Sci 9:257-262.
- Duke JA, duCellier JL (1993). Handbook of alternative cash crops. CRC Press. Boca Raton, Estados Unidos [citado por Prohens & Nuez (2000)].
- Dunal MF (1816). Solanorum generumque affinium synopsis, 2<sup>a</sup> ed., Renaud, Montpellier, Francia [citado por Bohs (1989a)].
- Eagles RM, Gardner RC, Forster RLS (1994). Incidence and distribution of six viruses infecting tamarillo (*Cyphomandra betacea*) in New Zealand. New Zeal J Crop Hort 22:453-458.
- Eich E (2008). Solanaceae and Convolvulaceae - Secondary metabolites: biosynthesis, chemotaxonomy, biological and economic significance. A handbook. Springer-Verlag, Berlin, Alemania.

## Referencias Bibliográficas

- El-Zeftawi BM, Brohier L, Dooley L, Goubran FH, Holmes R, Scott B (1988). Some maturity indices for tamarillo and pepino fruits. *J Hortic Sci* 63:163-169.
- Enciso-Rodríguez F, Martínez R, Lobo M, Barrero LS (2010). Genetic variation in the Solanaceae fruit bearing species lulo and tree tomato revealed by Conserved Ortholog (COSII) markers. *Genet Molec Biol* 33: 271-278.
- Engels JMM, Visser L (2003). A guide to effective management of germplasm collections. IPGRI Handbooks for Genebanks, No. 6. IPGRI, Roma, Italia, 165 pp.
- Esfahani ST, Shiran B, Balali G (2009). AFLP markers for the assessment of genetic diversity in European and North American potato varieties cultivated in Iran. *Crop Breed Appl Biotechnol* 9:75-86.
- Esquinas-Alcázar J, Nuez F (1995). Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. En: Nuez F (ed). *El cultivo del tomate*. Mundi-Prensa, Madrid, España, pp 13-42.
- Evans WC (1979). Tropane alkaloids of the Solanaceae. En: Hawkes JG, Lester RN, Shelding AD (eds). *The biology and taxonomy of the Solanaceae*. Linnean Soc Symp Ser 7:241-254. Linnean Society & Academic Press, London, Reino Unido.
- Evans WC, Ghani A, Woolley VA (1972). Alkaloids of *Cyphomandra betacea* Sendt. *J Chem Soc* 1:2017-2019.
- FAO (2011). Base de datos estadísticos, FAOSTAT, dirección de estadística 2009. <http://faostat.fao.org> [consultado febrero-2011].
- Feicán C, Encalada C, Larriva W (1999). El cultivo del tomate de árbol. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP, Cooperación Técnica del Gobierno Suizo, Estación Experimental Chuquipata. Programa de Fruticultura, Ecuador, 46 pp.
- Fisch MB (1974). The tree tomato. En: 1974 California Rare Fruit Growers Yearbook, pp 269-309 [citado por Bohs (1989a)].
- Fischer G (2000). Ecophysiological aspects of fruit growing in tropical highlands. *Acta Hortic* 531:91-98.
- Fisher G, Ludders T, Ludders P (1994). Die Baumtomate (*Cyphomandra betaceae*)-eine alte Obstart des tropischen Hochlandes mit neuen Perspektiven. *Erwerbs-Obstbau* 36:74-78.
- Fletcher WA (1979). Growing tamarillos. *Bull New Zeal Minist Agric & Fish* 307:1-27.
- Foreign Agricultural Service / USDA (2007). World markets and trade: tomatoes and tomatoes products. United States Department of Agriculture, 6 pp, [http://www.fas.usda.gov/htp/2007%20Tomato%20article\\_08-24-07.pdf](http://www.fas.usda.gov/htp/2007%20Tomato%20article_08-24-07.pdf) [consultado febrero-2011].

- Fos M, Nuez F, García-Martínez JL (2000). The gene *pat-2*, which induces natural parthenocarpy, alters the giberellin content in unpollinated tomato ovaries. *Plant Physiol* 122:471-479.
- Frary A, Doganlar S, Daunay MC, Tanksley SD (2003). QTL analysis of morphological traits in eggplant and implications for conservation of gene function during evolution of solanaceous species. *Theor Appl Genet* 107:359-370.
- FreshFacts (2007). HortResearch – The Horticulture & Food Research Institute of New Zealand Ltd. Mt Albert, Auckland, Nueva Zelanda, pp 1-33.
- Frodin DG (2004). History and concepts of big plant genera. *Taxon* 53:753-776.
- Fulton TM, van der Hoeven R, Eanneta NT, Tanksley SD (2002). Identification, analysis, and utilization of conserved ortholog set markers for comparative genomics in higher plants. *Plant Cell* 14:1457-1467.
- Furini A, Wunder J (2004). Analysis of eggplant (*Solanum melongena*)-related germplasm: morphological and AFLP data contribute to phylogenetic interpretations and germplasm utilization. *Theor Appl Genet* 108:197-208.
- García-Martínez S, Andreani L, García-Gusano M, Geuna F, Ruiz JJ (2006). Evaluation of amplified fragment length polymorphism and simple sequence repeats for tomato germplasm fingerprinting: utility for grouping closely related traditional cultivars. *Genome* 49:648-656.
- García-Mas J, Graziano E, Aranzana MJ, Marc A, Ballester J, Viruel MA, Arús P (2000). Marcadores de ADN: Concepto, tipos, protocolos. En: Nuez F, Carrillo JM. (eds). Los marcadores genéticos en la mejora vegetal. Sociedad Española de Genética, Sociedad Española de Ciencias Hortícolas, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, pp 91-151.
- Geleta LF, Labuschagne MT, Viljoen CD (2005). Genetic variability in pepper (*Capsicum annuum* L.) estimated by morphological data and amplified fragment length polymorphism markers. *Biodivers Conserv* 14:2361-2375.
- Geleta N, Labuschagne MT, Viljoen CD (2006). Genetic diversity analysis in sorghum germplasm as estimated by AFLP, SSR and morpho-agronomical markers. *Biodivers Conserv* 15:3251-3265.
- Ghislain M, Zhang D, Fajardo D, Huamán Z, Hijmans RJ (1999). Marker-assisted sampling of the cultivated Andean potato *Solanum phureja* collection using RAPD markers. *Genet Resour Crop Ev* 46:547-555.
- Goncharova NN, Vojtekhovich AI (2007). Use of various inbred lines in potato breeding for heterosis. *Kartofelevodstvo (Belarus)* 12:211-223.

## Referencias Bibliográficas

- González-Andrés F (2001). La caracterización vegetal: objetivos y enfoques. En: González-Andrés F, Pita Villamil JM (eds). Conservación y caracterización de recursos fitogenéticos. INEA, Valladolid, España, pp 190-198.
- Gonzalo MJ, Talbot M, Anderson C, Sullivan D, Gray S, van der Knaap E (2009). Tomato fruit shape analysis using morphometric and morphology attributes implemented in Tomato Analyzer software program. *J Am Soc Hortic Sci* 134:77-87.
- Gorguet B, van Heusden AW, Lindhout P (2005). Parthenocarpic fruit development in tomato. *Plant Biol* 7:131-139.
- Gotor E, Alercia A, Ramanatha V, Watts J, Caracciolo F (2008). The scientific information activity of Bioversity International: the descriptor lists. *Genet Resour Crop Ev* 55:757–772.
- Grillo O, Mattana E, Venora G, Bacchetta G (2010). Statistical seed classifiers of 10 plant families representative of the Mediterranean vascular flora. *Seed Sci Technol* 38(2): 455-476.
- Guenther JF (2001). The international potato industry. Woodhead Publishing Limited, Cammbridge, Reino Unido, 312pp.
- Hagidimitriou M, Katsiotis A, Menexes G, Pontikis C, Loukas M (2005). Genetic diversity of major Greek olive cultivars using molecular (AFLPs and RAPDs) markers and morphological traits. *J Am Soc Hortic Sci* 130:211-217.
- Hair JF, Anderson RE, Black WC (1992). Multivariate data analysis. McMillan Publ. Co. New York, Estados Unidos, 544 pp.
- Hakan U (2009). The evolution of cultivated plant species: classical plant breeding versus genetic engineering. *Plant Syst Evol* 280:133–142.
- Hallam D, Liu P, Lavers G, Pilkauskas P, Rapsomanikis G, Claro J (2004). The market for non-traditional agricultural exports. FAO Comnod Trade Techn Paper 3. FAO, Rome, Italia, 181 pp.
- Hammer K, Arrowsmith N, Gladis T (2003). Agrobiodiversity with emphasis on plant genetic resources. *Naturwissenschaften* 90:241-250.
- Hanson PM, Yang RY, Tsou SCS, Ledesma D, Engle L, Lee TC (2006). Diversity in eggplant (*Solanum melongena*) for superoxide scavenging activity, total phenolics, and ascorbic acid. *J Food Compos Anal* 19:594-600.
- Harlan JR (1992). Crops and man, 2ª ed. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Madison, Estados Unidos.
- Harman JE, Patterson KJ (1982). Kiwifruit, tamarillos and feijoas. Maturity and storage. AgLink HPP 103. Media Services, New Zealand Ministry of Agriculture and Fisheries, Wellington, Nueva Zelanda.

- Hawkes JG (1990). The potato: evolution, biodiversity and genetic resources. Belhaven Press, London, Reino Unido, 259 pp.
- Hawkes JG, Lester RN, Shelding AD (1979). The biology and taxonomy of the Solanaceae. Linnean Soc Symp Ser 7, Linnean Society & Academic Press, London, Reino Unido, 738 pp.
- Heatherbell DA, Reid MS, Wrolstad RE (1982). The tamarillo: chemical composition during growth and maturation. New Zeal J Sci 25: 239-243.
- Heiser CB (1969). Nighthshades: the paradoxical plants. W.H. Freeman, San Francisco, Estados Unidos.
- Hernández-Bermejo JE, León J (1992). Cultivos marginados, otra perspectiva de 1492. Col. FAO: Prod Prot Veg 26. FAO, Roma, Italia, 339 pp.
- Heywood VH (1978). Flowering plants of the world. OUP, Oxford, Reino Unido.
- Hidalgo R (2003). Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. En Franco TL, Hidalgo R (eds). Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Bol Técn IPGRI 8, IPGRI, Cali, Colombia, pp 2-26.
- Hiern WP (1898). Catalogue of the African plants collected by Dr. Friedrich Welwitsch in 1853-61, Part 3. Longman's and Co., London, Reino Unido [citado por Bohs (1989a)].
- Hijmans RJ, Gavrilenko T, Stephenson S, Bamberg J, Salas A, Spooner DM (2007). Geographical and environmental range expansion through polyploidy in wild potatoes (*Solanum* section *Petota*). Global Ecol Biogeogr 16:485-495.
- Hijmans RJ, Spooner DM (2001). Geographic distribution of wild potato species. Am J Bot 88:2102-2112.
- Hilge L (1996). Metodologías para el estudio y manejo de moscas blancas y geminivirus. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 133 pp.
- Hillis DM (1987). Molecular versus morphological approaches to systematics. Annu Rev Ecol Syst 18:23-42.
- Hochberg Y (1988). A sharper Bonferroni procedure for multiple tests of significance. Biometrika 75:800-803.
- Holdridge LR (1967). Life zone ecology. Tropical Science Center, San José, Costa Rica, 149 pp.
- Holland JB, Nyquist WE, Cervantes-Martínez CT (2003). Estimating and interpreting heritability for plant breeding: an update. Plant Breed Rev 22:9-111.

## Referencias Bibliográficas

- Hollman PCH, Hertog MGL, Katan MB (1996). Analysis and health effects of flavonoids. *Food Chem* 57:43-46.
- Hooker JD (1899). *Cyphomandra betacea*. *Bot Mag III*, 60:Tab. 7682 [citado por Bohs (1989a)].
- Huamán Z, Spooner DM (2002). Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. *Petota*). *Am J Bot* 89:947-965.
- Hume EP, Winters HF (1948). Tomatoes from a tree. *Foreign Agric* 12:121-122. [citado por Bohs (1989a)].
- Hurtado NH, Morales AL, González-Miret ML, Escudero-Gilete ML, Heredia FJ (2009). Colour, pH stability and antioxidant activity of anthocyanin rutinosides isolated from tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chem* 117:88-93.
- IBPGR (1990). Descriptors for eggplant. International Board for Plant Genetic Resources, Rome, Italia.
- Ikeda T, Yakushiji H, Oda M, Taji A, Imada S (1999). Growth dependence of ovaries of facultatively parthenocarpic eggplant in vitro on indole-3-acetic acid content. *Sci Hortic-Amstredam* 79:143-150.
- Illangakoon TK, Bandara DC, Fonseca H (2004). Evaluation of physio-agronomic and chemical traits in relation to the productivity of eggplants (*Solanum melongena* L.). *Trop Agric Res* 16:14-24.
- IPGRI (1996). Descriptors for tomato (*Lycopersicon* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italia.
- IPGRI (2004). Descriptors for pepino (*Solanum muricatum*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italia.
- IPGRI, Cornell University (2003). Tecnologías de marcadores moleculares para estudios de diversidad genética de plantas: Módulo de aprendizaje. Tecnologías basadas en el ADN. Tecnologías basadas en la relación en cadena de la polimerasa (PCR). Polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados (AFLP). [ftp://ciat.cgiar.org/ipgri/MAARTEN\\_VAN\\_ZONNEVELD/Manual%20y%20datos%20curso%20SIG/Literatura%20adicional/Publicaciones%20Bioversity/CDs/MolMarkVol1&2Esp/Vol1/AFLP.pdf](ftp://ciat.cgiar.org/ipgri/MAARTEN_VAN_ZONNEVELD/Manual%20y%20datos%20curso%20SIG/Literatura%20adicional/Publicaciones%20Bioversity/CDs/MolMarkVol1&2Esp/Vol1/AFLP.pdf) [consultado febrero-2011].
- Jackson D, Looney N (1999). Producing and marketing quality fruit. En: Jackson D, Looney N (eds). *Temperate and subtropical fruit production*. CABI, Wallingford, Reino Unido, pp 85-108.

- Jones CJ, Edwards KJ, Castiglione S, Winfield WO, Sala F, van de Wiel C, Bredemeijer G, Vosman B, Matthes M, Daly A, Brettschneider R, Bettini P, Buiatti M, Maestri B, Malcevschi A, Marmioli N, Aert R, Volckaert G, Rueda J, Linacero R, Vázquez A, Karp A (1997). Reproducibility testing of RAPD, AFLP and SSR markers in plants by a network of European laboratories. *Mol Breeding* 3:381-390.
- Judd M, McAneney J (1981). Tamarillo production under irrigation. *Wispa* (a newsletter about water in the soil-plant-atmosphere system) 18. Nueva Zelanda.
- Kang MS (1998). Using genotype by environmental interaction for crop cultivar development. *Adv Agron* 62:199-252.
- Kardolus JP, van Eck HJ, van den Verg RG (1998). The potential of AFLPs in biosystematics: a first application in *Solanum* taxonomy (Solanaceae). *Plant Syst Evol* 210:87-103.
- Khan R (1979) *Solanum melongena* and its ancestral forms. The biology and taxonomy of the Solanaceae. En: Hawkes JG, Lester RN, Shelding AD (eds). The biology and taxonomy of the Solanaceae. *Linnean Soc Symp Ser* 7:629-635. Linnean Society & Academic Press, London, Reino Unido.
- Kimura M, Rodríguez-Amaya DB, Yokoyama SM (1991). Cultivar differences and geographic effects on the carotenoid composition and vitamin A value of papaya. *Lebensm-Wiss Technol* 24:415-418.
- Kirkham MB (2005). Principles of soil and plant water relations. Elsevier Academic Press, Burlington, Estados Unidos, 500 pp.
- Knapp S (2002). Tobacco to tomatoes: a phylogenetic perspective on fruit diversity in the Solanaceae. *J Exp Bot* 53:2001-2022.
- Knapp S (2007). Lectotypification of Cavanilles' names in *Solanum* (Solanaceae). *Anales Jard Bot Madrid* 64:195-203.
- Knapp S, Bohs L, Nee M, Spooner DM (2004). Solanaceae – a model for linking genomics with biodiversity. *Comp Funct Genom* 5:285-291.
- Knight KWL (2001). Plant parasitic nematodes associated with six subtropical crops in New Zealand. *New Zeal J Crop Hort* 29: 267-275.
- Kwon YS, Park SG, Yi SI (2009). Assessment of genetic variation among commercial tomato (*Solanum lycopersicum* L.) varieties using SSR markers and morphological characteristics. *Genes Genom* 31:1-10.
- Lanteri S, Acquadro A, Quagliotti L, Portis E (2003). RAPD and AFLP assessment of genetic variation in a landrace of pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in North-West Italy. *Genet Resour Crop Ev* 50:723-735.

## Referencias Bibliográficas

- León J (2000). Botánica de los cultivos tropicales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Col Libros Mater Educ 84, San José, Costa Rica, 525 pp.
- León J (2002). Estudio pomológico de cinco cultivares de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) en dos estados de cosecha y tres períodos de almacenamiento. Tesis Ing. Agr., Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito, Ecuador, 100 pp.
- León J, Viteri P (2003). Generación y difusión de alternativas tecnológicas para mejorar la productividad de tomate de árbol y babaco, en la sierra ecuatoriana. INIAP-PROMSA, Quito, Ecuador, 138 pp.
- León J, Viteri P, Cevallos G (2004). Manual del cultivo de tomate de árbol (Manual No.61). Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, Programa de Fruticultura, Granja Experimental Tumbaco, Quito, Ecuador, 51 pp.
- Lester P, Baring CW, Longson CG, Hartley S (2003). Argentine and other ants (Hymenoptera: Formicidae) in New Zealand horticultural ecosystems: distribution, hemipteran hosts, and review. *New Zeal Entomol* 26: 79-89.
- Lester RN, Hasan SMZ (1991). Origin and domestication of the brinjal eggplant, *Solanum melongena*, from *S. incanum*, in Africa and Asia. En: Hawkes JG, Lester RN, Shelding AD (eds). *The biology and taxonomy of the Solanaceae*. *Linnean Soc Symp Ser* 7:369-387. Linnean Society & Academic Press, London, Reino Unido.
- Lester RN, Hawkes JG (2001). Solanaceae. En: Hanelt P, Institute of Plant Genetics and Crop Research (eds). *Mansfeld's encyclopedia of agricultural and horticultural crops (except ornamentals)* 4:1790–1856, Springer, Berlin, Alemania.
- Lewis DH (1985). Pollination and fruit set in the tamarillo, *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. M.Sc. thesis, University of Auckland, Auckland, Nueva Zelanda [citado por Bohs (1989a)].
- Lewis DH, Considine JA (1999a). Pollination and fruit set in the tamarillo (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt.) 1. Floral biology. *New Zeal J Crop Hort* 27:101-112.
- Lewis DH, Considine JA (1999b). Pollination and fruit set in the tamarillo (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt.) 2. Patterns of flowering and fruit set. *New Zeal J Crop Hort* 27:113-123.
- Lewis RS, Milla SR, Kernodle SP (2007). Analysis of an introgressed *Nicotiana tomentososa* genomic region affecting leaf number and correlated traits in *Nicotiana tabacum*. *Theor Appl Genet* 114:841-854.

- Li XQ, Scalon MG, Liu Q, Coleman WK (2006). Processing and value addition. En: Gopal J, Paul SM (eds). Handbook of potato production, improvement, and postharvest management. Food Products Press, New York, Estados Unidos, pp 523-556.
- Liao Y, Sun BJ, Sun GW, Liu HG, Li ZL, Li ZX, Wang GP, Chen RY (2009). AFLP and SCAR markers associated with peel color in eggplant (*Solanum melongena*). *Agr Sci China* 8:1466-1474.
- Lipecki J, Janisz A, Sienkiewicz P (2004). Mulching and nitrogen fertilization in a prune orchard. *J Fruit Ornament Plant Res* 12:133-138.
- Lister CE, Morrison SC, Kerkhofs NS, Wright KM (2005). The nutritional composition and health benefits of New Zealand tamarillos. Crop & Food Research Confidential Report No.1281, New Zealand Institute for Crop & Food Research Limited, Lincoln, Nueva Zelanda, 28 pp.
- Liu XZ, Zhang HY (2008). Advance of molecular marker application in the tobacco research. *Afr J Biotechnol* 7:4827-483.
- Lu AM (1986). Solanaceae in China. En D'Arcy WGD (ed). Solanaceae: biology and systematic. Columbia University Press, New York, Estados Unidos, pp 79-85 [citado por Bohs (1989a)].
- Lund B (2002). Repatriation of Nordic barley germplasm. PhD thesis. The Royal Veterinary and Agricultural University, Department of Agricultural Sciences, Section of Plant Breeding and Crop Science, Copenhagen, Dinamarca.
- Maiden JH (1894). The tree tomato (Cy. Betacea Sendtn.) *Agric. Gaz. New South Wales* 5:214-217 [citado por Bohs (1989a)].
- Mantel N (1967). The detection of disease clustering and generalized regression approach. *Cancer Res* 27:209-220.
- Martínez A (2001). Estudio de la condición nutricional en cuatro provincias (Imbabura, Pichincha, Tungurahua y Azuay) y caracterización del sistema radicular del tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). Tesis Ing. Agr., Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito, Ecuador, 90 pp.
- Martins TR, Barkman TJ (2005). Reconstruction of Solanaceae phylogeny using the nuclear gene SAMT. *Syst Bot* 30(2):435-447.
- Mazzucato A, Papa R, Bitocchi E, Mosconi P, Nanni L, Negri V, Picarella ME, Siligato F, Soressi GP, Tiranti B, Veronesi F (2008). Genetic diversity, structure and marker-trait associations in a collection of Italian tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Theor Appl Genet* 116:657-669.

## Referencias Bibliográficas

- McGregor CE, Lambert CA, Greyling MM, Louw JH, Warnich L (2000). A comparative assessment of DNA fingerprinting techniques (RAPD, ISSR, AFLP and SSR) in tetraploid potato (*Solanum tuberosum* L.) germplasm. *Euphytica* 113:135-144.
- Mei-Chun K, Jui-Hung Y, Jing-Ting H, Chia-Ling W, Chia-Wei L, Ming-Jiuan W (2009). *Cyphomandra betacea* Sendt. Phenolics protect LDL from oxidation and PC12 cells from oxidative stress. *LWT-Food Sci Technol* 42:458-463.
- Mertz C, Brat P, Caris-Veyrat C, Günata Z (2010). Characterization and thermal lability of carotenoids and vitamin C of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *Food Chem* 119:653-659.
- Mertz C, Gancel AL, Günata Z, Alter P, Dhuique-Mayer C, Vaillant F, Pérez AM, Ruales J, Brat P (2009). Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity of three tropical fruits. *J Food Compos Anal* 22:381-387.
- Mesa V, Mideros M, Jaramillo-Villegas S, Cotes-Torres J, Lagos L, Pineda R, Martín M (2008). Variabilidad genética de aislamientos de *Phytophthora infestans* procedentes del suroeste de Colombia. *Rev Iberoam Micol* 25:167-172.
- Meza N, Manzano-Méndez J (2009). Características del fruto de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* [Cav.] Sendtn) basadas en la coloración del arilo, en la zona andina venezolana. *Revista UDO Agrícola* 9(2):289-294.
- Miers J (1845). Contributions to the botany of South America. London. *Bot* 4:319-371 [citado por Bohs (1989a)].
- Mohammadi SA, Prasanna BM (2003). Analysis of genetic diversity in crop plants – Salient statistical tools and considerations. *Crop Sci* 43:1235-1248.
- Moon HS, Nicholson JS, Heineman A, Lion K, van der Hoeven R, Hayes AJ, Lewis RS (2009). Changes in genetic diversity of U.S. flue-cured tobacco germplasm over seven decades of cultivar development. *Crop Sci* 49:498-508.
- Morales J (2001). Diagnóstico agro socio-económico del cultivo del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt.) en cuatro provincias de la sierra ecuatoriana. Tesis Ing. Agr., Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito, Ecuador, 91 pp.
- Morley-Bunker M (1999). Subtropical fruit: tamarillo. En: Jackson D, Looney N (eds). *Temperate and subtropical fruit production*. CABI, Wallingford, Reino Unido, pp 149-151.
- Morris D (1884). Tree tomato. *Gard. Chron.*, n.s. 21:510 [citado por Bohs (1989a)].
- Morton JF (1982). The tree tomato or “tamarillo”, a fast-growing, early-fruited small tree for subtropical climates. *P Fl State Hortic Soc* 95:81-85.
- Mossop DW (1982). Potato aucuba mosaic virus -- A latent virus of tamarillo (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt.). *New Zeal J Agr Res* 25: 449-453.

- Mueller LA, Solow TH, Taylor N, Skwarecki B, Buels R, Binns J, Lin C, Wright MH, Ahrens R, Wang Y, Herbst EV, Keyder ER, Menda N, Zamir D, Tanksley SD (2005). The SOL Genomics Network. A comparative resource for Solanaceae biology and beyond. *Plant Physiol* 138:1310-1317.
- Mueller UG, Wolfenbarger LL (1999). AFLP genotyping and fingerprinting. *Trends Ecol Evol* 14:389–394.
- Muggleston S (1994). Feijoa and tamarillo cultivars developed by HortResearch. *The Orchardist New Zeal* 67:47-49.
- Muñoz-Falcón J (2009). Caracterización, valorización y mejora genética de variedades tradicionales de berenjena (*Solanum melongena* L.). Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 185 pp.
- Muñoz-Falcón J, Prohens J, Vilanova S, Nuez F (2008a). Characterization, diversity, and relationships of the Spanish striped (*Listada*) eggplants: a model for the enhancement and protection of local heirlooms. *Euphytica* 164:405-419.
- Muñoz-Falcón J, Prohens J, Vilanova S, Nuez F (2009). Diversity in commercial varieties and landraces of black eggplants and implications for broadening the breeders' gene pool. *Ann Appl Biol* 154:453-465.
- Muñoz-Falcón J, Prohens J, Vilanova S, Ribas F, Castro A, Nuez F (2008b). Distinguishing a protected geographical indication vegetable (*Almagro* eggplant) from closely related varieties with selected morphological traits and molecular markers. *J Sci Food Agr* 89:320-328.
- Mwithiga G, Mukolwe MI, Shitanda D, Karanja PN (2007). Evaluation of the effect of ripening on the sensory quality and properties of tamarillo (*Cyphomandra betacea*) fruits. *J Food Eng* 79:117-123.
- National Research Council (1989). Lost crops of the Incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. National Academy Press, Washington, Estados Unidos, 428 pp.
- Natural History Museum (2011). Solanaceae source. *Solanum*. <http://www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/solanaceaesource/solanum/phylogeny.jsp> [consultado marzo-2011].
- Nei M (1973). Analysis of gene diversity in subdivided populations. *P Natl Acad Sci USA* 70:3321-3323. [http://images.isiknowledge.com/WOKRS410B4/help/WOS/P\\_abrvjt.html](http://images.isiknowledge.com/WOKRS410B4/help/WOS/P_abrvjt.html) [consultado noviembre 2010].
- Nei M, Li WH (1979). Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *P Natl Acad Sci USA* 76:5269-5273.
- Nuez F (1995). El cultivo del tomate. Mundi-Prensa, Madrid, España, 793 pp.

## Referencias Bibliográficas

- Nuez F, Carrillo JM (2000). Los marcadores genéticos en la mejora vegetal. Sociedad Española de Genética, Sociedad Española de Ciencias Hortícolas, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 579 pp.
- Nuez F, Gil-Ortega R, Costa J (1996). El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Mundi-Prensa, Madrid, España, 607 pp.
- Nuez F, Prohens J, Blanca JM (2004). Relationships, origin, and diversity of Galápagos tomatoes: Implications for the conservation of natural populations. *Am J Bot* 91:86-99.
- Nunome T, Ishiguro K, Yoshida T, Hirai M (2001). Mapping of fruit shape and color development traits in eggplant (*Solanum melongena* L.) based on RAPD and AFLP markers. *Breeding Sci* 51:19-26.
- Nyquist WE (1991). Estimation of heritability and prediction of selection response in plant populations. *Crit Rev Plant Sci* 10:235-322.
- NZ Tamarillo Export Council Ltd (2010). Export marketing strategy for 2010. New Zealand Horticulture Export Authority, <http://www.hea.co.nz> [consultado febrero-2011].
- Olmstead RG, Palmer J (1992). A chloroplast DNA phylogeny of the Solanaceae: subfamilial relationships and character evolution. *Ann Mo Bot Gard* 79:346-360.
- Olmstead RG, Palmer J (1997). Implications for phylogeny, classification, and biogeography of *Solanum* from cpDNA restriction site variation. *Syst Bot* 22:19-29.
- Ordoñez RM, Cardozo ML, Zampini IC, Isla MI (2010). Evaluation of antioxidant activity and genotoxicity of alcoholic and aqueous beverages and pomace derived from ripe fruits of *Cyphomandra betacea* Sendt. *J Agr Food Chem* 58:331-337.
- Ordoñez RM, Ordoñez AAL, Sayago JE, Nieva-Moreno MI, Isla MI (2006). Antimicrobial activity of glycosidase inhibitory protein isolated from *Cyphomandra betacea* Sendt. *Fruit Peptides* 27:1187-1191.
- Osorio G (1992). Avances en el cultivo de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*). *Acta Hortic* 310:199-205.
- Pantoja L, Pinto NAVD, Lopes C, Gandra R, Dos Santos AS (2009). Caracterização física-química de frutos de duas variedades de tamarilho oriundas do norte de Minas Gerais. *Rev Bras Frutic* 31:916-919.
- Patterson C, Williams DM, Humphries CJ (1993). Congruence between molecular and morphological phylogenies. *Annu Rev Ecol Syst* 24:153-188.

- Pearce K, Lester RN (1979). Chemotaxonomy of the cultivated eggplant - A new look at the taxonomic relationships of *Solanum melongena* L. En: Hawkes JG, Lester RN, Shelding AD (eds). The biology and taxonomy of the Solanaceae. Linnean Soc Symp Ser 7: 615-628. Linnean Society & Academic Press, London, Reino Unido.
- Peña D (2001). Fundamentos de estadística. Alianza Ed., Madrid, España, 683 pp.
- Peralta IE, Spooner DM (2000). Classification of wild tomatoes: a review. *Kurtziana* 28:45-54.
- Peralta IE, Spooner DM, Knapp S (2008). Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; *Solanaceae*). *Syst Bot Monogr* 84. The American Society of Plant Taxonomists, Estados Unidos, 186 pp [citado por Zuriaga *et al.* (2009)].
- Pickersgill B (2007). Domestication of plants in the Americas: Insights from mendelian and molecular genetics. *Ann Bot* 100: 925–940.
- Pileri AM (1989). Il tamarillo. *Riv Frutticol Ortofloricol* 51(11):67-70.
- Pliansinchai U, Teakle DS (1994). Susceptibility of tamarillo to seven plant viruses. *Australian Plant Pathol* 23:25-28.
- Polignano G, Ugenti P, Bisignano V, Della Gatta C (2010). Genetic divergence analysis in eggplant (*Solanum melongena* L.) and allied species. *Genet Resour Crop Ev* 57:171-181.
- Portis E, Nervo G, Cavallanti F, Barchi L, Lanteri S (2006). Multivariate analysis of genetic relationships between Italian pepper landraces. *Crop Sci* 46:2517-2525.
- Powell W, Morgante M, Andre C, Hanafey M, Vogel J, Tingey S, Rafalski A (1996). The comparison of RFLP, RAPD, AFLP and SSR (microsatellite) markers for germplasm analysis. *Mol Breed* 2:225-238.
- Pratt HK, Reid MS (1976). The tamarillo: fruit growth and maturation, ripening, respiration, and the role of ethylene. *J Sci Food Agr* 27: 399-404.
- Pringle G (2010). Tamarillo plant named “Sweeten”. The Horticulture & Food Research Institute of New Zealand Limited, Auckland. United States plant patent application, publication number US 2010/0064398 P1Pub, 3+14 pp.
- Pringle GJ (1991). The cytogenetics of the tamarillo, *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. and its wild relatives. Ph.D. thesis, University of Auckland, Auckland, Nueva Zelanda [citado por Bohs (1994)].
- Pringle GJ, Murray BG (1991a). Interspecific hybridisation involving the tamarillo, *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. (*Solanaceae*). *New Zeal J Crop Hort* 19:103-111.

## Referencias Bibliográficas

- Pringle GJ, Murray BG (1991b). Reproductive biology of the tamarillo, *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. (Solanaceae), and some wild relatives. *New Zeal J Crop Hort* 19:263-273.
- Pringle GJ, Murray BG (1992a). Polyploidy and aneuploidy in the tamarillo, *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. (Solanaceae) I. Spontaneous polyploidy and features of the euploids. *Plant Breeding* 108:132-138.
- Pringle GJ, Murray BG (1992b). Polyploidy and aneuploidy in the tamarillo, *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. (Solanaceae) II. Induction of tetraploidy, interploidy crosses and aneuploidy. *Plant Breeding* 108:139-148.
- Prohens J, Blanca J, Nuez F (2005). Morphological and molecular variation in a collection of eggplants from a secondary center of diversity: Implications for conservation and breeding. *J Am Soc Hortic Sci* 130:54-63.
- Prohens J, Gregory J, Anderson F, Herraiz J, Bernardello G, Santos Guerra A, Crawford D, Nuez F (2007). Genetic diversity and conservation of two endangered eggplant relatives (*Solanum vespertilio* and *S. liddii*) endemic to the Canary Islands. *Genet Resour Crop Ev* 54:451-464.
- Prohens J, Muñoz-Falcón JE, Vilanova S, Nuez F (2008). Use of molecular markers for enhancement of local varieties of vegetables for protected designations of origin and geographical indications, with two cases in eggplant. *Bull UASVM Hortic* 65:16-20.
- Prohens J, Nuez F (1999). Strategies for breeding a new greenhouse crop, the pepino (*Solanum muricatum* Aiton). *Can J Plant Sci* 79:269-275.
- Prohens J, Nuez F (2000). The tamarillo (*Cyphomandra betacea*): a review of a promising small crop. *Small Fruits Rev* 1 (2):43-68.
- Prohens J, Rodríguez-Burruezo A, Nuez F (2004). Breeding Andean Solanaceae fruit crops for adaptation to subtropical climates. *Acta Hortic* 662:129-137.
- Prohens J, Ruiz JJ, Nuez F (1996). Advancing the tamarillo harvest by induced postharvest ripening. *HortScience* 31:109-111.
- Prohens J, Ruiz JJ, Nuez F (1998). The inheritance of parthenocarpy and associated traits in pepino. *J Am Soc Hortic Sci* 123:376-380.
- Raman KV (1985). Transmisión de virus de papa por áfidos. *Boletín de información técnica* 2 (3ª ed, revisada). Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú, 23 pp.
- Ranc L, Muños S, Santoni S, Causse M (2008). A clarified position for *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* in the evolutionary history of tomatoes (Solanaceae). *BMC Plant Biol* 8:130.

- Rao VNM, Rauoof AA (1970). Pollen and pollination studies in tree tomato (*Cyphomandra betacea* Sendt.). J Palynology 6:70-72 [citado por Bohs (1994)].
- Rathore DS (1992). Physico-chemical evaluation of tree-tomato fruits. Prog Hort 24:233-234.
- Ren N, Timko MP (2001). AFLP analysis of genetic polymorphism and evolutionary relationships among cultivated and wild *Nicotiana* species. Genome 44:559-571.
- Richardson A, Dawson T (1994). Tamarillo nutrition. The Orchardist New Zeal 67:50-53.
- Richardson A, Patterson K (1993). Tamarillo growth and management. The Orchardist New Zeal 66:33-35.
- Rick CM (1956). Genetic and systematic studies on accessions of *Lycopersicon* from Galápagos islands. Am J Bot 43:687-696 [citado por Nuez *et al.* (2004)].
- Rick CM (1982). The potential of exotic germplasm for tomato improvement. En: Vasil IK, Scowcroft WR, Frey KJ (eds). Plant improvement and somatic cell genetics. Academic Press Inc., New York, Estados Unidos, pp 1-28.
- Rick CM, Holle M (1990). Andean *Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*: genetic variation and its evolutionary significance. Econ Bot 44:69-78.
- Rodríguez-Amaya DB (1999). Latin American food sources of carotenoids. Arch Latinoam Nutr 49:74-84.
- Rodríguez-Burruezo, A, Prohens, J, Nuez, F. (2004a). La berenjena escarlata y la berenjena gboma de origen africano. Vida Rural, 189:36-40.
- Rodríguez-Burruezo A, Prohens J, Nuez F (2004b). Valencia: A new pepino (*Solanum muricatum*) cultivar with improved fruit quality. HortScience 39:1500-1502.
- Rodríguez-Burruezo A, Prohens J, Nuez F (2008). Performance of hybrids between local varieties of eggplant (*Solanum melongena*) and its relation to the mean of parents and to morphological and genetic distances among parents. Eur J Hortic Sci 73:76.83.
- Rohlf FJ (1996). NTSYS-pc: numerical taxonomy and multivariate system, vers. 2.0. Exeter Software. Setauket, New York, Estados Unidos.
- Roig Mesa JT (1953). Diccionario botánico de nombres vulgares cubanos, 2ª ed. vol. 2. Seoane, Fernandez y Cia., La Habana, Cuba [citado por Bohs (1989a)].
- Romero-Rodríguez MA, Vázquez-Oderiz ML, López-Hernández J, Simal-Lozano J (1994). Composition of babaco, feijoa, passion-fruit and tamarillo produced in Galicia (NW Spain). Food Chem 49:251-255.

## Referencias Bibliográficas

- Roos JJ, Reid JB, Weller JL, Symons GM (2005). Shoot architecture I: Regulation of stem length. En: Turnbull CGN (ed) Plant architecture and its manipulation, Blackwell Publishing, Oxford, Reino Unido, pp 57-91.
- Rotundo A, Raffone C, Rotundo S (1981). Una prova di coltura del tamarillo in Campania. Riv Frutticol Ortofloricol 43:41-46.
- Sacks EJ, Clair DA (1998). Variation among seven genotypes of *Lycopersicon esculentum* and 36 accessions of *L. hirsutum* for interspecific crossability. Euphytica 101:185-191.
- Sale PR (1983a) Tamarillos: orchard management. New Zealand Ministry of Agriculture and Fisheries, Aglink HPP 297, 4 pp.
- Sale PR (1983b). Tamarillos: pests and diseases. Aglink Horticultural Production and Practice, New Zealand Ministry of Agriculture and Fisheries, Wellington, Nueva Zelanda, Aglink Hpp 298, 4 pp.
- Sale PR (1987). Whitefly – a recent plague in tamarillos. The Orchardist New Zeal 60: 211-213.
- Sánchez-Vega I (1992). Frutales Andinos. En: Hernández-Bermejo JE, León J (eds). Cultivos marginados, otra perspectiva de 1492. Col FAO: Prod Prot Veg 26. FAO, Roma, Italia, pp 179-189.
- Sánchez A, López J, Salazar J, Fiallos V (1996). Manejo integral del cultivo de tomate de árbol. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Quito, Ecuador, 29 pp.
- Sanford JC, Hanneman RE (1982). A possible heterotic threshold in the potato and its implications for breeding. Theor Appl Genet 61:151-159.
- Santillán S (2001). Manual del cultivo sustentable de tomate de árbol. Universidad de Cuenca, Uediciones, Cuenca, Ecuador, 53 pp.
- Schippers RR (2000). African indigenous vegetables: an overview of the cultivated species. Natural Resources Institute, Chatham, Reino Unido, 214 pp.
- Schmid M, Davison TS, Henz SR, Pape UJ, Demar M, Vingron M, Schölkopf B, Weigel D, Lohmann JU (2005). A gene expression map of *Arabidopsis thaliana* development. Nat Genet 37:501-506.
- Sierra R (1999). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación del Ecuador continental, 2ª impr. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia, Quito, Ecuador, 32 pp.
- Sifres A, Blanca J, Nuez F (2011). Pattern of genetic variability of *Solanum habrochaites* in its natural area of distribution. Genet Resour Crop Ev 58:347–360.
- Silvertown JW (1981). Seed size, life span and germination date as coadapted features of plant life history. Am Nat 118:860-864.

- Siva K, Madhav MS, Sharma RK, Murthy TKG, Mohapatra T (2008). Genetic polymorphism of Indian tobacco types as revealed by amplified fragment length polymorphism. *Curr Sci India* 94:633-639.
- Sneath PHA, Sokal RR (1973). *Numerical taxonomy*, 2<sup>a</sup> ed. WH Freeman, San Francisco, Estados Unidos.
- Soller M, Beckmann J (1983). Genetic polymorphism in varietal identification and genetic improvement. *Theor Appl Genet* 67:25-33.
- Spooner DM, Anderson GJ, Jansen RK (1993). Chloroplast DNA evidence for the interrelationships of tomatoes, potatoes, and pepinos (*Solanaceae*). *Am J Bot* 80:676-688.
- Spooner DM, Hetterscheid WLA (2005). Origin, evolution, and group classification of cultivated potatoes. En: Motley TJ, Zerega N, Cross H (eds). *Darwin's harvest: new approaches to the origins, evolution, and conservation of crops*. Columbia University Press, New York, Estados Unidos, pp 285-306.
- Spooner DM, Hetterscheid WLA, van den Berg RG, Brandenburg WA (2003). Plant nomenclature and taxonomy - an horticultural and agronomic perspective. *Hortic Rev* 28:1-60.
- Spooner DM, Salas A (2006). Structure, biosystematics, and genetic resources. En: Gopal J, Paul SM (eds). *Handbook of potato production, improvement, and postharvest management*. Food Products Press, New York, Estados Unidos, pp 1-40.
- Spooner DM, van Treuren R, de Vicente MC (2005). Molecular markers for gene bank management. *IPGRI Techn Bull* 10. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italia, 126 pp.
- Stangeland T, Remberg SF, Lye KA (2009). Total antioxidant activity in 35 Ugandan fruits and vegetables. *Food Chem* 113:85-91.
- Stevens PF (2008). *Angiosperm Phylogeny Website*. Version 9 [more or less continuously updated]. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/> [consultado febrero-2011].
- Sudré CP, Gonçalves LSA, Rodrigues R, Amaral Júnior AT, Riva-Souza EM, Bento C (2010). Genetic variability in domesticated *Capsicum* spp assessed by morphological and agronomic data in mixed statistical analysis. *Genet Mol Res* 9:283-294.
- Sulmon C, Gouesbet G, Couee I, Cabello-Hurtado F, Cavalier A, Penno C, Zaka R, Bechtold N, Thomas D, El Amrani (2006). The pleiotropic Arabidopsis frd mutation with altered coordination of chloroplast biogenesis, cell size and differentiation, organ size and number. *Gene* 382:88-99.

## Referencias Bibliográficas

- Talbot M, Lang L, Fujimura K, Dujmovic N, Gray S, van der Knaap E (2006). Development of a controlled vocabulary and software application to analyze fruit shape variation in tomato and other plant species. *Plant Physiol* 141:15–25.
- Tamayo PJ (2001). Principales enfermedades del tomate de árbol, la mora y el lulo, en Colombia. CORPOICA, boletín técnico No. 12, 50 pp.
- Tcherkez G (2004). *Flowers. Evolution of the floral architecture of angiosperms*, Science Publishers, Enfield, Estados Unidos, 182 pp.
- Terzopoulos PJ, Bebeli PJ (2010). Phenotypic diversity in Greek tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces. *Sci Hortic-Amsterdam* 126:138-144.
- The NSF potato genome project (2011). Potato as a plant model. <http://potatogenome.berkeley.edu/nsf5/> [consultado febrero-2011].
- Thies E (2000). Promising and underutilized species, crops and breeds. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn, Alemania, 23 pp.
- Torres M, Moreno S (2001). Caracterización mediante marcadores moleculares basados en ADN. En: González-Andrés F, Pita Villamil JM (eds). Conservación y caracterización de recursos fitogenéticos. INEA, Valladolid, España, pp 235-252.
- Towle MA (1961). *The ethnobotany of pre-Columbian Peru*. Aldine, Chicago, Estados Unidos, 180 pp.
- Turnbull CGN (2005). Shoot architecture II: Control of branching. En: Turnbull CGN (ed) *Plant architecture and its manipulation*, Blackwell Publishing, Oxford, Reino Unido, pp 92-120.
- UTHSCSA (University of Texas Health Science Center, San Antonio) (2000). UTHSCSA Image Tool. IT version 2.0. University of Texas, San Antonio, Estados Unidos, <http://macorb.uthscsa.edu/dig/download.html>.
- Valadez-Moctezuma E, Kahl G (2005). Huellas de ADN en genomas de plantas (Teoría y protocolos de laboratorio). Mundi-Prensa México D.F, México, 147 pp.
- van der Knaap E, Gray S, Fujimura K, Lang L, Dujmovic N, Sullivan D, Brewer M, Gonzalo MJ, Rodriguez G, Anderson C (2008). Tomato Analyzer. Julio 2008. <http://www.oardc.ohio-state.edu/vanderknaap/TArelease.htm>. [consultado febrero-2011].
- van Treuren R, Magda A, Hoekstra R, van Hintum (2004). Genetic and economic aspects of marker-assisted reduction of redundancy from wild germplasm collection. *Genet Resour Crop Ev* 51:277-290.
- Vasco C, Avila J, Ruales J, Svanberg U, Kamal-Eldin A (2009). Physical and chemical characteristics of golden-yellow and purple-red varieties of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *Int J Food Sci Nutr* 60:278-288.

- Vázquez JF, Sánchez-Yélamo MD, Carrillo JM (2000). Marcadores morfológicos y bioquímicos. En: Nuez F, Carrillo JM (eds). Los marcadores genéticos en la mejora vegetal. Sociedad Española de Genética, Sociedad Española de Ciencias Hortícolas, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, pp 23-89.
- Velasteguí JR (1988). Principales enfermedades del tomate de árbol. Universidad Técnica de Ambato – Facultad e Ingeniería Agronómica, Editorial Universitaria, Ambato, Ecuador, 61 pp.
- Velasteguí JR, Ball SFL (1991). First record of *Sclerotinia sclerotiorum* on tree tomato in Ecuador. Plant Pathol 40:476-447.
- Velasteguí JR, Fiallos BE (1987). Plant-parasitic nematode problems in some horticultural crops in Ecuador. Int Nematol Netwk Newsl 4:3-5.
- Veteläinen M, Gammelgard E, Valkonen JPT (2005). Diversity of Nordic landrace potatoes (*Solanum tuberosum* L.) revealed by AFLPs and morphological characters. Genet Resour Crop Ev 52:999-1010.
- Viscarret MM, Botto E (1996). Descripción e identificación de *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) y *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae). Rev Chil Entomol 23:51-58.
- Vos P, Hogers R, Bleeker M, Reijans M, van de Lee T, Hornes M, Frijters A, Pot J, Pelman J, Kuiper M, Zabeau M (1995). AFLP: A new technique for DNA fingerprinting. Nucleic Acids Res 23: 4407-4414.
- Votava EJ, Bosland PW (2002). A cultivar by any other name: genetic variability in heirloom bell pepper 'California Wonder'. HortScience 37:1100-1102.
- Warburg O (1903). Kunene-Sambesi Expedition. Kolonial-Wirtschaftlichen Komitees, Berlin, Alemania [citado por Bohs (1989a)].
- Watson AM (1998). Innovaciones en la agricultura en los primeros tiempos del mundo islámico. Editorial de la Universidad de Granada, Granada, España, 372 pp.
- Weese TL, Bohs L (2007). A three-gene phylogeny of the genus *Solanum* (Solanaceae). Syst Bot 32:445-463.
- Wendel JF, Doyle JJ (1998). Phylogenetic incongruence: window into genome history and molecular evolution. En: Soltis D, Soltis P, Doyle J (eds). Molecular systematics of plants II: DNA sequencing. Kluwer Academic Publishers, Norwell, Estados Unidos, pp 265-296.
- Wernsman EA, Ruffy RC (1987). Tobacco. En: Fehr W (ed). Principles of cultivar development, vol. 2. Macmillan Publ., New York, Estados Unidos, pp 669-698.
- Wester PJ (1925). The food plants of the Philippines, 3ª ed. Philipp. Dept. Agr. Nat. Resources Bull. 39, Manila, Filipinas [citado por Bohs (1989a)].

## Referencias Bibliográficas

- Wricke G, Weber WE (1986). Quantitative genetics and selection in plant breeding. Walter de Gruyter, Berlin, Alemania, y New York, Estados Unidos.
- Wyman AR, White R (1980). A highly polymorphic locus in human DNA. PNAS 77:6754-6758.
- Yearsley CW, Mcgrath HJW, Taucher JA, Dale JR (1987). Red tamarillos (*Cyphomandra betacea*): postharvest control of fungal decay with hot water and imazalil dips. New Zeal J Exp Agr 15: 223-228.
- Yearsley CW, Huang BY, Mcgrath HJW, Fry J, Setek MGH, Dale JR (1988). Red tamarillos (*Cyphomandra betacea*): comparison of two postharvest dipping strategies for the control of fungal storage disorders. New Zeal J Exp Agr 16: 359-366.
- Yeh FC, Boyle TJB (1997). Population genetic analysis of codominant and dominant markers and quantitative traits. Belg J Bot 129:157.
- Young WP, Schupp JM, Keim P (1999). DNA methylation and AFLP marker distribution in the soybean genome. Theor Appl Genet 99:785-792.
- Zabeau M, Vos P (1993). Selective restriction amplification: a general method for DNA fingerprinting. European patent application, publication number EP 0 534 858 A1.
- Zeiger E (1998). a-Chaconine [20562-03-2] and a-solanine [20562-02-1]. Review of toxicological literature. National Institute of Environmental Health Sciences. Research Triangle Park, North Carolina, Estados Unidos, 96 pp.
- Zohary D, Spiegel-Roy P (1975). Beginning of fruit growing in the Old World. Science 187:319-327.
- Zuang H, Barret P, Beau C (1992). Nuevas especies frutales. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, pp 111-114.
- Zuriaga E, Blanca J, Nuez F (2009). Classification and phylogenetic relationships in *Solanum* section *Lycopericon* based on AFLP and two nuclear gene sequences. Genet Resour Crop Ev 56:663-678.
- Zygier S, Chaim AB, Efrati A, Kaluzky G, Borvsky Y, Paran I (2005). QTLs mapping for fruit size and shape in chromosomes 2 and 4 in pepper and a comparison of the pepper QTL map with that of tomato. Theor Appl Genet 111:437-445.

## ***VIII. ANEXOS***



**ANEXO 1. Fichas morfológicas de 24 accesiones de tomate de árbol cultivadas**



## FICHA MORFOLÓGICA 1

Accesión

**A-16**

Grupo agronómico

**Anaranjado-elíptico**

Procedencia

**Ecuador**

Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	127,67
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,59
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	4,52
Diámetro de la copa (cm)	C4	132,67
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	31,77
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	6,47
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	25,16
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	27,36
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	12,30
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	77,11
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	21,29
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	3,78
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	13,40
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	16,64
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	8,13
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	63,99
Longitud del peciolo (cm)	C17	7,18
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	7,67
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,56
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,18
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,16
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,49
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,32
Longitud de la antera (cm)	C24	0,63
Longitud del estilo (cm)	C25	0,61
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	38,20
Infrutescencias por planta (número)	C27	14,73
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,59
Longitud del fruto (cm)	C29	6,02
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,63
Longitud del pedicelo (cm)	C31	4,75
Diámetro del fruto (cm)	C32	5,00
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	130,68
Peso del fruto (g)	C34	83,47
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,20
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,29
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,40
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,32
Semillas por fruto (número)	C39	239,80

## FICHA MORFOLÓGICA 2

Accesión

A-17

Grupo agronómico

Anaranjado-elíptico-puntón

Procedencia

Ecuador



Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	128,47
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,61
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	3,83
Diámetro de la copa (cm)	C4	112,00
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	29,38
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	5,50
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	22,10
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	24,13
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	11,81
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	76,19
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	23,58
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	4,56
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	17,01
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	19,09
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	8,51
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	77,47
Longitud del peciolo (cm)	C17	8,16
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	9,15
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	4,36
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,35
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,17
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,48
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,34
Longitud de la antera (cm)	C24	0,57
Longitud del estilo (cm)	C25	0,62
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	41,00
Infrutescencias por planta (número)	C27	17,27
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,37
Longitud del fruto (cm)	C29	6,75
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,81
Longitud del pedicelo (cm)	C31	5,12
Diámetro del fruto (cm)	C32	4,70
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	122,46
Peso del fruto (g)	C34	78,36
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,44
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,40
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,41
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,33
Semillas por fruto (número)	C39	168,21

## FICHA MORFOLÓGICA 3

Accesión

A-18

Grupo agronómico

Rojo

Procedencia

Ecuador



Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	143,47
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,52
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	4,17
Diámetro de la copa (cm)	C4	147,88
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	27,03
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	6,34
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	22,89
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	24,93
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	11,31
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	79,67
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	25,33
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	5,44
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	19,03
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	20,91
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	8,65
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	80,44
Longitud del peciolo (cm)	C17	9,25
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	7,88
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,84
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,20
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,07
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,52
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,14
Longitud de la antera (cm)	C24	0,55
Longitud del estilo (cm)	C25	0,57
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	26,93
Infrutescencias por planta (número)	C27	12,47
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,16
Longitud del fruto (cm)	C29	7,56
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	3,12
Longitud del pedicelo (cm)	C31	4,98
Diámetro del fruto (cm)	C32	5,61
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	128,60
Peso del fruto (g)	C34	130,46
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,35
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,42
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,39
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,31
Semillas por fruto (número)	C39	312,75

## FICHA MORFOLÓGICA 4

Accesión

A-19

Grupo agronómico

Anaranjado-elíptico-puntón

Procedencia

Ecuador



Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	144,73
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,28
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	4,31
Diámetro de la copa (cm)	C4	130,33
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	31,40
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	5,87
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	24,66
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	27,70
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	11,41
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	81,63
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	23,49
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	4,56
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	16,33
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	18,42
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	7,73
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	64,60
Longitud del peciolo (cm)	C17	8,53
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	8,25
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,64
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,11
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,22
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,42
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,43
Longitud de la antera (cm)	C24	0,60
Longitud del estilo (cm)	C25	0,58
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	31,80
Infrutescencias por planta (número)	C27	13,53
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,35
Longitud del fruto (cm)	C29	6,53
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,82
Longitud del pedicelo (cm)	C31	4,87
Diámetro del fruto (cm)	C32	4,90
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	129,12
Peso del fruto (g)	C34	86,29
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,33
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,31
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,38
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,31
Semillas por fruto (número)	C39	282,80

## FICHA MORFOLÓGICA 5

Accesión

**A-20**

Grupo agronómico

**Anaranjado-elíptico-puntón**

Procedencia

**Ecuador**

Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	147,80
Diámetro del tallo (cm)	C2	4,06
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	5,74
Diámetro de la copa (cm)	C4	159,00
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	30,54
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	6,20
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	24,62
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	26,91
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	12,42
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	80,97
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	23,04
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	4,95
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	17,16
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	18,70
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	7,53
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	73,99
Longitud del peciolo (cm)	C17	8,83
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	7,49
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	2,76
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,12
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,25
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,56
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,57
Longitud de la antera (cm)	C24	0,55
Longitud del estilo (cm)	C25	0,57
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	20,53
Infrutescencias por planta (número)	C27	7,20
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,85
Longitud del fruto (cm)	C29	7,49
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	3,05
Longitud del pedicelo (cm)	C31	4,89
Diámetro del fruto (cm)	C32	5,88
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	129,03
Peso del fruto (g)	C34	139,24
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,27
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,46
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,39
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,32
Semillas por fruto (número)	C39	352,60

## FICHA MORFOLÓGICA 6

Accesión

A-21

Grupo agronómico

Morado

Procedencia

Ecuador



Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	138,20
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,03
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	4,51
Diámetro de la copa (cm)	C4	96,90
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	22,37
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	6,17
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	20,53
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	21,75
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	10,16
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	76,16
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	22,46
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	4,89
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	17,44
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	19,44
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	8,80
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	69,54
Longitud del peciolo (cm)	C17	8,45
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	7,29
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,64
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,28
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,05
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,50
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,10
Longitud de la antera (cm)	C24	0,62
Longitud del estilo (cm)	C25	0,54
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	20,27
Infrutescencias por planta (número)	C27	9,53
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,13
Longitud del fruto (cm)	C29	7,92
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	3,25
Longitud del pedicelo (cm)	C31	5,14
Diámetro del fruto (cm)	C32	5,96
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	130,34
Peso del fruto (g)	C34	154,18
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,33
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,44
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,40
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,32
Semillas por fruto (número)	C39	382,16

## FICHA MORFOLÓGICA 7

Accesión

A-22

Grupo agronómico

Anaranjado-elíptico

Procedencia

Ecuador



Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	132,79
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,29
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	4,63
Diámetro de la copa (cm)	C4	98,64
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	29,07
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	5,21
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	21,86
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	24,37
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	10,83
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	77,14
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	22,26
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	4,07
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	15,48
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	17,94
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	8,28
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	69,85
Longitud del peciolo (cm)	C17	8,74
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	8,13
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,12
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,77
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,23
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,44
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,46
Longitud de la antera (cm)	C24	0,58
Longitud del estilo (cm)	C25	0,63
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	31,80
Infrutescencias por planta (número)	C27	14,00
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,27
Longitud del fruto (cm)	C29	6,75
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,97
Longitud del pedicelo (cm)	C31	5,21
Diámetro del fruto (cm)	C32	5,08
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	134,35
Peso del fruto (g)	C34	98,18
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,33
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,27
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,40
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,32
Semillas por fruto (número)	C39	267,10

## FICHA MORFOLÓGICA 8

Accesión

A-23

Grupo agronómico

Anaranjado-elíptico-puntón

Procedencia

Ecuador



Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	137,67
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,38
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	3,88
Diámetro de la copa (cm)	C4	114,50
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	29,95
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	6,34
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	24,29
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	26,46
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	11,70
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	78,01
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	20,06
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	3,80
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	14,10
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	15,77
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	7,12
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	59,73
Longitud del peciolo (cm)	C17	7,86
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	8,65
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,57
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,59
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,19
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,47
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,38
Longitud de la antera (cm)	C24	0,55
Longitud del estilo (cm)	C25	0,58
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	43,33
Infrutescencias por planta (número)	C27	20,60
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,10
Longitud del fruto (cm)	C29	6,21
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,63
Longitud del pedicelo (cm)	C31	4,63
Diámetro del fruto (cm)	C32	4,65
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	127,99
Peso del fruto (g)	C34	75,72
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,33
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,36
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,37
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,30
Semillas por fruto (número)	C39	268,72

## FICHA MORFOLÓGICA 9

Accesión  
**A-24**  
 Grupo agronómico  
**Rojo**  
 Procedencia  
**Ecuador**



Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	129,64
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,09
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	3,99
Diámetro de la copa (cm)	C4	116,64
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	26,21
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	5,36
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	21,20
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	23,15
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	10,16
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	78,02
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	24,32
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	5,15
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	18,21
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	20,88
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	8,67
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	82,82
Longitud del peciolo (cm)	C17	8,65
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	8,70
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,67
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,38
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,24
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,47
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,47
Longitud de la antera (cm)	C24	0,56
Longitud del estilo (cm)	C25	0,58
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	22,20
Infrutescencias por planta (número)	C27	11,20
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	1,98
Longitud del fruto (cm)	C29	7,62
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	3,23
Longitud del pedicelo (cm)	C31	4,90
Diámetro del fruto (cm)	C32	5,51
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	129,64
Peso del fruto (g)	C34	123,37
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,38
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,36
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,37
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,30
Semillas por fruto (número)	C39	369,45

## FICHA MORFOLÓGICA 10

Accesión  
**A-25**  
 Grupo agronómico  
**Morado**  
 Procedencia  
**Ecuador**



Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	130,93
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,56
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	4,01
Diámetro de la copa (cm)	C4	124,33
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	29,88
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	6,61
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	25,28
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	27,18
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	11,40
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	80,74
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	22,80
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	4,75
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	16,92
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	18,76
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	7,66
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	77,75
Longitud del peciolo (cm)	C17	7,92
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	8,40
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,31
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,33
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,30
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,53
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,59
Longitud de la antera (cm)	C24	0,60
Longitud del estilo (cm)	C25	0,58
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	28,00
Infrutescencias por planta (número)	C27	12,27
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,28
Longitud del fruto (cm)	C29	7,03
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	3,18
Longitud del pedicelo (cm)	C31	5,07
Diámetro del fruto (cm)	C32	5,74
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	134,69
Peso del fruto (g)	C34	132,36
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,22
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,21
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,39
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,32
Semillas por fruto (número)	C39	350,60

## FICHA MORFOLÓGICA 11

Accesión  
**A-26**  
 Grupo agronómico  
**Rojo**  
 Procedencia  
**Ecuador**



Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	140,18
Diámetro del tallo (cm)	C2	2,86
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	3,70
Diámetro de la copa (cm)	C4	116,00
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	28,82
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	5,70
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	22,38
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	24,74
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	11,40
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	76,69
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	22,95
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	4,59
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	16,63
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	19,16
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	8,06
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	75,46
Longitud del peciolo (cm)	C17	8,10
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	8,08
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,46
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,01
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,22
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,53
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,45
Longitud de la antera (cm)	C24	0,57
Longitud del estilo (cm)	C25	0,54
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	23,07
Infrutescencias por planta (número)	C27	10,47
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,20
Longitud del fruto (cm)	C29	7,59
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	3,09
Longitud del pedicelo (cm)	C31	4,49
Diámetro del fruto (cm)	C32	5,64
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	125,36
Peso del fruto (g)	C34	131,56
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,35
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,45
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,38
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,31
Semillas por fruto (número)	C39	333,63

## FICHA MORFOLÓGICA 12

Accesión

A-27

Grupo agronómico

Rojo

Procedencia

Ecuador



Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	134,92
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,11
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	3,92
Diámetro de la copa (cm)	C4	118,00
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	28,28
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	5,61
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	23,08
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	25,15
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	11,25
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	80,05
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	16,98
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	3,50
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	11,86
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	14,06
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	5,74
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	53,68
Longitud del peciolo (cm)	C17	9,44
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	7,73
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,88
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,17
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,18
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,51
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,36
Longitud de la antera (cm)	C24	0,59
Longitud del estilo (cm)	C25	0,57
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	18,27
Infrutescencias por planta (número)	C27	8,07
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,26
Longitud del fruto (cm)	C29	7,36
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	3,00
Longitud del pedicelo (cm)	C31	5,91
Diámetro del fruto (cm)	C32	5,49
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	127,85
Peso del fruto (g)	C34	125,49
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,34
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,45
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,37
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,31
Semillas por fruto (número)	C39	359,00

## FICHA MORFOLÓGICA 13

Accesión

**A-29**

Grupo agronómico

**Anaranjado-elíptico**

Procedencia

**Ecuador**

Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	163,36
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,59
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	4,46
Diámetro de la copa (cm)	C4	102,36
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	29,20
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	6,78
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	24,66
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	26,30
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	12,00
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	81,71
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	23,03
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	5,41
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	17,42
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	19,75
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	8,02
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	69,06
Longitud del peciolo (cm)	C17	9,05
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	9,56
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	4,93
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,33
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,25
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,53
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,50
Longitud de la antera (cm)	C24	0,59
Longitud del estilo (cm)	C25	0,60
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	38,40
Infrutescencias por planta (número)	C27	13,20
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,91
Longitud del fruto (cm)	C29	6,13
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,74
Longitud del pedicelo (cm)	C31	4,21
Diámetro del fruto (cm)	C32	5,44
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	132,19
Peso del fruto (g)	C34	96,39
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,13
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,23
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,37
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,31
Semillas por fruto (número)	C39	272,77

## FICHA MORFOLÓGICA 14

Accesión

**A-30**

Grupo agronómico

**Morado**

Procedencia

**Colombia**

Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	160,13
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,71
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	4,49
Diámetro de la copa (cm)	C4	115,53
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	31,40
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	6,59
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	24,61
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	27,22
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	12,49
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	80,48
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	23,28
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	4,53
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	17,06
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	19,03
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	8,15
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	77,21
Longitud del peciolo (cm)	C17	8,13
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	8,17
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,23
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,32
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,32
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,52
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,64
Longitud de la antera (cm)	C24	0,58
Longitud del estilo (cm)	C25	0,60
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	40,93
Infrutescencias por planta (número)	C27	15,67
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,61
Longitud del fruto (cm)	C29	6,34
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,73
Longitud del pedicelo (cm)	C31	5,04
Diámetro del fruto (cm)	C32	5,17
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	134,32
Peso del fruto (g)	C34	96,75
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,22
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,32
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,39
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,31
Semillas por fruto (número)	C39	245,11

## FICHA MORFOLÓGICA 15

Accesión

A-31

Grupo agronómico

Anaranjado-elíptico-puntón

Procedencia

Perú



Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	140,00
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,34
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	3,74
Diámetro de la copa (cm)	C4	118,79
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	28,60
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	5,81
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	22,23
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	24,53
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	10,81
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	78,24
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	21,81
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	4,22
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	15,75
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	18,42
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	7,85
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	71,97
Longitud del peciolo (cm)	C17	8,76
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	8,40
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,78
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,46
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,26
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,51
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,52
Longitud de la antera (cm)	C24	0,59
Longitud del estilo (cm)	C25	0,64
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	30,73
Infrutescencias por planta (número)	C27	13,67
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,25
Longitud del fruto (cm)	C29	5,92
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,47
Longitud del pedicelo (cm)	C31	4,47
Diámetro del fruto (cm)	C32	4,80
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	129,35
Peso del fruto (g)	C34	81,27
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,23
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,40
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,40
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,34
Semillas por fruto (número)	C39	130,11

## FICHA MORFOLÓGICA 16

Accesión

**A-32**

Grupo agronómico

**Anaranjado-elíptico-puntón**

Procedencia

**Perú**

Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	129,36
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,85
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	4,54
Diámetro de la copa (cm)	C4	139,36
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	32,22
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	5,83
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	23,63
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	26,35
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	11,10
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	74,04
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	21,04
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	4,03
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	14,37
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	15,96
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	6,97
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	55,28
Longitud del peciolo (cm)	C17	7,44
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	7,92
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,60
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,22
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,11
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,47
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,21
Longitud de la antera (cm)	C24	0,56
Longitud del estilo (cm)	C25	0,57
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	41,20
Infrutescencias por planta (número)	C27	13,87
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,97
Longitud del fruto (cm)	C29	6,03
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,54
Longitud del pedicelo (cm)	C31	4,74
Diámetro del fruto (cm)	C32	4,39
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	121,60
Peso del fruto (g)	C34	63,19
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,37
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,37
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,39
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,33
Semillas por fruto (número)	C39	130,16

## FICHA MORFOLÓGICA 17

Accesión

**A-33**

Grupo agronómico

**Anaranjado-elíptico-puntón**

Procedencia

**Perú**

Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	120,33
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,43
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	3,98
Diámetro de la copa (cm)	C4	153,07
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	32,17
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	5,02
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	21,79
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	25,05
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	11,06
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	73,60
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	23,34
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	3,91
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	14,71
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	17,61
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	7,63
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	56,32
Longitud del peciolo (cm)	C17	8,34
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	8,23
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,99
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,03
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,13
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,48
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,27
Longitud de la antera (cm)	C24	0,66
Longitud del estilo (cm)	C25	0,60
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	42,53
Infrutescencias por planta (número)	C27	15,07
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,82
Longitud del fruto (cm)	C29	6,18
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,84
Longitud del pedicelo (cm)	C31	4,81
Diámetro del fruto (cm)	C32	4,25
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	120,20
Peso del fruto (g)	C34	60,96
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,45
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,18
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,39
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,33
Semillas por fruto (número)	C39	124,93

## FICHA MORFOLÓGICA 18

Accesión

**A-34**

Grupo agronómico

**Anaranjado-elíptico-puntón**

Procedencia

**Perú**

Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	127,47
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,55
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	4,12
Diámetro de la copa (cm)	C4	155,13
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	30,77
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	5,09
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	21,28
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	24,33
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	11,27
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	73,38
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	21,67
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	3,71
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	14,02
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	16,60
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	7,16
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	64,67
Longitud del peciolo (cm)	C17	7,75
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	8,98
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	4,47
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,37
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,23
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,45
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,45
Longitud de la antera (cm)	C24	0,57
Longitud del estilo (cm)	C25	0,59
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	60,67
Infrutescencias por planta (número)	C27	17,87
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	3,40
Longitud del fruto (cm)	C29	6,21
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,71
Longitud del pedicelo (cm)	C31	4,62
Diámetro del fruto (cm)	C32	4,27
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	118,79
Peso del fruto (g)	C34	61,39
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,45
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,29
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,39
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,33
Semillas por fruto (número)	C39	124,47

## FICHA MORFOLÓGICA 19

Accesión

**A-35**

Grupo agronómico

**Anaranjado-elíptico-puntón**

Procedencia

**Bolivia**

Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	137,47
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,39
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	4,49
Diámetro de la copa (cm)	C4	158,00
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	34,28
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	3,73
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	18,02
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	23,08
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	11,87
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	65,28
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	22,84
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	3,15
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	13,05
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	15,60
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	6,57
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	49,72
Longitud del peciolo (cm)	C17	7,26
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	7,44
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,32
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,13
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,24
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,44
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,49
Longitud de la antera (cm)	C24	0,52
Longitud del estilo (cm)	C25	0,59
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	55,60
Infrutescencias por planta (número)	C27	14,33
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	3,88
Longitud del fruto (cm)	C29	6,03
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,52
Longitud del pedicelo (cm)	C31	4,50
Diámetro del fruto (cm)	C32	4,06
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	119,22
Peso del fruto (g)	C34	54,19
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,48
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,39
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,36
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,30
Semillas por fruto (número)	C39	186,07

## FICHA MORFOLÓGICA 20

Accesión

**A-36**

Grupo agronómico

**Anaranjado-elíptico-puntón**

Procedencia

**Bolivia**

Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	116,27
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,01
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	3,57
Diámetro de la copa (cm)	C4	122,87
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	28,10
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	4,52
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	18,40
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	20,78
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	9,55
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	67,87
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	21,80
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	2,98
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	12,14
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	14,69
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	7,02
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	40,95
Longitud del peciolo (cm)	C17	8,52
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	8,18
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,32
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,15
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,16
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,45
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,32
Longitud de la antera (cm)	C24	0,51
Longitud del estilo (cm)	C25	0,69
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	38,40
Infrutescencias por planta (número)	C27	9,80
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	3,92
Longitud del fruto (cm)	C29	5,50
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,43
Longitud del pedicelo (cm)	C31	3,96
Diámetro del fruto (cm)	C32	4,04
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	121,93
Peso del fruto (g)	C34	50,69
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,36
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,26
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,34
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,28
Semillas por fruto (número)	C39	151,89

## FICHA MORFOLÓGICA 21

Accesión  
**A-37**  
 Grupo agronómico  
**Morado**  
 Procedencia  
**Portugal**



Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	151,40
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,54
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	4,14
Diámetro de la copa (cm)	C4	115,80
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	31,85
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	5,76
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	22,96
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	25,31
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	11,05
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	73,40
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	15,54
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	2,66
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	9,54
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	11,02
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	5,04
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	56,45
Longitud del peciolo (cm)	C17	6,02
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	8,32
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,42
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,16
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,12
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,44
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,24
Longitud de la antera (cm)	C24	0,55
Longitud del estilo (cm)	C25	0,62
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	54,07
Infrutescencias por planta (número)	C27	22,13
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,44
Longitud del fruto (cm)	C29	6,06
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,61
Longitud del pedicelo (cm)	C31	4,52
Diámetro del fruto (cm)	C32	4,68
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	132,67
Peso del fruto (g)	C34	75,84
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,30
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,32
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,35
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,29
Semillas por fruto (número)	C39	339,34

## FICHA MORFOLÓGICA 22

Accesión

**A-39**

Grupo agronómico

**Morado**

Procedencia

**Nueva Zelanda**

Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	130,58
Diámetro del tallo (cm)	C2	3,43
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	4,37
Diámetro de la copa (cm)	C4	142,00
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	29,28
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	6,22
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	22,77
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	24,90
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	10,83
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	77,05
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	21,15
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	3,93
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	14,51
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	16,96
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	6,66
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	64,26
Longitud del peciolo (cm)	C17	7,29
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	7,89
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,14
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	1,94
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,22
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,47
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,44
Longitud de la antera (cm)	C24	0,58
Longitud del estilo (cm)	C25	0,59
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	32,80
Infrutescencias por planta (número)	C27	14,73
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,23
Longitud del fruto (cm)	C29	6,48
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,72
Longitud del pedicelo (cm)	C31	4,64
Diámetro del fruto (cm)	C32	5,13
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	132,78
Peso del fruto (g)	C34	100,20
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,26
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,38
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,39
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,32
Semillas por fruto (número)	C39	283,54

## FICHA MORFOLÓGICA 23

Accesión  
**A-40**  
 Grupo agronómico  
**Morado**  
 Procedencia  
**Nueva Zelanda**



Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	129,50
Diámetro del tallo (cm)	C2	2,60
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	4,40
Diámetro de la copa (cm)	C4	77,50
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	29,53
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	6,57
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	23,46
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	24,67
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	10,56
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	78,18
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	18,54
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	4,52
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	14,57
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	15,76
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	6,48
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	65,89
Longitud del peciolo (cm)	C17	6,56
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	7,94
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	3,42
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	2,31
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,27
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,48
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,54
Longitud de la antera (cm)	C24	0,58
Longitud del estilo (cm)	C25	0,61
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	31,33
Infrutescencias por planta (número)	C27	12,87
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	2,44
Longitud del fruto (cm)	C29	5,56
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	2,45
Longitud del pedicelo (cm)	C31	5,08
Diámetro del fruto (cm)	C32	4,69
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	131,42
Peso del fruto (g)	C34	93,50
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,18
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,27
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,36
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,30
Semillas por fruto (número)	C39	306,89

## FICHA MORFOLÓGICA 24

Accesión

**A-41**

Grupo agronómico

**Trompo**

Procedencia

**Ecuador**

Vista lateral del fruto entero



Corte transversal del fruto

## Información de los descriptores morfológicos (valores medios)

Descriptor	Código	Valor
<b>Arquitectura de la planta</b>		
Altura del tallo principal (cm)	C1	145,93
Diámetro del tallo (cm)	C2	4,70
Longitud del segundo entrenudo (cm)	C3	4,25
Diámetro de la copa (cm)	C4	144,28
<b>Hojas del tallo</b>		
Longitud del limbo (cm)	C5	29,27
Longitud de la escotadura basal (cm)	C6	6,95
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C7	23,67
Ancho máximo del limbo (cm)	C8	24,28
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C9	10,98
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C10	79,80
<b>Hojas de la copa</b>		
Longitud del limbo (cm)	C11	21,16
Longitud de la escotadura basal (cm)	C12	5,84
Ancho del limbo a la altura de la escotadura basal (cm)	C13	17,70
Ancho máximo del limbo (cm)	C14	20,04
Distancia entre la base y el ancho máximo del limbo (cm)	C15	8,41
Ángulo del ápice (grados sexagesimales)	C16	83,82
Longitud del peciolo (cm)	C17	9,88
<b>Inflorescencia y flor</b>		
Longitud de la Inflorescencia (cm)	C18	4,73
Longitud del pedúnculo (cm)	C19	1,62
Longitud del primer entrenudo del raquis (cm)	C20	1,61
Longitud del pétalo (cm)	C21	1,00
Ancho del pétalo (cm)	C22	0,45
Diámetro de la corola (cm)	C23	2,01
Longitud de la antera (cm)	C24	0,48
Longitud del estilo (cm)	C25	0,48
<b>Infrutescencia y fruto</b>		
Frutos por planta (número)	C26	160,00
Infrutescencias por planta (número)	C27	10,00
Frutos por Infrutescencia (número)	C28	16,00
Longitud del fruto (cm)	C29	3,98
Distancia entre la base y el ancho máximo del fruto (cm)	C30	1,60
Longitud del pedicelo (cm)	C31	3,91
Diámetro del fruto (cm)	C32	3,74
Ángulo del ápice del fruto (grados sexagesimales)	C33	123,41
Peso del fruto (g)	C34	30,51
Relación longitud : diámetro del fruto	C35	1,06
Relación longitud : distancia entre la base y el ancho máximo del fruto	C36	2,50
<b>Semilla</b>		
Longitud de la semilla (cm)	C37	0,42
Ancho de la semilla (cm)	C38	0,32
Semillas por fruto (número)	C39	3,40

**ANEXO 2. Matriz de presencia-ausencia de marcadores moleculares (AFLPs) de 26 accesiones de tomate de árbol**





### Continuación de Matriz de presencia-ausencia de marcadores moleculares (AFLPs)

combinaciones	pb	Grupos agronómicos con sus respectivas accesiones																							accesión silvestre			
		anaranjado-elíptico-puntón											anaranjado-elíptico			morado				rojo								
		A11	A17	A19	A20	A23	A31	A32	A33	A34	A35	A36	A22	A29	A38	A21	A25	A30	A37	A39	A40	A18	A24	A26		A27	A28	A15
ACC - CAC	70,4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	
	105,07	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	
	107,26	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	
	111,42	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	
	115,12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
	117,38	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	119,11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	
	124,44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	190,26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	
205,36	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
ACA - CAC	71,55	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	
	80,00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
	82,17	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	
	84,40	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	
	92,30	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	
	95,00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	
	97,00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	
	99,56	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	
	102,01	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	
	104,68	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	
	108,21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	
	122,34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
	125,66	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
	131,44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	
	135,48	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
	143,7	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
	161,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
	207,47	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	259,50	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

0 = ausencia de banda, 1 = presencia de banda y 99 = fallo en la amplificación

## Continuación de Matriz de presencia-ausencia de marcadores moleculares (AFLPs)

combinaciones	pb	Grupos agronómicos con sus respectivas accesiones																							accesión silvestre		
		anaranjado-elíptico-puntón											anaranjado-elíptico			morado				rojo							
		A11	A17	A19	A20	A23	A31	A32	A33	A34	A35	A36	A22	A29	A38	A21	A25	A30	A37	A39	A40	A18	A24	A26		A27	A28
AGG - CAC	100,1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	99	0	0	0	0	99	0	0	99	1	0	0	0	0	0	99	
	110,03	0	0	0	0	0	1	0	0	0	99	0	1	0	0	99	0	1	99	0	0	0	0	1	0	0	99
	138,86	0	0	1	0	0	0	0	0	0	99	0	1	0	1	99	0	1	99	0	0	1	0	0	1	1	99
	142,62	0	0	1	1	0	0	0	0	0	99	0	0	0	0	99	0	0	99	1	1	1	0	0	0	0	99
	144,63	1	1	0	1	1	0	0	0	0	99	1	1	1	1	99	1	1	99	0	0	0	0	0	0	0	99
AAC - CAC	70,9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	99	
	95,2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	99	
	102,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99	
	116,12	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	99	
AAG - CTC	70,65	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
	106,73	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	
	150,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
AGC - CTC	92,64	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	
	95,00	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0
	106,25	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0
	116,09	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0
	127,22	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	148,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	153,06	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
	161,53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
	180,36	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
	188,69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
204,95	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
ACG - CCG	80,3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
	130,57	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0
	151,38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
	168,93	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
	208,91	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

0 = ausencia de banda, 1 = presencia de banda y 99 = fallo en la amplificación



**ANEXO 3. Matriz de semejanzas (índice de Dice) entre 26 accesiones de tomate de árbol (25 cultivadas y una silvestre), obtenida a partir de la matriz presencia-ausencia de bandas AFLPs**



**Matriz de semejanzas (índice de Dice) entre 26 accesiones de tomate de árbol (25 cultivadas y una silvestre), obtenida a partir de la matriz presencia-ausencia de bandas AFLPs (las 25 accesiones cultivadas ordenadas por grupos agronómicos)**

Accesión	anaranjado-elíptico-puntón						anaranjado-elíptico			morado				rojo				silvestre										
	A-11	A-17	A-19	A-20	A-23	A-31	A-32	A-33	A-34	A-35	A-36	A-22	A-29	A-38	A-21	A-25	A-30	A-37	A-39	A-40	A-18	A-24	A-26	A-27	A-28	A-15		
A-11	1,00																											
A-17	0,69	1,00																										
A-19	0,74	0,75	1,00																									
A-20	0,76	0,74	0,82	1,00																								
A-23	0,68	0,74	0,75	0,70	1,00																							
A-31	0,77	0,77	0,80	0,77	0,70	1,00																						
A-32	0,78	0,68	0,76	0,75	0,73	0,84	1,00																					
A-33	0,64	0,89	0,72	0,71	0,73	0,73	0,65	1,00																				
A-34	0,71	0,86	0,77	0,81	0,74	0,81	0,75	0,90	1,00																			
A-35	0,69	0,77	0,74	0,73	0,70	0,75	0,69	0,78	0,81	1,00																		
A-36	0,78	0,66	0,71	0,78	0,68	0,79	0,74	0,61	0,68	0,74	1,00																	
A-22	0,73	0,75	0,80	0,73	0,73	0,78	0,70	0,71	0,75	0,73	0,67	1,00																
A-29	0,71	0,83	0,74	0,74	0,76	0,76	0,72	0,86	0,84	0,74	0,65	0,69	1,00															
A-38	0,71	0,72	0,75	0,77	0,75	0,78	0,76	0,67	0,73	0,68	0,70	0,80	0,72	1,00														
A-21	0,72	0,78	0,81	0,83	0,73	0,75	0,71	0,83	0,89	0,71	0,60	0,80	0,79	0,70	1,00													
A-25	0,66	0,91	0,72	0,75	0,73	0,73	0,70	0,91	0,90	0,74	0,63	0,74	0,84	0,69	0,87	1,00												
A-30	0,68	0,78	0,73	0,70	0,70	0,74	0,70	0,71	0,74	0,69	0,60	0,81	0,78	0,81	0,79	0,73	1,00											
A-37	0,65	0,87	0,72	0,68	0,71	0,71	0,65	0,89	0,83	0,78	0,57	0,69	0,86	0,72	0,74	0,83	0,82	1,00										
A-39	0,67	0,69	0,74	0,73	0,61	0,76	0,71	0,70	0,71	0,67	0,72	0,66	0,71	0,66	0,70	0,66	0,68	0,66	1,00									
A-40	0,63	0,64	0,68	0,68	0,54	0,73	0,65	0,63	0,66	0,68	0,71	0,60	0,65	0,56	0,62	0,61	0,62	0,58	0,90	1,00								
A-18	0,76	0,78	0,84	0,79	0,70	0,87	0,78	0,71	0,77	0,73	0,73	0,76	0,74	0,75	0,77	0,73	0,74	0,73	0,78	0,73	1,00							
A-24	0,66	0,74	0,75	0,75	0,72	0,73	0,73	0,76	0,77	0,72	0,68	0,69	0,79	0,73	0,78	0,76	0,77	0,76	0,68	0,62	0,77	1,00						
A-26	0,53	0,65	0,52	0,56	0,54	0,58	0,63	0,68	0,67	0,55	0,43	0,60	0,57	0,48	0,74	0,72	0,64	0,66	0,51	0,49	0,56	0,61	1,00					
A-27	0,72	0,85	0,82	0,80	0,71	0,78	0,71	0,83	0,85	0,78	0,69	0,82	0,77	0,76	0,87	0,85	0,77	0,78	0,72	0,67	0,86	0,87	0,67	1,00				
A-28	0,75	0,79	0,80	0,82	0,73	0,83	0,79	0,78	0,84	0,76	0,74	0,78	0,79	0,83	0,82	0,80	0,82	0,75	0,82	0,74	0,85	0,83	0,62	0,87	1,00			
A-15	0,31	0,23	0,20	0,17	0,20	0,22	0,15	0,19	0,21	0,18	0,22	0,21	0,18	0,09	0,14	0,19	0,20	0,16	0,25	0,33	0,26	0,17	0,18	0,22	0,17	1,00		



**ANEXO 4. Matriz de semejanzas (índice de Dice) entre 25 accesiones cultivadas de tomate de árbol, obtenida a partir de la matriz presencia-ausencia de bandas AFLPs**



**Matriz de semejanzas (índice de Dice) entre 25 accesiones cultivadas de tomate de árbol, obtenida a partir de la matriz presencia-ausencia de bandas AFLPs (las 25 accesiones cultivadas ordenadas por grupos agronómicos)**

accesión	anaranjado-elíptico-puntón											anaranjado-elíptico			morado				rojo							
	A-11	A-17	A-19	A-20	A-23	A-31	A-32	A-33	A-34	A-35	A-36	A-22	A-29	A-38	A-21	A-25	A-30	A-37	A-39	A-40	A-18	A-24	A-26	A-27	A-28	
A-11	1,00																									
A-17	0,65	1,00																								
A-19	0,71	0,72	1,00																							
A-20	0,73	0,71	0,79	1,00																						
A-23	0,64	0,71	0,72	0,66	1,00																					
A-31	0,73	0,74	0,77	0,74	0,66	1,00																				
A-32	0,74	0,64	0,72	0,72	0,69	0,81	1,00																			
A-33	0,59	0,88	0,69	0,68	0,70	0,70	0,61	1,00																		
A-34	0,68	0,84	0,74	0,79	0,71	0,79	0,72	0,89	1,00																	
A-35	0,63	0,74	0,70	0,70	0,66	0,72	0,65	0,75	0,78	1,00																
A-36	0,74	0,61	0,67	0,75	0,63	0,75	0,69	0,56	0,64	0,69	1,00															
A-22	0,69	0,73	0,78	0,70	0,70	0,75	0,66	0,68	0,73	0,70	0,63	1,00														
A-29	0,67	0,82	0,71	0,71	0,73	0,73	0,68	0,85	0,82	0,71	0,60	0,66	1,00													
A-38	0,67	0,69	0,72	0,74	0,71	0,74	0,72	0,64	0,69	0,64	0,66	0,78	0,68	1,00												
A-21	0,67	0,75	0,78	0,80	0,69	0,71	0,67	0,80	0,88	0,67	0,53	0,77	0,76	0,66	1,00											
A-25	0,62	0,90	0,69	0,73	0,70	0,70	0,66	0,91	0,89	0,71	0,58	0,72	0,82	0,66	0,85	1,00										
A-30	0,64	0,76	0,69	0,66	0,66	0,71	0,66	0,68	0,71	0,65	0,54	0,79	0,75	0,79	0,76	0,70	1,00									
A-37	0,59	0,86	0,68	0,64	0,68	0,67	0,60	0,88	0,80	0,74	0,50	0,65	0,84	0,68	0,71	0,81	0,79	1,00								
A-39	0,61	0,65	0,70	0,70	0,55	0,73	0,67	0,67	0,68	0,61	0,67	0,62	0,67	0,61	0,64	0,62	0,64	0,61	1,00							
A-40	0,56	0,59	0,64	0,63	0,47	0,69	0,58	0,58	0,61	0,62	0,65	0,55	0,60	0,49	0,55	0,56	0,57	0,52	0,88	1,00						
A-18	0,73	0,76	0,82	0,76	0,66	0,85	0,75	0,68	0,74	0,70	0,69	0,73	0,71	0,71	0,74	0,70	0,71	0,69	0,75	0,69	1,00					
A-24	0,60	0,71	0,72	0,71	0,68	0,69	0,69	0,73	0,74	0,68	0,62	0,66	0,76	0,69	0,75	0,73	0,74	0,73	0,64	0,56	0,74	1,00				
A-26	0,45	0,60	0,46	0,50	0,47	0,52	0,57	0,64	0,63	0,48	0,33	0,55	0,51	0,41	0,71	0,69	0,59	0,61	0,43	0,40	0,50	0,55	1,00			
A-27	0,68	0,83	0,80	0,77	0,67	0,75	0,68	0,82	0,84	0,75	0,65	0,80	0,74	0,73	0,85	0,84	0,74	0,75	0,68	0,62	0,84	0,85	0,63	1,00		
A-28	0,71	0,77	0,78	0,80	0,69	0,81	0,76	0,76	0,82	0,72	0,70	0,76	0,77	0,81	0,79	0,78	0,79	0,71	0,79	0,70	0,83	0,81	0,56	0,85	1,00	



**ANEXO 5. Artículo científico publicado (“Variation among tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) accessions from different cultivar groups: implications for conservation of genetic resources and breeding”)**



## Variation among tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) accessions from different cultivar groups: implications for conservation of genetic resources and breeding

Pablo G. Acosta-Quezada · Juan  
B. Martínez-Laborde · Jaime Prohens

Received: 17 June 2010 / Accepted: 22 October 2010  
© Springer Science+Business Media B.V. 2010

**Abstract** Tree tomato (*Solanum betaceum*, Solanaceae) is a neglected small tree native to the Andean region used for its edible and juicy fruits. We have elaborated a list of 39 quantitative morphological descriptors for different plant parts (plant architecture, leaf, inflorescence and flower, infructescence and fruit, and seed) and have used them to characterize 24 accessions of tree tomato from different origins corresponding to five cultivar groups: orange, orange pointed, purple, red, and red conical. Several parameters, including range, maximum/minimum value ratio, standard deviation, coefficient of variation,

and broad-sense heritability, as well as analyses of variance, have been used to validate the utility of the descriptors, which have proved useful for the characterization of this crop. Significant ( $P < 0.05$ ) differences among accessions were found for the descriptors we evaluated, with the exception of three flower-size descriptors. Fruit and infructescence traits and seed number displayed the most variation and greatest heritability values. Considerable variation was found within each cultivar group for many traits. Many differences were found at the morphological level between the odd, red conical group, which includes a single accession with small fruits containing very few seeds, and all other cultivar groups. Ranges of variation among these other groups overlap for most of the descriptors studied, although the orange and red cultivar groups are the most distinct. Most of the significant correlations found among traits connect descriptors from the same part of the plant. Multivariate cluster and principal component analyses separated the tree tomato accessions into several morphologically similar groups. With the exception of single accession clusters, the rest of clusters contain accessions of several cultivar groups, reflecting considerable variation within cultivar groups, as well as (with the exception of the red conical group) a low degree of morphological differentiation among them. The descriptors we developed and the results obtained are relevant for the conservation and breeding of this promising fruit crop.

**Electronic supplementary material** The online version of this article (doi:10.1007/s10722-010-9634-9) contains supplementary material, which is available to authorized users.

P. G. Acosta-Quezada  
Centro de Investigación, Transferencia de Tecnología,  
Extensión y Servicios Agropecuarios,  
Universidad Técnica Particular de Loja,  
San Cayetano Alto s/n, 1101608 Loja, Ecuador

J. B. Martínez-Laborde  
Departamento de Biología Vegetal, Escuela Técnica  
Superior de Ingenieros Agrónomos,  
Universidad Politécnica de Madrid, Av. Complutense 3,  
Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, Spain

J. Prohens (✉)  
Instituto de Conservación y Mejora de la Agrodiversidad  
Valenciana, Universidad Politécnica de Valencia,  
Camino de Vera 14, 46022 Valencia, Spain  
e-mail: jprohens@btc.upv.es

**Keywords** Correlations · Descriptors · Heritability · Morphological characterization · Multivariate analysis · *Solanum betaceum*

## Introduction

Tree tomato or tamarillo (*Solanum betaceum* Cav., syn. *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendtn., Solanaceae) is a small tree native to the Andean region of Bolivia (Bohs 1991; Bohs and Nelson 1997; Lester and Hawkes 2001). It is cultivated in for its fleshy edible fruits, which can be consumed raw, mostly for preparing juices, processed, or cooked (Bohs 1989a; Prohens and Nuez 2000). In the Andean region, tree tomato is locally important and has engendered great interest for both domestic and international markets, but it still remains a marginal crop (Hernández-Bermejo and León 1992). At present, it is mainly grown on subsistence farms and is generally neglected in research and conservation programmes. Tree tomato represents an alternative crop for agricultural diversification, as well as for non-traditional commodity production and marketing, in its region of origin as well as in other countries. In this respect, it has aroused remarkable interest in New Zealand – the world's largest tree tomato producer – as a “new crop.” It is also a promising crop for some Mediterranean countries, including Spain and Italy (Pileri 1989; Boyes and Strübi 1997; Prohens and Nuez 2000; Prohens et al. 2004).

Tree tomato and its relatives were formerly included in genus *Cyphomandra*, but were transferred to *Solanum* by Bohs (1995). The taxonomy, biosystematics, phylogeny, and ethnobotany of tree tomato and its wild relatives have been extensively studied by Bohs (1989a, b, 1991, 1994, 1995, 2001, 2007) and co-workers (Bohs and Nelson 1997; Bohs and Olmstead 1997; Weese and Bohs 2007). However, very little research on the diversity and characterization of genetic resources of *S. betaceum* has been published (Enciso-Rodríguez et al. 2010). Similarly, very few works have been devoted to the genetic improvement of tree tomato (Pringle and Murray 1991a, 1992a, b). On the other hand, studies of the chemical composition and post-harvest performance of tree tomato fruits have recently been conducted

(Mwithiga et al. 2007; Mertz et al. 2009; Vasco et al. 2009), but we have found no attempts to characterize the morphological diversity of this species. In this respect, the establishment of cultivar groups is a key development that can enhance the utilization and conservation of genetic resources (Spooner et al. 2003). However, there are no clear rules for classifying tree tomato accessions into established cultivar groups or for creating new groups. Although on most occasions tree tomato accessions have been grouped by fruit colour, mostly into orange, red, and purple cultivar groups (National Research Council 1989; Bohs 1994; Prohens and Nuez 2000), for farmers, dealers, and consumers, other characteristics, such as fruit shape, are also important.

Characterization of germplasm is essential to maximize its utility (Day Rubenstein et al. 2006) and foster efficient *ex situ* conservation (Hammer et al. 2003; de Vicente et al. 2006). Morphological and agronomic characterization has been widely used to assess phenotypic variation of other *Solanum* crops, such as tomato (*Solanum lycopersicum* L.), potato (*Solanum tuberosum* L.), eggplant (*Solanum melongena* L.), and pepino (*Solanum muricatum* Aiton) (Huamán and Spooner 2002; Rodríguez-Burruezo et al. 2002; Muñoz-Falcón et al. 2008; Kwon et al. 2009). The evaluation of morphological and agronomic characters can provide relevant information on yield and quality traits, as well as other information of great interest to horticulturists and breeders, such as descriptions of available variation and estimates of trait heritability. For an optimal characterization of genetic resources and for valid data comparisons among trials, it is necessary to use standard descriptors, like those developed by Bioversity International for other *Solanum* crops used for their fruits (e.g., IBPGR 1990; IPGRI 1996, 2004). However, internationally standardized morphological descriptors do not exist for tree tomato.

We have studied morphological variation and relationships in accessions of *Solanum betaceum* supplied by two genebanks. Most accessions were collected from the Andean region of South America, where the species originated (Bohs 1991; Bohs and Nelson 1997). To conduct this study, we established morphological descriptors that could serve as the basis for a future standardized tree tomato descriptor list.

## Materials and methods

### Plant material

Seed samples of 24 accessions of cultivated tree tomato, originally collected in six countries, were provided for this study by the genebanks of the Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL) in Ecuador and the Universidad Politécnica de Valencia (UPV) in Spain (Table 1). Accessions were selected to represent a diversity of morphological types and origins. On the basis of the genebanks' description of these accessions, fruit characteristics (mostly fruit apex shape, fruit color, and seed-mucilage color), and farmers' grouping of cultivars, accessions were assigned to five tentative cultivar groups: orange, orange pointed, purple, red, and red conical (National Research Council 1989; Bohs 1994; Prohens and

Nuez 2000). These five cultivar groups of tree tomato are considered as different by the farmers and dealers. Some of the cultivar groups studied, like the orange pointed, are very frequent and contain many accessions, while others like the red conical are hardly found in commercial plantations and markets, and consist of a single accession.

### Plant cultivation

Seeds were sown in plastic bags containing a 3:2:1 mixture of organic soil:sand:earthworm humus and seedlings transplanted in October 2007 (40–50 days after germination) to a UTPL field plot located in Loja, Ecuador (4° 0' 1.59" S and 79° 10' 48.46" W) at 2,160 m asl. The area corresponds to the low dry montane forest (bs-MB) formation (Holdridge 1967), with 15.4°C mean annual temperature and mean

**Table 1** Tree tomato accessions, cultivar groups, and origins, including province or department and country

Accession	Germplasm bank	Accession code in germplasm bank	Cultivar group	Origin
A-16	UPV	ECU-1134	Orange	Morona Santiago (Ecuador)
A-17	UPV	ECU-1221	Orange pointed	Azuay (Ecuador)
A-18	UPV	ECU-1248	Red	Tungurahua (Ecuador)
A-19	UPV	ECU-1295	Orange pointed	Carchi (Ecuador)
A-20	UPV	ECU-1567	Orange pointed	El Oro (Ecuador)
A-21	UTPL	ECUt-001	Purple	Loja (Ecuador)
A-22	UTPL	ECUt-002	Orange	Azuay (Ecuador)
A-23	UTPL	ECUt-003	Orange pointed	Azuay (Ecuador)
A-24	UTPL	ECUt-004	Red	Azuay (Ecuador)
A-25	UTPL	ECUt-005	Purple	Azuay (Ecuador)
A-26	UTPL	ECUt-006	Red	Tungurahua (Ecuador)
A-27	UTPL	ECUt-007	Red	Tungurahua (Ecuador)
A-29	UTPL	ECUt-008	Orange	Cotopaxi (Ecuador)
A-30	UPV	QB-54	Purple	Boyacá (Colombia)
A-31	UPV	UNT-08	Orange pointed	Lima (Peru)
A-32	UPV	PT-087	Orange pointed	Chachapoyas (Peru)
A-33	UPV	PT-221	Orange pointed	Cajamarca (Peru)
A-34	UPV	PT242	Orange pointed	Cajamarca (Peru)
A-35	UPV	BOL-14	Orange pointed	Cochabamba (Bolivia)
A-36	UPV	BOL-116	Orange pointed	Santa Cruz (Bolivia)
A-37	UPV	EUR-CY-1	Purple	Lisboa (Portugal)
A-39	UPV	NZ-1	Purple	New Zealand
A-40	UPV	NZ-2	Purple	New Zealand
A-41	UTPL	ECUt-009	Red conical	Saraguro (Ecuador)

annual rainfall of 780 mm. The soil of the plot is clay loam. Planting was made into  $0.4 \times 0.4 \times 0.4$  m holes, each one previously enriched with 4 kg of earthworm humus and 300 g of 12-36-12 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) fertilizer, by using a  $2 \times 2$  m planting distance. Plants were treated when necessary against pests (*Myzus* aphids). Preventive fungicidal treatments against *Phytophthora infestans*, *Colletotrichum gloeosporioides*, and *Oidium* sp. were also administered. Plants were mounded several times for better plant support and weed control.

#### Morphological characterization

Given that no standard descriptors for morphological characterization were available for this crop, we elaborated a set of descriptors for quantitative traits. These descriptors were developed on the basis of morphological descriptors for several other Solanaceae, published by Bioversity International (<http://www.bioversityinternational.org/publications>), and of the authors' own experience in the development of *Solanum* descriptors (e.g., IPGRI 2004; Prohens et al. 2005) and the characterization of tree tomato (Prohens et al. 1996; Prohens and Nuez 2000). Descriptor development accounted for the utility of descriptors for breeders and curators of germplasm collections, the description of different plant parts, the evaluation of observed variation, and efficient data acquisition. A total of 39 descriptors, which correspond to different plant characteristics and parts, including leaves, flowers and inflorescences, fruits and infructescences, and seeds, and overall architecture have been established (Table 2).

#### Experimental design

Twenty-four plants per accession were arranged in a randomized complete block design, with three blocks and eight replications (one plant = one replication) per block. Fifteen randomly selected representative plants per accession (five per block) were evaluated. The number of samples evaluated per accession, with an equivalent number of measurements taken from each plant, was: 15 for whole-plant traits and inflorescence traits (except inflorescence rachis internode length), 30 for leaf and inflorescence rachis internode length, 75 for flower (except petal length and width) and fruit traits, and for seeds per fruit, 150

for seed size, and 375 for petal length and width. Samples for a given descriptor were evaluated on the same day, when appropriate, during the period from January 2008 to July 2009.

#### Data analysis

For each descriptor, we calculated the following parameters: mean, maximum value, minimum value, range, maximum value/minimum value ratio, standard deviation (SD), coefficient of variation (CV) and broad-sense heritability ( $H^2$ ) (Dabholkar 1992). Data were also subjected to analysis of variance (ANOVA) tests and, where significant ( $P < 0.05$ ) differences were observed among accessions, means were separated by the Student–Newman–Keuls multiple range test. Pearson linear coefficients of correlation ( $r$ ) were calculated from non-parametric regression analyses between pairs of descriptors, and significance of correlations was evaluated with the Bonferroni test (Hochberg 1988). A Euclidean distance matrix based on standardized data was computed for clustering analysis by using the UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) method (Sneath and Sokal 1973; Mohammadi and Prassana 2003). Goodness of fit of the resulting dendrogram was evaluated with the cophenetic correlation coefficient by using the Mantel (1967) test. For principal component analysis (PCA), a character correlation matrix was computed from standardized values and Pearson's correlation coefficient. ANOVA tests were performed with Statgraphics Plus 5.1 software (Statistical Graphics Corp., Rockville, MD, USA) and correlation and multivariate analyses with NTSYS-pc 2.0 software (Applied Biostatistics Inc., Setauket, NY, USA).

## Results

#### Descriptors development

As described above, we developed 39 quantitative descriptors for tree tomato (Table 2). Measurements of most of these descriptors can be done directly in the field with appropriate equipment, although for some flower, fruit, and seed descriptors it is necessary to bring samples to the laboratory. Also, certain leaf descriptors can be more easily measured in the

**Table 2** Quantitative descriptors developed for tree tomato organized by plant part, with measurement protocols

Descriptor	Descriptor code	Instructions for measurement
<b>Plant architecture</b>		
Stem length (cm)	C1	Distance from the stem base to the branching point in non-decapitated plants
Stem diameter (cm)	C2	Stem diameter at 30 cm below the branching point in non-decapitated plants
Internode length (cm)	C3	Distance between the first and second nodes of the stem
Crown diameter (cm)	C4	Measurement of the diameter of the horizontal projection on the ground of the crown
<b>Leaf</b>		
Stem leaf central nerve length (cm)	C5	Length of the central nerve of the lamina from the petiole insertion to the apex in stem leaves
Stem leaf lobules length (cm)	C6	Difference between the lamina length and the leaf central nerve length in stem leaves
Stem leaf width at the petiole insertion (cm)	C7	Width of the leaf lamina at the petiole insertion point in stem leaves
Stem leaf maximum width (cm)	C8	Maximum width of the leaf lamina in stem leaves
Stem leaf distance of the maximum width point (cm)	C9	Distance between the proximal part of the leaf lamina and the maximum width point in stem leaves
Stem leaf apex angle (degrees)	C10	Angle formed by the leaf lamina edges at 5 cm of the apex in stem leaves
Crown leaf central nerve length (cm)	C11	Length of the central nerve of the lamina from the petiole insertion to the apex in crown leaves
Crown leaf lobules length (cm)	C12	Difference between the lamina length and the leaf central nerve length in crown leaves
Crown leaf width at the petiole insertion (cm)	C13	Width of the leaf lamina at the petiole insertion point in crown leaves
Crown leaf maximum width (cm)	C14	Maximum width of the leaf lamina in crown leaves
Crown leaf distance of the maximum width point (cm)	C15	Distance between the proximal part of the leaf lamina and the maximum width point in crown leaves
Crown leaf apex angle (degrees)	C16	Angle formed by the leaf lamina edges at 5 cm of the apex in crown leaves
Crown leaf petiole length (cm)	C17	Length of the leaf petiole in crown leaves
<b>Inflorescence and flower</b>		
Inflorescence length (cm)	C18	Distance between distal part of the inflorescence peduncle and the distal part of the inflorescence
Inflorescence peduncle length (cm)	C19	Length of the inflorescence peduncle
Inflorescence rachis Internode length (cm)	C20	Distance between the first and second nodes of the inflorescence rachis
Petal length (cm)	C21	Length of the petal
Petal width (cm)	C22	Maximum width of the petal
Corolla diameter (cm)	C23	Diameter of the corolla
Anther length (cm)	C24	Length of the anther
Style length (cm)	C25	Length of the style
<b>Infructescence and fruit</b>		
Fruits per plant	C26	Number of fruits in adult plants of the same age
Infructescences per plant	C27	Number of infructescences in adult plants of the same age
Fruits per infructescence	C28	Average number of fruits per infructescence in a plant
Fruit length (cm)	C29	Length of the berry from the proximal to the distal part

**Table 2** continued

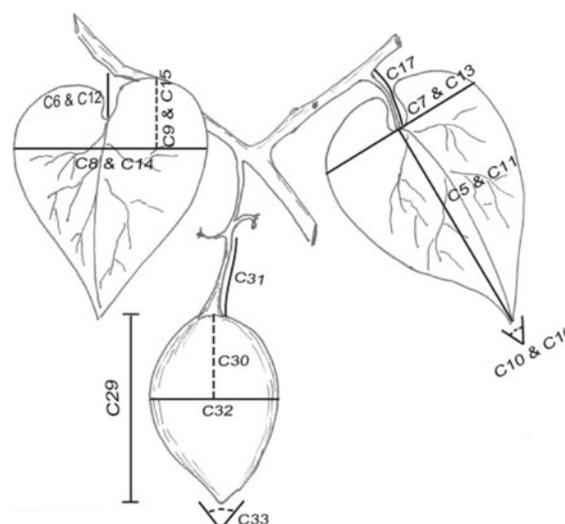
Descriptor	Descriptor code	Instructions for measurement
Fruit maximum width distance (cm)	C30	Distance between the proximal part of the berry and the maximum width point
Fruit pedicel length (cm)	C31	Length of the fruit pedicel
Fruit width (cm)	C32	Maximum width of the berry
Fruit apex angle (degrees)	C33	Angle formed by the berry edges at 2 cm of the apex
Fruit weight (g)	C34	Weight of the fruit
Fruit length/width ratio	C35	Ratio between fruit length (C29) and fruit diameter (C32)
Fruit length/maximum width distance ratio	C36	Ratio between fruit length (C29) and fruit maximum width distance (C30)
Seed		
Seed length (mm)	C37	Seed length
Seed width (mm)	C38	Seed width
Seeds per fruit	C39	Average number of seeds per fruit

laboratory by using image-processing tools, like the UTHSCSA Image Tool (University of Texas Health Science Center, San Antonio, Texas, USA) software, which was used to take leaf size measurements using scanned images. In total, we evaluated four descriptors for plant architecture (C1–C4), thirteen descriptors for leaves (C5–C17) (Fig. 1), eight descriptors for inflorescences and flowers (C18–C25), eleven descriptors for infructescences and fruits (C26–C36), and three descriptors (C37–C39) for seeds (Table 2). For all descriptors developed, measurements were easy to obtain and readily taken by technical staff trained in genetic resource management.

#### Descriptors validation

Values for the different parameters we studied are presented in Table 3. Considerable differences were found for the maximum and minimum values for many descriptors, which resulted in wide variation among accessions. The fact that stem leaves and crown leaves present considerable morphological differences in our measurement data (Table 3) justifies having different descriptors for both types of leaves.

The highest maximum value/minimum value ratios (i.e., those with higher relative ranges of variation) included the number of seeds per fruit (C39) with a ratio of 112.40, resulting from a range of variation from 3.4 to 382.2; the number of fruits per



**Fig. 1** Descriptors evaluated in tree tomato leaves and fruits. For stem and crown leaves the descriptors considered were: central nerve length (C5 and C11), leaf lobules length (C6 and C12), leaf width at the petiole insertion (C7 and C13), leaf maximum width (C8 and C14), leaf distance of the maximum width point (C9 and C15), and leaf apex angle (C10 and C16); additionally, for crown leaves, the leaf petiole length (C17) was evaluated. For fruits the descriptors considered were: fruit length (C29), fruit maximum width distance (C30), fruit pedicel length (C31), fruit width (C32), and fruit apex angle (C33)

plant (C26) with a ratio of 8.76, and values ranging from 18.3 to 160.0; and the number of fruits per infructescence (C28) with a ratio of 7.64 and

**Table 3** Mean, minimum, and maximum and minimum values, range, maximum value/minimum value ratio, standard deviation (SD), coefficient of variation (CV) and broad sense heritability ( $H^2$ ) for the 39 descriptors in the 24 tree tomato accessions studied

Descriptor	Descriptor code	Mean	Minimum	Maximum	Range	Maximum/Minimum	SD	CV (%)	$H^2$
Plant architecture									
Stem length (cm)	C1	137.0	116.3	163.4	47.1	1.41	11.4	8.3	0.35
Stem diameter (cm)	C2	3.44	2.60	4.70	2.10	1.81	0.42	12.6	0.30
Internode length (cm)	C3	4.24	3.57	5.74	2.17	1.61	0.44	10.4	0.14
Crown diameter (cm)	C4	125.5	77.5	159.0	81.5	2.05	21.2	16.9	0.24
Leaf									
Stem leaf central nerve length (cm)	C5	29.6	22.4	34.3	11.9	1.53	2.4	8.0	0.22
Stem leaf lobules length (cm)	C6	5.84	3.73	6.95	3.22	1.86	0.76	13.0	0.27
Stem leaf width at the petiole insertion (cm)	C7	22.7	18.0	25.3	7.3	1.40	1.9	8.4	0.21
Stem leaf maximum width (cm)	C8	25.0	20.8	27.7	6.9	1.33	1.7	7.0	0.15
Stem leaf distance of the maximum width point (cm)	C9	11.2	9.55	12.5	2.9	1.31	0.7	6.4	0.04
Stem leaf apex angle (degrees)	C10	76.9	65.3	81.7	16.4	1.25	4.1	5.3	0.44
Crown leaf central nerve length (cm)	C11	21.8	15.5	25.3	9.8	1.63	2.2	10.2	0.39
Crown leaf lobules length (cm)	C12	4.29	2.66	5.84	3.18	2.20	0.80	18.6	0.43
Crown leaf width at the petiole insertion (cm)	C13	15.3	9.54	19.0	9.5	1.99	2.3	15.0	0.47
Crown leaf maximum width (cm)	C14	17.5	11.0	20.9	9.9	1.90	2.3	13.4	0.47
Crown leaf distance of the maximum width point (cm)	C15	7.54	5.04	8.80	3.76	1.75	0.95	12.7	0.28
Crown leaf apex angle (degrees)	C16	66.8	41.0	83.8	42.9	2.05	11.1	16.5	0.40
Crown leaf petiole length (cm)	C17	8.17	6.02	9.88	3.86	1.64	0.9	11.1	0.28
Inflorescence and flower									
Inflorescence length (cm)	C18	8.05	4.73	9.56	4.83	2.02	0.89	11.1	0.49
Inflorescence peduncle length (cm)	C19	3.54	1.63	4.93	3.30	3.02	0.62	17.5	0.36
Inflorescence rachis internode length (cm)	C20	2.23	1.61	2.77	1.16	1.72	0.23	10.1	0.36
Petal length (cm)	C21	1.19	1.00	1.32	0.32	1.32	0.08	6.7	0.03
Petal width (cm)	C22	0.48	0.42	0.56	0.14	1.33	0.04	7.6	0.17
Corolla diameter (cm)	C23	2.39	2.00	2.64	0.64	1.32	0.17	7.0	0.03
Anther length (cm)	C24	0.57	0.48	0.66	0.18	1.38	0.04	6.6	0.24
Style length (cm)	C25	0.59	0.48	0.69	0.21	1.44	0.04	6.8	0.33
Inflorescence and fruit									
Fruits per plant	C26	40.5	18.3	160.0	141.7	8.76	27.8	68.7	0.92
Inflorescences per plant	C27	13.5	7.20	22.1	14.9	3.07	3.6	26.6	0.46
Fruits per inflorescence	C28	3.22	2.11	16.11	14.00	7.64	2.80	87.0	0.97
Fruit length (cm)	C29	6.47	3.98	7.92	3.94	1.99	0.87	13.5	0.96
Fruit maximum width distance (cm)	C30	2.76	1.60	3.25	1.65	2.03	0.35	12.8	0.86
Fruit pedicel length (cm)	C31	4.77	3.91	5.91	2.00	1.51	0.43	8.9	0.55
Fruit width (cm)	C32	4.95	3.74	5.97	2.23	1.60	0.63	12.7	0.96
Fruit apex angle (degrees)	C33	127.8	118.8	134.7	15.9	1.13	5.0	3.9	0.76
Fruit weight (g)	C34	92.6	30.51	154.2	123.7	5.05	32.0	34.6	0.96
Fruit length/width ratio	C35	1.31	1.06	1.49	0.43	1.41	0.11	8.0	0.86
Fruit length/maximum width distance ratio	C36	2.35	2.20	2.50	0.30	1.14	0.08	3.5	0.24

Table 3 continued

Descriptor	Descriptor code	Mean	Minimum	Maximum	Range	Maximum/Minimum	SD	CV (%)	$H^2$
Seed									
Seed length (mm)	C37	3.83	3.40	4.20	0.80	1.24	0.18	4.7	0.67
Seed width (mm)	C38	3.13	2.80	3.40	0.60	1.21	0.15	4.9	0.72
Seeds per fruit	C39	249.4	3.4	382.2	378.8	112.40	100.0	40.1	0.90

maximum and minimum values of 2.11 and 16.11, respectively (Table 3). In contrast, the lowest relative ranges of variation included fruit apex angle (C33), with a ratio of 1.13 and values ranging from 118.8 to 134.7 degrees, fruit length/maximum width distance ratio (C36), with a ratio of 1.14 and maximum and minimum values of 2.20 and 2.50, respectively, and seed width (C38) with a ratio of 1.21 and a range from 2.80 to 3.40 mm. Regarding the coefficient of variation (CV), it ranged between 3.5% for fruit length/maximum width distance ratio (C36) and 87.0% for number of fruits per infructescence (C28). Descriptors with low CV values also included the fruit apex angle (C33; 3.9%), seed length (C37; 4.7%), and seed width (C38; 4.9%), while descriptors with high values for CV included the number of fruits per plant (C26; 68.7%), number of seeds per fruit (C39; 40.1%), and fruit weight (C34; 34.6%). None of the CV values for plant architecture, leaf, inflorescence and flower reached values  $>20\%$ , while five infructescence, fruit and seed descriptors had CV values  $>20\%$  (Table 3). Broad-sense heritability values ( $H^2$ ) also presented a wide range of variation, with values between 0.03 for petal length (C21) and corolla diameter (C23), and 0.97 for number of fruits per infructescence (C28) (Table 3). In general, low or moderate  $H^2$  values (always  $<0.50$ ) were obtained for plant architecture, leaf, and inflorescence and flower descriptors. However, all infructescence, fruit and seed descriptors, except the fruit length/maximum width distance ratio (C36;  $H^2 = 0.24$ ) and infructescences per plant (C27;  $H^2 = 0.46$ ), had heritability values  $>0.50$ , and, notably, the number of fruits per plant (C26), number of fruits per infructescence (C28), fruit length (C29), fruit diameter (C32), fruit weight (C34), and number of seeds per fruit (C39), had heritability values  $\geq 0.90$ .

#### Variation in the accessions studied

ANOVA analyses revealed significant ( $P < 0.05$ ) differences among accessions for all descriptors used, except for three related to flower size: petal length (C21), petal width (C22), and corolla diameter (C23) (Electronic Supplementary Material). Some of the most relevant differences found among accessions from the breeder's point of view are described below.

For plant architecture, the most relevant differences correspond to a difference of up to 47.1 cm in stem length (C1; 116.3 cm in accession A36 vs. 163.4 cm in A29) and of 81.5 cm in crown diameter (C4; 77.5 cm in A40 and 159.0 cm in A20) (Table 3 and Electronic Supplementary Material). The number of fruits per plant (C26) varied considerably among accessions, with a mean of 40.5 fruits per plant. The lowest number of fruits per plant was found in accessions A27 (18.3), A21 (20.3), and A20 (20.5), while accessions with the highest number of fruits per plant were A41 (160.0), A34 (60.7), and A35 (55.6) (Electronic Supplementary Material). The number of fruits per infructescence (C28) ranged between 2.11 (A23) and 16.11 (A41) (Table 3 and Electronic Supplementary Material), although it is worth mentioning that the accession with the second-highest number of fruits per infructescence (A36) had many fewer fruits (4.29) than did A41. Regarding fruit length (C29) and width (C32), the lowest values were observed in accession A41 (3.98 cm for C29 and 3.74 cm for C32), while the highest ones occurred in A21 (7.92 cm for C29 and 5.97 cm for C32). Fruit weight (C34) had a mean value of 92.6 g, with a wide variation among accessions, from 30.5 g for A41 to 154.2 g for A21; in this respect, five other accessions (A32, A33, A34, A35, and A36) had a mean fruit weight  $< 65$  g, and five others (A18, A20, A25, A26, and A27) had a mean fruit weight  $> 125$  g.

Regarding the number of seeds per fruit (C39), accession A41 was characterized by a very low value, with only 3.4 seeds per fruit; when considering the remaining accessions, it varied between 124.5 for A34 and 382.2 for A21 (Table 3 and Electronic Supplementary Material).

#### Differences among cultivar groups

When considering the cultivar groups established, for most descriptors the value of the single accession of the red conical group did not overlap with the ranges of variation of any of the other groups, which indicates that this accession presents many morphological differences with respect to the rest of materials studied (Table 4 and Electronic Supplementary Material). In this respect, this single-accession group is characterized by a comparatively taller and thicker stem, shorter inflorescences and smaller flowers, and infructescences with a high number of small fruits, which have very few seeds. But when considering the remaining cultivar groups, the ranges of variation of accessions of the orange, orange pointed, purple, and red groups overlap for many descriptors (Table 4). The descriptors for which the ranges of variation of two or more of these cultivar groups do not overlap include internode length (C3), stem leaf central nerve length (C5), number of fruits per plant (C26), number of infructescences per plant (C27), number of fruits per infructescence (C28), fruit length (C29), fruit maximum width distance (C30) fruit width (C32), fruit apex angle (C33), fruit weight (C34), fruit length/width ratio (C35), fruit length/maximum width distance ratio (C36), and number of seeds per fruit (C39) (Table 4). In all cases, the ranges of variation of the orange and red cultivar groups do not overlap, with the orange group having greater internode length (C3), stem leaf central nerve length (C5), number of fruits per plant (C26), number of infructescences per plant (C27), number of fruits per infructescence (C28), and fruit apex angle (C33), and lower fruit length (C29), fruit maximum width distance (C30), fruit width (C32), fruit weight (C34), fruit length/width ratio (C35), fruit length/maximum width distance ratio (C36), and number of seeds per fruit (C39). Also, accessions of the orange pointed group have a smaller fruit apex angle (C33) than do the orange, red, or purple groups, and the red group also has a lower value than does the purple group for this

descriptor (Table 4). Finally, the accessions of the purple cultivar group have lower values than do the red group for the fruit length/width ratio (C35).

#### Correlations among descriptors

Thirty-two out of 741 correlations between descriptors were significant ( $r \geq 0.78$ ) according to the Bonferroni significance test at  $P \leq 0.05$  (Table 5 and Electronic Supplementary Material). Most of these correlations (27) corresponded to descriptors from the same part of the plant, although, for the case of plant architecture, no significant correlations were found among these descriptors. We found four significant correlations between stem-leaf descriptors, and 11 between crown-leaf descriptors. All these significant correlations were positive and corresponded to leaf-size related descriptors as well as some size-related descriptors and the leaf apex angle (C10 for stem leaves and C16 for crown leaves). However, remarkably, no significant correlations were detected between any of the stem-leaf descriptors and crown-leaf descriptors (Table 5). For inflorescence and flower descriptors, only two significant positive correlations were found, namely, between inflorescence length (C18) and inflorescence peduncle length (C19) and between petal length (C21) and corolla diameter (C23). For infructescence and fruit descriptors, we found nine significant correlations, of which seven were positive and two negative (Table 5). The positive correlations were those between fruits per plant (C26) and fruits per infructescence (C28), as well as six correlations involving four descriptors related to fruit size: fruit length (C29), fruit maximum width distance (C30), fruit diameter (C32) and fruit weight (C34); while the two negative ones were between number of fruits per plant (C26) and fruit length (C29) and between C26 and fruit maximum width distance (C30). For seed descriptors, the only significant correlation was found between seed length (C37) and width (C38). Finally, the five significant correlations involving descriptors from different groups involved negative correlations between stem leaf lobule length (C6) and fruit length/width ratio (C35) and between inflorescence length (C18) and number of fruits per infructescence (C28), and three positive correlations between number of seeds per fruit (C39) and three fruit-size descriptors, namely,

**Table 4** Mean, minimum (Min), and maximum (Max) values for each of the cultivar groups

Descriptors	Descriptor code	Orange ( <i>n</i> = 3)			Orange pointed ( <i>n</i> = 10)			Purple ( <i>n</i> = 6)			Red ( <i>n</i> = 4)			Red conical ( <i>n</i> = 1)		
		Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max
<b>Plant architecture</b>																
Stem length (cm)	C1	141.3	127.7	163.4	133.0	116.3	147.8	140.1	129.5	160.1	137.1	129.6	143.5	145.9		
Stem diameter (cm)	C2	3.49	3.29	3.59	3.49	3.01	4.06	3.31	2.60	3.71	3.15	2.86	3.52	4.70		
Internode length (cm)	C3	4.54	4.46	4.63	4.22	3.57	5.74	4.32	4.01	4.51	3.95	3.70	4.17	4.25		
Crown diameter (cm)	C4	111.2	98.6	132.7	136.3	112.0	159.0	112.0	77.5	142.0	124.6	116.0	147.9	144.3		
<b>Leaf</b>																
Stem leaf central nerve length (cm)	C5	30.0	29.1	31.8	30.7	28.1	34.3	29.1	22.4	31.9	27.6	26.2	28.8	29.3		
Stem leaf lobules length (cm)	C6	6.15	5.21	6.78	5.39	3.73	6.34	6.32	5.76	6.61	5.75	5.36	6.34	6.95		
Stem leaf width at the petiole insertion (cm)	C7	23.9	21.9	25.2	22.1	18.0	24.7	23.3	20.5	25.3	22.4	21.2	23.1	23.7		
Stem leaf maximum width (cm)	C8	26.0	24.4	27.4	24.9	20.8	27.7	25.2	21.8	27.2	24.5	23.2	25.2	24.3		
Stem leaf distance of the maximum width point (cm)	C9	11.8	10.8	12.3	11.3	9.6	12.4	11.1	10.2	12.5	11.0	10.2	11.4	11.0		
Stem leaf apex angle (degrees)	C10	78.7	77.1	81.7	74.9	65.3	81.6	77.7	73.4	80.7	78.6	76.7	80.1	79.8		
Crown leaf central nerve length (cm)	C11	22.2	21.3	23.0	22.3	20.1	23.6	20.6	15.5	23.3	22.4	17.0	25.3	21.2		
Crown leaf lobules length (cm)	C12	4.42	3.78	5.41	3.99	2.98	4.95	4.21	2.66	4.89	4.67	3.50	5.44	5.84		
Crown leaf width at the petiole insertion (cm)	C13	15.4	13.4	17.4	14.9	12.1	17.2	15.0	9.5	17.4	16.4	11.9	19.0	17.70		
Crown leaf maximum width (cm)	C14	18.1	16.6	19.8	17.1	14.7	19.1	16.8	11.0	19.4	18.8	14.1	20.9	20.0		
Crown leaf distance of the maximum width point (cm)	C15	8.14	8.02	8.28	7.41	6.57	8.51	7.13	5.04	8.80	7.78	5.74	8.67	8.41		
Crown leaf apex angle (degrees)	C16	67.6	64.0	69.9	61.5	41.0	77.5	68.5	56.5	77.8	73.1	53.7	82.8	83.8		
Crown leaf petiole length (cm)	C17	8.32	7.18	9.05	8.15	7.26	8.83	7.40	6.02	8.45	8.86	8.10	9.44	9.88		
<b>Inflorescence and flower</b>																
Inflorescence length (cm)	C18	8.45	7.67	9.56	8.27	7.44	9.15	8.00	7.29	8.40	8.10	7.73	8.70	4.73		
Inflorescence peduncle length (cm)	C19	3.87	3.12	4.93	3.68	2.76	4.47	3.36	3.14	3.64	3.71	3.46	3.88	1.62		
Inflorescence rachis internode length (cm)	C20	2.43	2.18	2.77	2.25	2.03	2.59	2.22	1.94	2.33	2.19	2.01	2.38	1.61		
Petal length (cm)	C21	1.21	1.16	1.25	1.20	1.11	1.26	1.21	1.05	1.32	1.18	1.07	1.24	1.00		
Petal width (cm)	C22	0.49	0.44	0.53	0.47	0.42	0.56	0.49	0.44	0.53	0.51	0.47	0.53	0.45		
Corolla diameter (cm)	C23	2.43	2.32	2.50	2.40	2.21	2.57	2.43	2.10	2.64	2.36	2.14	2.47	2.01		
Anther length (cm)	C24	0.60	0.58	0.63	0.57	0.51	0.66	0.59	0.55	0.62	0.57	0.55	0.59	0.48		
Style length (cm)	C25	0.61	0.60	0.63	0.60	0.57	0.69	0.59	0.54	0.62	0.57	0.54	0.58	0.48		

Table 4 continued

Descriptors	Orange ( <i>n</i> = 3)			Orange pointed ( <i>n</i> = 10)			Purple ( <i>n</i> = 6)			Red ( <i>n</i> = 4)			Red conical ( <i>n</i> = 1)		
	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max
Inflorescence and fruit															
Fruits per plant	36.1	31.8	38.4	40.6	20.5	60.7	34.6	20.3	54.1	22.6	18.3	26.9	160.0		
Inflorescences per plant	14.0	13.2	14.7	14.3	7.2	20.6	14.5	9.5	22.1	10.6	8.1	12.5	10.0		
Fruits per inflorescence	2.59	2.27	2.91	2.89	2.10	3.92	2.36	2.13	2.61	2.15	1.98	2.26	16.00		
Fruit length (cm)	6.30	6.02	6.75	6.29	5.50	7.49	6.57	5.56	7.92	7.53	7.36	7.62	3.98		
Fruit maximum width distance (cm)	2.78	2.63	2.97	2.68	2.43	3.05	2.82	2.45	3.25	3.11	3.00	3.23	1.60		
Fruit pedicel length (cm)	4.72	4.21	5.21	4.66	3.96	5.12	4.92	4.52	5.14	5.07	4.49	5.91	3.91		
Fruit width (cm)	5.17	5.00	5.44	4.59	4.04	5.88	5.23	4.68	5.96	5.56	5.49	5.64	3.74		
Fruit apex angle (degrees)	132.4	130.7	134.4	124.0	118.8	129.4	132.7	130.3	134.7	127.9	125.4	129.6	123.4		
Fruit weight (g)	92.7	83.5	98.2	75.1	50.7	139.2	108.8	75.8	154.2	127.7	123.4	131.6	30.5		
Fruit length/width ratio	1.22	1.13	1.33	1.37	1.23	1.48	1.25	1.18	1.33	1.36	1.34	1.38	1.06		
Fruit length/maximum width distance ratio	2.26	2.23	2.29	2.34	2.18	2.46	2.32	2.21	2.44	2.42	2.36	2.45	2.50		
Seed															
Seed length (cm)	0.39	0.37	0.40	3.80	0.34	0.41	0.38	0.35	0.40	0.38	0.37	0.39	0.42		
Seed width (cm)	0.32	0.31	0.32	3.20	0.28	0.34	0.31	0.29	0.32	0.31	0.30	0.31	0.32		
Seeds per fruit	259.9	239.8	272.8	192.0	124.5	352.6	317.9	245.1	382.2	343.7	312.8	369.5	3.4		

Numbers in brackets indicate the number of accessions in each cultivar group

**Table 5** Pearson linear correlation coefficients between descriptors studied (C codes; see Table 2 for full description) and for which at least one correlation was significant (values in bold) according to the Bonferroni test ( $P \leq 0.05$ ;  $r \geq 0.78$ )

Part of the plant	Leaf (stem)		Leaf (crown)				Infl. & flower		Infruct. & fruit					Seed	
	C6	C7	C11	C12	C13	C14	C18	C21	C26	C29	C30	C32	C34	C37	
Leaf (stem)	C7	<b>0.84</b>													
Leaf (stem)	C8	0.56	<b>0.90</b>												
Leaf (stem)	C10	<b>0.82</b>	<b>0.82</b>												
Leaf (crown)	C13	0.43	0.25	<b>0.78</b>	<b>0.93</b>										
Leaf (crown)	C14	0.34	0.17	<b>0.84</b>	<b>0.89</b>	<b>0.98</b>									
Leaf (crown)	C15	0.25	0.07	<b>0.82</b>	0.74	<b>0.86</b>	<b>0.91</b>								
Leaf (crown)	C16	0.57	0.42	0.47	<b>0.84</b>	<b>0.84</b>	<b>0.81</b>								
Infl. & flower	C19	-0.18	-0.07	0.13	-0.13	-0.04	-0.01	<b>0.84</b>							
Infl. & flower	C23	-0.06	0.17	0.12	-0.08	0.04	0.03	0.52	<b>0.97</b>						
Infruct. & fruit	C28	0.20	0.01	-0.05	0.33	0.14	0.16	<b>-0.78</b>	-0.49	<b>0.94</b>					
Infruct. & fruit	C29	-0.06	-0.01	0.31	0.15	0.31	0.29	0.37	0.18	<b>-0.78</b>					
Infruct. & fruit	C30	-0.08	0.02	0.33	0.10	0.27	0.26	0.51	0.28	<b>-0.82</b>	<b>0.96</b>				
Infruct. & fruit	C32	0.40	0.35	0.22	0.41	0.45	0.40	0.23	0.25	-0.67	<b>0.84</b>	<b>0.82</b>			
Infruct. & fruit	C34	0.31	0.23	0.20	0.37	0.42	0.37	0.17	0.21	-0.68	<b>0.88</b>	<b>0.84</b>	<b>0.98</b>		
Infruct. & fruit	C35	<b>-0.81</b>	-0.62	0.20	-0.47	-0.23	-0.19	0.36	-0.02	-0.34	0.40	0.40	-0.15	-0.05	
Seed	C38	0.10	0.20	0.31	0.23	0.33	0.38	0.00	-0.06	0.05	0.08	0.06	0.03	-0.01	<b>0.82</b>
Seed	C39	0.21	0.21	-0.09	0.08	0.09	0.01	0.28	0.29	-0.70	<b>0.78</b>	0.77	<b>0.85</b>	<b>0.87</b>	-0.33

Horizontal and vertical lines separate correlations corresponding to descriptors from the same part of the plant (above) from those corresponding to correlations between descriptors from different parts of the plant (below)

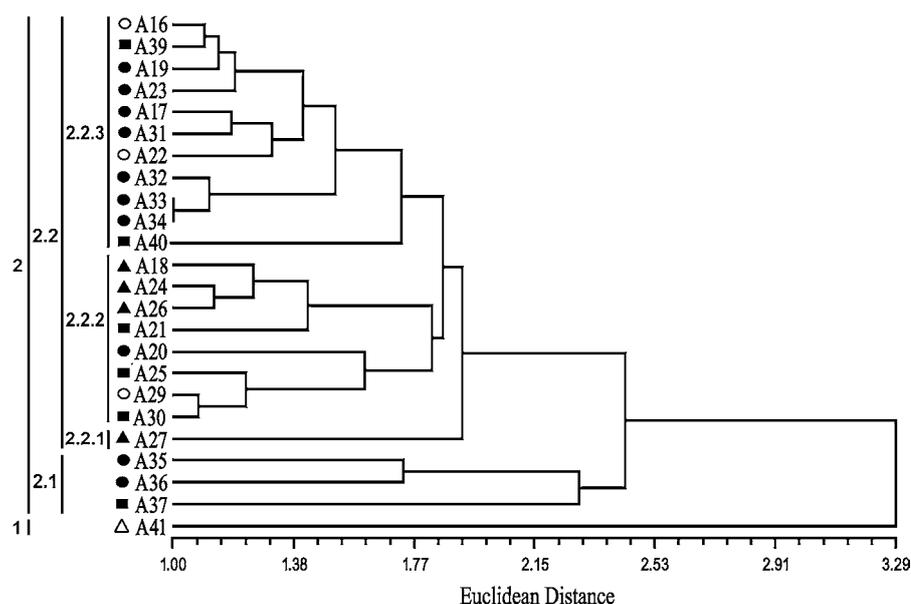
fruit length (C29), diameter (C32) and weight (C34) (Table 5).

Multivariate analyses

The cophenetic correlation coefficient of the phenogram obtained from 39 descriptors has a value of 0.86. The two basal branches (clusters 1 and 2) of the phenogram separate accession A41 from the rest of accessions (Fig. 2). The latter accession presents the highest or lowest value from all accessions for 23 out of 39 descriptors studied, in particular for those related to infructescence, fruit and seeds (Table 4 and Electronic Supplementary Material). At the next level, two other branches (clusters 2.1 and 2.2) are distinguished; cluster 2.1 includes accessions A35, A36 and A37, which are characterized by low values for fruit-size descriptors, and cluster 2.2 the 20

remaining accessions. This latter cluster presents three subclusters (2.2.1, 2.2.2, and 2.2.3), of which 2.2.1 includes a single accession (A27), with the lowest number of fruits per plant (C26) and few infructescences per plant (C27), as well as few fruits per infructescence (C28); 2.2.2 includes eight accessions with high values for fruit-size descriptors; and 2.2.3 includes 11 accessions characterized by sharing intermediate values for fruit-size descriptors (Fig. 2). With the exception of the red conical group, which contains the single accession A41, no clear-cut grouping of accessions from different cultivar groups can be observed in the phenogram. However, it is worth mentioning that cluster 2.1 does not contain any accessions of the orange or red groups, and that subcluster 2.2.3 does not contain any member of the red group, while most of the orange pointed accessions are included in it (Fig. 2).

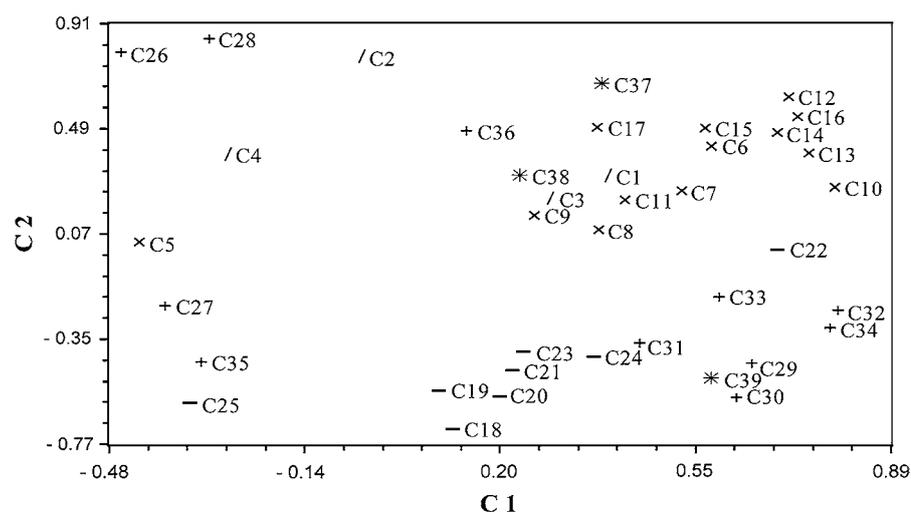
**Fig. 2** UPGMA phenogram of 24 accessions of tree tomato based on 39 quantitative descriptors. Phenetic relationships were based on Euclidean pairwise distance estimates. The different cultivar groups are indicated: orange (*open circle*), orange pointed (*filled circle*), purple (*square*), red (*filled triangle*), and red conical (*open triangle*)



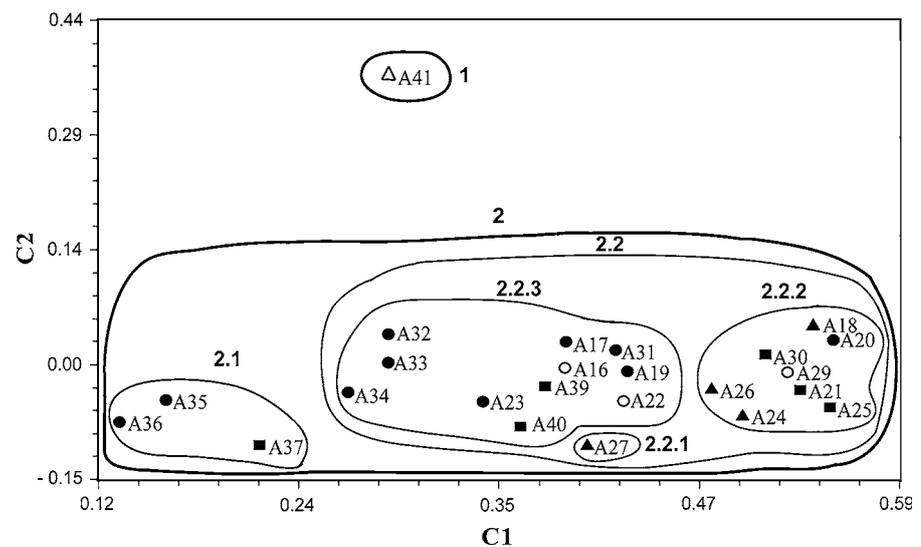
The first and second components of the PCA accounted for 25.33 and 22.08% of the total variation, respectively. The first component was positively correlated with fruit size (C29, C32, and C34), rounded fruit shape (C30 and C33), number of seeds per fruit (C39), crown leaf size (C12, C13, C14, and C15), as well as with other descriptors, like stem leaf apex angle (C10) and petal width (C22), and negatively correlated with descriptors related to number of fruits and of infructescences (C26, C27, and C28), elongated fruit shape (C35), as well as to others, like stem leaf central nerve length (C5), style length (C25) and crown diameter (C4) (Fig. 3). The second

component was positively correlated with the number of fruits (C26) and infructescences per plant (C28), stem diameter (C2), seed length (C37), fruit length/maximum width distance ratio (C36, which indicates a conical shape), crown leaf apex angle (C16), as well as to some crown leaf size descriptors (C12, C13, C14, C15, and C17), and negatively correlated to inflorescence and flower size descriptors (C18, C19, C20, C21, C23, C24, and C25), and to fruit size descriptors (C29, C31, C32, and C34), elongated fruit shape (C30 and C35), as well as to the number of seeds per fruit (C39) (Fig. 3). The projection of the accessions on a two-dimensional PCA plot (Fig. 4)

**Fig. 3** Relationships between the descriptors developed (see Table 2) resulting from the characterization of 24 accessions of tree tomato based on the two-first components of PCA (25.33 and 22.08% of the total variation, respectively). Different parts of the plant are represented by different symbols: plant architecture (*slash symbol*), leaf (*multi symbol*), inflorescence and flower (*minus sign*), infructescence and fruit (*plus sign*), and seed (*asterisk symbol*)



**Fig. 4** Morphological similarities based on 39 quantitative descriptors (Table 2) among the 24 accessions of tree tomato based on the two-first components of PCA (25.33 and 22.08% of the total variation, respectively) and grouping of the accessions according to the clusters considered in Fig. 1. The different cultivar groups are indicated: orange (open circle), orange pointed (filled circle), purple (square), red (filled triangle), and red conical (open triangle)



gives a distribution congruent with that obtained in the cluster analysis (Fig. 2). In this respect, the second component clearly separated accession A41 (cluster 1 in the phenogram), with high positive values for this component, from the rest of accessions (cluster 2). On the other hand, the first component separated accessions A35, A36, and A37 (cluster 2.1), which have low values for this first component, from the remaining accessions (cluster 2.2) (Fig. 4). Furthermore, within cluster 2.2, the accessions corresponding to subclusters 2.2.1, 2.2.2, and 2.2.3 are not intermingled, with accessions from subcluster 2.2.2 having higher values for the first component than those of subclusters 2.2.1 and 2.2.3. Regarding these latter subclusters, the single accession subcluster 2.2.1 is situated very close to subcluster 2.2.2, although it has a lower value for component 2 than do accessions of subcluster 2.2.3. As occurred with the cluster analysis, accessions of the different groups, with the exception of the red conical group accession A41, are intermingled in the PCA analysis, although all accessions of the orange and red groups plot in the same part of the graph, with high values for component 1 and low for component 2 (Fig. 4).

## Discussion

Tree tomato is a neglected Andean crop considered as one of the “Lost Crops of the Incas” (National Research Council 1989). Its genetic and phenotypic

diversity and genetic resources have been barely studied, with no list of standard descriptors. To our knowledge, no reports exist on relationships among different cultivar groups or on the development of morphological descriptors for tree tomato characterization. In this respect, our work represents the first contribution to studying the diversity and relationships of cultivar groups of tree tomato, including a representation of the diversity of accessions, mostly from the Andean region, which is the center of origin of tree tomato (Bohs 1991; Bohs and Nelson 1997).

## Descriptors development

Thirty-nine descriptors, focused on five groups of characters organized by plant part (plant architecture, leaf, inflorescence and flower, infructescence and fruit, and seed) have been used to describe morphological variation in this crop. The study of variation parameters for these descriptors has allowed us to identify those for which more variation exists in the germplasm, and which might potentially be more useful for the description and study of variation of tree tomato collections. In particular, heritability estimates are useful parameters for the management of genetic resources, as well as for selection and breeding programs (Nyquist 1991; Holland et al. 2003). When feasible, primary characterization descriptors should have high heritability values (Dudley and Moll 1969; Nyquist 1991), which allow greater selection efficiency (Wricke and Weber 1986;

Dabholkar 1992). Here, we found that the highest values for heritability were for infructescence, fruit, and seed traits. These traits are of particular interest for primary characterization, given that these are also economically important parts of the plant for commercial production.

#### Variation for the traits studied

We have found considerable diversity for most of the traits studied. For most of these traits, ranges of variation of five provisional cultivar groups (with the exception of the odd, red conical group) overlapped. The characters for which tree-tomato cultivar groups are typically distinguished, mostly fruit colour and shape, have been found to be controlled by a few major genes or QTLs in other solanaceous crops (Nunome et al. 2001; Zygier et al. 2005; Brewer et al. 2007). This may suggest that a similar situation occurs in tree tomato, as a monogenic or oligogenic control of these traits could facilitate their introgression into different genetic backgrounds and, thus, could explain the lack of morphological differentiation for most traits among cultivar groups.

Plant architecture traits are of interest for the establishment and management of crop plantations (Fischer 2000; Roos et al. 2005; Turnbull 2005). In this respect, we found important differences among accessions, although few differences among cultivar groups, except that the red conical group (accession A41) has a wider stem diameter than does any other cultivar group. Stem and crown leaves have shown important differences in size and shape. Stem leaves are present in juvenile plants and abscise as the plant develops, while crown leaves have a higher density in the crown and are measured when the plant has reached a more advanced developmental stage. Although important differences have been found among accessions for leaf traits, few differences have been observed among cultivar groups. Variation parameters for leaf traits have had low values, suggesting that these traits, which very likely have not been subjected to artificial selection, have undergone few changes during the domestication process (Zohary and Spiegel-Roy 1975).

Inflorescence and flower traits are critical for reproductive success and, although some variation was found for these traits, the scale was small. In the

case of flower size, no differences were found among accessions, suggesting that the shape and size of flower organs are highly conserved in this species, a characteristic probably associated with insect-mediated pollination and possible indication that there has been selection pressure to maintain these traits during domestication (Pringle and Murray 1991b; Bernhardt 1996; Lewis and Considine 1999; Tcherkez 2004).

For most infructescence and fruit traits, important variation was found among accessions, and values for variation parameters were high, as might be expected for the organ/s for which a crop has been domesticated (Zohary and Spiegel-Roy 1975). For example, high diversity in fruit traits has been observed in other *Solanum* crops domesticated for their fruits, such as tomato, eggplant, and pepino (Anderson et al. 1996; Prohens et al. 2005; Ranc et al. 2008). This same phenomenon is also evident in other solanaceous crops domesticated for other parts of the plant. For example, potato tubers (Huamán and Spooner 2002) and tobacco leaves (Wernsman and Rufty 1987) display a wide diversity of sizes, shapes and colours.

Fruit size traits, which are of great commercial interest, were highly variable, with differences among accessions of  $>5\times$  in fruit weight. Also, important differences were found within the five cultivar groups. The red conical group had much smaller fruits than did the rest of cultivar groups, but this was compensated by a higher number of fruits per infructescence and plant and less seedy fruits. Some accessions, in particular A-21 and A-25 (purple group), A-20 (orange pointed), and A-18 (red), which have had the largest fruits (averages of 154, 132, 139 and 130 g/fruit, respectively) might be of interest for large-scale cultivation, as the commercial market demands large fruits (Jackson and Looney 1999; Prohens and Nuez 2000). The fact that there are large-fruited accessions of various shapes in different cultivar groups may favour diversification in the marketing of tree tomato. It is also of interest to point out that the heaviest fruits obtained in our trial exceed those reported by other authors (El-Zeftawi et al. 1988; Pringle and Murray 1991a; Romero-Rodríguez et al. 1994; Prohens et al. 1996), suggesting that some of the accessions we evaluated may be of special interest for marketing.

The red conical group, represented by the single accession A-41, presented many differences, in

particular for infructescence and fruit and seed traits with respect to the rest of cultivar groups. These differences are basically caused by a small fruit, a high number of fruits per plant and infructescence, a different fruit shape, and small number of seeds per fruit. Given its small size, it might be considered as a primitive or semi-domesticated accession; however, the small number of seeds per fruit of this accession seems to rule out this hypothesis, as wild *Solanum* relatives have a high number of seeds per fruit (Bohs 2001). Accession A-41 might represent an intermediate step between normal non-parthenocarpic accessions and parthenocarpic accessions, which to our knowledge have not been described in cultivated tree tomato. In other *Solanum* crops, including tomato, pepper, eggplant, and pepino, types with few seeds or parthenocarpy, of high agronomic interest, have been described (Ikeda et al. 1999; Prohens et al. 1998; Gorguet et al. 2005). Alternatively, accession A-41 might be an aneuploid, polyploidy, or another cytologically abnormal type with reduced fertility (Pringle and Murray 1992a, b).

Although traits related to seed size had relatively little variation and no differences were found among cultivar groups, some differences were observed among accessions. In this respect, although small seed size would be desirable for consumption, modifications in seed size may induce changes in viability, since small seeds usually have a lower germination percentage (Silvertown 1981), and this might partially explain the reduced variation for this trait. Also, a low number of seeds per fruit is desirable for consumption, and this occurs in other solanaceous crops, but a high number of seeds favours the formation of larger fruits, due to the influence of changes in plant growth regulators induced by the presence of seeds (Fos et al. 2000). This may result in a balancing of selective forces.

#### Correlations among descriptors

Most of the significant correlations among traits corresponded to those from the same plant part, mostly to traits measuring different characteristics of a single organ. For example, we found significant correlations among size-related traits of leaves and of fruits. This provides evidence of a shared genetic control or of the pleiotropic effect of one or a few

genes that affect the organ size (Cooper et al. 2002; Sulmon et al. 2006). On the other hand, very few significant correlations were found among traits from different plant parts, suggesting that different genetic mechanisms control these developmental pathways. Comparative gene-expression studies among different organs in a number of species have shown that there are many differences among organs in the qualitative and quantitative gene expression (Schmid et al. 2005), which might explain these low correlation values. In fact, most of the correlations from the different plant parts corresponded to correlations between fruit and seed traits, which are known to be interrelated in many taxa.

#### Multivariate analysis

The cluster and PCA analysis results are congruent and clearly separate the morphologically distinct accession A-41 from other accessions. Accessions clustered mostly on the basis of fruit size and shape, as well as for the number of infructescences and fruits. Accessions from several cultivar groups (and countries) are scattered in the phenogram and PCA graph, and the resulting clusters or subclusters with two or more accessions include accessions from different cultivar groups. This indicates that, in some cases, there is more morphological similarity between accessions of different cultivar groups or countries than between accessions of the same cultivar group or country. This is probably caused by the fact that our initial classification of cultivar groups was made by considering only a few traits (fruit colour and shape), failing to account for other traits that significantly affect the plant morphology. The lack of grouping of accessions from different countries reflects a lack of regional differentiation, which is probably caused by the human-mediated transport and seed exchange from different countries, but also may be a function of small sample sizes for certain countries. Further research involving molecular studies may help in clarifying this issue.

**Acknowledgments** This work was partially financed by the Ministerio de Ciencia e Innovación (RF2008-00008-00-00) and by the Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología from Ecuador (SENACYT). We are grateful to the curators of the genebanks that provided the germplasm needed to carry out this research.

## References

- Anderson GJ, Jansen RK, Kim Y (1996) The origin and relationships of the pepino, *Solanum muricatum* (Solanaceae): DNA restriction fragment evidence. *Econ Bot* 50: 369–380
- Bernhardt P (1996) Anther adaptation in animal pollination. In: D'Arcy WG, Keating RC (eds) *The anther: form, function and phylogeny*. Cambridge University Press, New York, pp 192–220
- Bohs L (1989a) Ethnobotany of the genus *Cyphomandra* (Solanaceae). *Econ Bot* 43:143–163
- Bohs L (1989b) *Solanum allophyllum* (Miers) Standl. and the generic delimitation of *Cyphomandra* and *Solanum* (Solanaceae). *Ann Mo Bot Gard* 76:1129–1140
- Bohs L (1991) Crossing studies in *Cyphomandra* (Solanaceae) and their systematic and evolutionary significance. *Am J Bot* 78:1683–1693
- Bohs L (1994) *Cyphomandra* (Solanaceae). The New York Botanical Garden, Bronx
- Bohs L (1995) Transfer of *Cyphomandra* (Solanaceae) and its species to *Solanum*. *Taxon* 44:583–587
- Bohs L (2001) A revision of *Solanum* section *Cyphomandropsis* (Solanaceae). *Syst Bot Monogr* 61:1–85
- Bohs L (2007) Phylogeny of the *Cyphomandra* clade of the genus *Solanum* (Solanaceae) based on ITS sequence data. *Taxon* 56:1012–1026
- Bohs L, Nelson A (1997) *Solanum maternum* (Solanaceae), a new Bolivian relative of the tree tomato. *Novon* 7:341–345
- Bohs L, Olmstead RG (1997) Phylogenetic relationships in *Solanum* (Solanaceae) based on *ndhF* sequences. *Syst Bot* 22:5–17
- Boyes S, Strübi P (1997) Organic acid and sugar composition of three New Zealand grown tamarillo varieties (*Solanum betaceum* (Cav.)). *N Z J Crop Hortic Sci* 25:79–83
- Brewer MT, Moysenko JB, Monforte AJ, van der Knaap E (2007) Morphological variation in tomato: a comprehensive study of quantitative trait loci controlling fruit shape and development. *J Exp Bot* 58:1339–1349
- Cooper M, Podlich DW, Micallef KP, Smith OS, Jensen NM, Chapman SC, Kruger NL (2002) Complexity, quantitative traits and plant breeding: a role for simulation modelling in the genetic improvement of crops. In: Kang MS (ed) *Quantitative genetics, genomics and plant breeding*. CABI Publishing, Oxon, pp 143–166
- Dabholkar AR (1992) *Elements of biometrical genetics*. Concept Publishing Co., New Delhi
- Day Rubenstein K, Smale M, Widrechner MP (2006) Demand for genetic resources and the U.S. National Plant Germplasm System. *Crop Sci* 46:1021–1031
- de Vicente MC, Guzmán FA, Engels J, Rao VR (2006) Genetic characterization and its use in decision making for the conservation of crop germplasm. In: Ruane J, Sonnino A (eds) *The role of biotechnology in exploring and protecting agricultural genetic resources*. Food and Agriculture Organization, Rome, pp 121–128
- Dudley JW, Moll RH (1969) Interpretation and use of estimates of heritability and genetic variances in plant breeding. *Crop Sci* 9:257–262
- El-Zeftawi BM, Brohier L, Dooley L, Goubran FH, Holmes R, Scott B (1988) Some maturity indices for tamarillo and pepino fruits. *J Hortic Sci* 63:163–169
- Enciso-Rodríguez F, Martínez R, Lobo M, Barrero LS (2010) Genetic variation in the Solanaceae fruit bearing species lulo and tree tomato revealed by Conserved Ortholog (COSII) markers. *Genet Mol Biol* 33:271–278
- Fischer G (2000) Ecophysiological aspects of fruit growing in tropical highlands. *Acta Hortic* 531:91–98
- Fos M, Nuez F, García-Martínez JL (2000) The gene *pat-2*, which induces natural parthenocarp, alters the gibberellin content in unpollinated tomato ovaries. *Plant Physiol* 122:471–479
- Gorguet B, van Heusden AW, Lindhout P (2005) Parthenocarpic fruit development in tomato. *Plant Biol* 7:131–139
- Hammer K, Arrowsmith N, Gladis T (2003) Agrobiodiversity with emphasis on plant genetic resources. *Naturwissenschaften* 90:241–250
- Hernández-Bermejo JE, León J (1992) Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492. *Food Agric Organ, Rome*
- Hochberg Y (1988) A sharper Bonferroni procedure for multiple tests of significance. *Biometrika* 75:800–803
- Holdridge LR (1967) *Life zone ecology*. Tropical Science Center, San José
- Holland JB, Nyquist WE, Cervantes-Martínez CT (2003) Estimating and interpreting heritability for plant breeding: an update. *Plant Breed Rev* 22:9–111
- Huamán Z, Spooner DM (2002) Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. *Petota*). *Am J Bot* 89:947–965
- IBPGR (1990) *Descriptors for eggplant*. International Board for Plant Genetic Resources, Rome
- Ikeda T, Yakushiji H, Oda M, Taji A, Imada S (1999) Growth dependence of ovaries of facultatively parthenocarpic eggplant in vitro on indole-3-acetic acid content. *Sci Hortic* 79:143–150
- IPGRI (1996) *Descriptors for tomato (Lycopersicon spp.)*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome
- IPGRI (2004) *Descriptors for pepino (Solanum muricatum)*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome
- Jackson D, Looney N (1999) Producing and marketing quality fruit. In: Jackson D, Looney N (eds) *Temperate and subtropical fruit production*. CABI, Oxon, pp 85–108
- Kwon YS, Park SG, Yi SI (2009) Assessment of genetic variation among commercial tomato (*Solanum lycopersicum* L.) varieties using SSR markers and morphological characteristics. *Genes Genomics* 31:1–10
- Lester RN, Hawkes JG (2001) Solanaceae. In: Hanelt P and Institute of Plant Genetics and Crop Reesearch (eds) *Mansfeld's encyclopedia of agricultural and horticultural crops (except ornamentals)*, vol 4. Springer, Berlin, pp 1790–1856
- Lewis DH, Considine JA (1999) Pollination and fruit set in the tamarillo (*Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt.) 1. Floral biology. *N Z J Crop Hortic Sci* 27:101–112
- Mantel N (1967) The detection of disease clustering and generalized regression approach. *Cancer Res* 27: 209–220
- Mertz C, Gancel AL, Gunata Z, Alter P, Dhuique-Mayer C, Vaillant F, Pérez AM, Ruales J, Brat P (2009) Phenolic

- compounds, carotenoids and antioxidant activity of three tropical fruits. *J Food Compos Anal* 22:381–387
- Mohammadi SA, Prassana BM (2003) Analysis of genetic diversity in crop plants—salient statistical tools and considerations. *Crop Sci* 43:1235–1248
- Muñoz-Falcón J, Prohens J, Vilanova S, Nuez F (2008) Characterization, diversity, and relationships of the Spanish striped (*Listada*) eggplants: a model for the enhancement and protection of local heirlooms. *Euphytica* 164:405–419
- Mwithiga G, Mukolwe MI, Shitanda D, Karanja PN (2007) Evaluation of the effect of ripening on the sensory quality and properties of tamarillo (*Cyphomandra betacea*) fruits. *J Food Eng* 79:117–123
- National Research Council (1989) Lost crops of the incas: little-known plants of the andes with promise for worldwide cultivation. National Academy Press, Washington
- Nunome T, Ishiguro K, Yoshida T, Hirai M (2001) Mapping of fruit shape and color development traits in eggplant (*Solanum melongena* L.) based on RAPD and AFLP markers. *Breed Sci* 51:19–26
- Nyquist WE (1991) Estimation of heritability and prediction of selection response in plant populations. *Crit Rev Plant Sci* 10:235–322
- Pileri AM (1989) Il tamarillo. *Riv Frutticoltura* 51(11):67–70
- Pringle GJ, Murray BG (1991a) Interspecific hybridisation involving the tamarillo, *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. (Solanaceae). *N Z J Crop Hortic Sci* 19:103–111
- Pringle GJ, Murray BG (1991b) Reproductive biology of the tamarillo, *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. (Solanaceae), and some wild relatives. *N Z J Crop Hortic Sci* 19:263–273
- Pringle GJ, Murray BG (1992a) Polyploidy and aneuploidy in the tamarillo, *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. (Solanaceae) I. Spontaneous polyploidy and features of the euploids. *Plant Breed* 108:132–138
- Pringle GJ, Murray BG (1992b) Polyploidy and aneuploidy in the tamarillo, *Cyphomandra betacea* (Cav.) Sendt. (Solanaceae) II. Induction of tetraploidy, interploidy crosses and aneuploidy. *Plant Breed* 108:139–148
- Prohens J, Nuez F (2000) The tamarillo (*Cyphomandra betacea*): a review of a promising small crop. *Small Fruits Rev* 1(2):43–68
- Prohens J, Ruiz JJ, Nuez F (1996) Advancing the tamarillo harvest by induced postharvest ripening. *HortScience* 31:109–111
- Prohens J, Ruiz JJ, Nuez F (1998) The inheritance of parthenocarpy and associated traits in pepino. *J Am Soc Hortic Sci* 123:376–380
- Prohens J, Rodríguez-Burruezo A, Nuez F (2004) Breeding Andean Solanaceae fruit crops for adaptation to subtropical climates. *Acta Hort* 662:129–137
- Prohens J, Blanca J, Nuez F (2005) Morphological and molecular variation in a collection of eggplants from a secondary center of diversity: Implications for conservation and breeding. *J Am Soc Hortic Sci* 130:54–63
- Ranc L, Muñoz S, Santoni S, Causse M (2008) A clarified position for *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* in the evolutionary history of tomatoes (Solanaceae). *BMC Plant Biol* 8:130
- Rodríguez-Burruezo A, Prohens J, Nuez F (2002) Genetic analysis of quantitative traits in pepino (*Solanum muricatum*) in two growing seasons. *J Am Soc Hortic Sci* 127:271–278
- Romero-Rodríguez MA, Vázquez-Oderiz ML, López-Hernández J, Simal-Lozano J (1994) Composition of babaco, feijoa, passion-fruit and tamarillo produced in Galicia (NW Spain). *Food Chem* 49:251–255
- Roos JJ, Reid JB, Weller JL, Symons GM (2005) Shoot architecture I: regulation of stem length. In: Turnbull CGN (ed) *Plant architecture and its manipulation*. Blackwell Publishing, Oxford, pp 57–91
- Schmid M, Davison TS, Henz SR, Pape UJ, Demar M, Vingron M, Schölkopf B, Weigel D, Lohmann JU (2005) A gene expression map of *Arabidopsis thaliana* development. *Nat Genet* 37:501–506
- Silvertown JW (1981) Seed size, life span and germination date as coadapted features of plant life history. *Am Nat* 118:860–864
- Sneath PHA, Sokal RR (1973) *Numerical taxonomy*. WH Freeman, San Francisco
- Spooner DM, Hettterscheid WLA, van den Berg RG, Brandenburg WA (2003) *Plant nomenclature and taxonomy— an horticultural and agronomic perspective*. *Hortic Rev* 28:1–60
- Sulmon C, Gouesbet G, Couee I, Cabello-Hurtado F, Cavalier A, Penno C, Zaka R, Bechtold N, Thomas D, Amrani El (2006) The pleiotropic *Arabidopsis* frd mutation with altered coordination of chloroplast biogenesis, cell size and differentiation, organ size and number. *Gene* 382: 88–99
- Tcherkez G (2004) *Flowers: evolution of the floral architecture of angiosperms*. Science Publishers, Enfield
- Turnbull CGN (2005) Shoot architecture II: control of branching. In: Turnbull CGN (ed) *Plant architecture and its manipulation*. Blackwell Publishing, Oxford, pp 92–120
- Vasco C, Avila J, Ruales J, Svanberg U, Kamal-Eldin A (2009) Physical and chemical characteristics of golden-yellow and purple-red varieties of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). *Int J Food Sci Nutr* 60:278–288
- Weese TL, Bohs L (2007) A three-gene phylogeny of the genus *Solanum* (Solanaceae). *Syst Bot* 32:445–463
- Wernsman EA, Rufty RC (1987) Tobacco. In: Fehr W (ed) *Principles of cultivar development*, vol 2. Macmillan Publ, New York, pp 669–698
- Wricke G, Weber WE (1986) *Quantitative genetics and selection in plant breeding*. Walter de Gruyter, Berlin
- Zohary D, Spiegel-Roy P (1975) Beginning of fruit growing in the Old World. *Science* 187:319–327
- Zygier S, Chaim AB, Efrati A, Kaluzky G, Borvsky Y, Paran I (2005) QTLs mapping for fruit size and shape in chromosomes 2 and 4 in pepper and a comparison of the pepper QTL map with that of tomato. *Theor Appl Genet* 111:437–445