

Capítulo 1

Características y usos de los cultivos de cobertura

Adolfo Donoso, Carolina Araya, Marcela Berríos y Erika Salazar

1.1 Introducción

La presente sección tiene por objetivo identificar y presentar las características morfológicas y genéticas de las accesiones de Tomate Limachino Antiguo (*Solanum lycopersicum* L.) cultivadas en la Cuenca de Limache, Provincia de Marga Marga, Región de Valparaíso. El resultado principal de la investigación realizada por INIA es la caracterización morfológica y genética de accesiones de tomate genuinamente "Limachino", las cuales, son diferentes de otras accesiones u/o variedades que fueron o están siendo cultivadas actualmente en Chile. Esta diferencia morfológica y genética demuestra que las accesiones de tomate "Limachino" han sido conservadas a través de las semillas del fruto por generaciones de productores y del Banco de Germoplasma de INIA, a partir de lo cual es posible asignar un valor patrimonial, histórico y cultural al tomate "Limachino".

Como es sabido, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), a través de Red de Bancos de Germoplasma, conserva la más importante colección de germoplasma de tomates del país, dentro de la cual varias accesiones corresponden a tomates colectados en Chile en los años 1938, 1960, 1980 y 2015, cuyas procedencias son mayoritariamente de las zonas centro y centro-norte del país. Algunas de estas accesiones tienen asignado el nombre común de 'Limachino' en referencia al área donde fueron colectadas.

1.2 Caracterización morfológica¹

1.2.1 Materiales evaluados y métodos

La caracterización morfológica se realizó en la temporada 2016–2017 en INIA–La Platina, ubicado en la Región Metropolitana, Provincia de Santiago (33°34'S, 70°37'O, 605 msnm). Se caracterizó un total de 24 accesiones de tomate, 20 de los cuales fueron accesiones chilenas locales colectados de los cuales 9 provienen de la Provincia del Marga–Marga, Región de Valparaíso, una local peruana y tres variedades de tomate comercial cultivados en la década de 1970 (en el territorio) (**Cuadro 1.1**).

Cuadro 1.1. Antecedentes de los materiales de estudio códigos en colección, fechas de adquisición o recolección, país de origen, y localización ^{2,3,4,5}.

| Código | ID colección | ID La Platina | Nombre Cultivar | Fecha adquisición/recolección Banco | País origen | Territorio de Recolección | | |
|---------|--------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|-------------|---------------------------|------------------|--------------|
| | | | | | | Región | Provincia/Estado | Comuna |
| 28 | SLY74 | LP1808 | Limachino | 28/03/1960 ⁶ | Chile | Valparaíso | Marga Marga | Limache |
| 22 | SLY147 | LP2613 | Línea Limachino | 00/00/1987 | Chile | Valparaíso | ni ¹ | ni |
| 23 | SLY148 | LP2614 | Limachino | 00/00/1980 | Chile | Valparaíso | Marga Marga | Limache |
| 24 | SLY149 | LP2615 | Limachino | 00/00/1981 | Chile | Valparaíso | ni | ni |
| 25 | SLY150 | LP2616 | Limachino | 00/00/1982 | Chile | Valparaíso | ni | ni |
| 26 | SLY151 | LP2617 | Limachino | 00/00/1986 | Chile | Valparaíso | ni | ni |
| 27 | SLY152 | LP2618 | Limachino | 00/00/1993 | Chile | Valparaíso | ni | ni |
| RO2 | SLY157 | LP2699 | Rosado | 00-02-2016 | Chile | Bio Bio | Ñuble | Coihueco |
| RO1 | SLY159 | LP2701 | Rosado | 05-04-2015 | Chile | Maule | Talca | San Clemente |
| FIALIM1 | SLY121 | LP2014 | Limachino | 05/02/2015 | Chile | Valparaíso | Marga Marga | Limache |
| FIALIM2 | SLY122 | LP2015 | Limachino | 12/02/2015 | Chile | Valparaíso | Marga Marga | Limache |
| FIALIM3 | SLY123 | LP2016 | Limachino Italiano | 10/03/2015 | Chile | Valparaíso | Marga Marga | Limache |

¹ Todos los valores que aparecen esta sección tienen todavía el rango de preliminar, por lo cual no se recomienda citarlos.

| Código | ID colección | ID La Platina | Nombre Cultivar | Fecha adquisición/recolección Banco | País origen | Territorio de Recolección | | |
|---------|--------------|---------------|-----------------|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------|-----------------|
| | | | | | | Región | Provincia/Estado | Comuna |
| FIALIM4 | SLY124 | LP2017 | Limachino | 10/03/2015 | Chile | Valparaíso | Marga Marga | Limache |
| - | SLY30 | LP1764 | ni | 1938 | Chile | Valparaíso | Marga Marga | Limache |
| - | SLY39 | LP1773 | ni | 24/03/1938 | Chile | Arica y Parinacota | Arica | Valle de LLuta |
| - | SLY47 | LP1781 | ni | 03/03/1938 | Chile, Talca | Cautín | Temuco | |
| LP1783 | SLY49 | LP1783 | ni | 1938 | Chile | Valparaíso | Marga Marga | Limache |
| - | SLY50 | LP1784 | ni | 1938 | Chile | Valparaíso | Marga Marga | Limache |
| - | SLY65 | LP1799 | ni | 21/03/1938 | Chile | Antofagasta | Antofagasta | ni ⁶ |
| - | SLY66 | LP1800 | ni | 21/03/1938 | Chile | Antofagasta | Antofagasta | |
| - | SLY70 | LP1804 | ni | 26/03/1938 | Perú | Perú, Tacna | na ⁷ | na |
| SLY82 | SLY82 | LP1816 | Marglobe | 09/08/2011 | Estados Unidos, Ohio, Canton | Canton ¹ | na | na |
| SLY83 | SLY83 | LP1817 | Marmande | 09/08/2011 | Francia ³ | Israel ² | na | na |
| SLY129 | SLY129 | LP2595 | Marmande | 00/00/1966 | Francia | Holanda | na | na |

² https://www.ars-grin.gov/npgs/pi_books/scans/168/pi168_277.pdf

³ https://www.ars-grin.gov/npgs/pi_books/scans/155/pi155_018.pdf

⁴ <https://cngenis.wur.nl/AccessionDetails.aspx?ID=gj2tsakq&acnumber=CGN14430>

⁵ https://www.ars-grin.gov/npgs/pi_books/scans/135/pi135_008.pdf

⁶ No hay información.

⁷ No aplica.

Variables morfológicas y fenológicas caracterizadas

Para el estudio de caracterización morfológica se utilizaron 71 variables cuantitativas (13 variables vegetativas, 12 relacionados a la flor e inflorescencia, 40 relacionados al fruto, 6 a la "fenología" y asociadas a la productividad). Todas estas variables están explicadas en los descriptores morfológicos y fenológicos del IBPGR⁸ y en trabajo por Figás et al.⁹ (**Anexo 1**¹⁰). El diseño experimental fue de tres bloques (repetición) distribuidos al azar en terreno experimental distribuyendo las 13 variedades al azar dentro de cada bloque, metodología estadística estándar usada en este tipo de ensayos. La medición de las variables morfológicas de hoja, flor y fruto se efectuó sobre 6 plantas por repetición (o bloque). Las mediciones morfológicas de flor y fruto se realizaron en el tercer racimo en las seis plantas de cada repetición. La productividad por planta y por superficie fue evaluada con el mismo diseño experimental que las variables morfológicas y fenológicas.

Análisis estadísticos¹¹

El análisis estadístico de las variables morfológicas, fenológicas y productivas consta de dos partes: (1) análisis de varianzas (ANDEVA) y Test de Rango Múltiple; (2) análisis estadístico multivariado (Test de Correlación Estadística, Componentes Principales y Análisis Conglomerado). Modelos generalizados lineales mixtos fueron estimados para las variables de mayor importancia agronómica¹². Siguiendo los lineamientos de Bolker et al.¹³ todas las variables fueron evaluadas para un diseño de 3 bloques con subsampling de 6. El efecto del bloque y el del subsampling de cada parcela anidado en el bloque fueron tomados como efectos aleatorios mientras que la accesión fue tomada como efecto fijo. De acuerdo con lo indicado por Bolker et al.¹⁴ Una distribución y una función link fueron seleccionadas, usándose distribución Gamma y gaussiana para variables continuas y Poisson para variables discretas. Los residuales fueron evaluados gráficamente para normalidad. Los modelos fueron estimados utilizando el paquete de R lme4¹⁵ usando la aproximación de Laplace, seleccionándose el modelo con un máximo de verosimilitud más positivo con

⁸ IPGRI (1996) Descriptors for tomato (*Lycopersicon* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Rome.

⁹ Figás et al. (2015).

¹⁰ Ver Anexo 1 - Descriptores morfológicos.

¹¹ Todos los análisis se realizaron utilizando del programa estadísticos Info-Gen (Balzarini y Di Rienzo, 2003).

¹² Balzarini y Di Rienzo (2017).

¹³ Bolker et al. (2009).

¹⁴ Bolker et al. (2009).

¹⁵ Bates et al. (2017).

residuales normalmente distribuidos y con homocedasticidad de varianza. Una prueba de Wald chi-cuadrado fue posteriormente hecha en los modelos seleccionados utilizando el paquete de R car¹⁶ para evaluar la significancia de la accesión como factor fijo. Para aquellas variables en que la accesión tuvo un efecto significativo, una prueba de comparaciones múltiples de Tukey se hizo sobre los modelos generalizados lineales de efecto mixto usando el paquete de R lsmeans. Con el fin de comprender de manera descriptiva qué grupos de variables están explicando el total de la variación observada se realizó un análisis de componentes principales (ACP) en base a la obtención de una matriz de correlaciones multivariada¹⁷. La representación gráfica de la asociación entre las variables se realizó en un gráfico biplot de dos dimensiones formado por los 2 primeros componentes principales. La clasificación de las accesiones en grupos según el grado de similitud en base a caracteres cuantitativos se realizó mediante un análisis de conglomerados de tipo jerárquico usando el método de agrupamiento UPGMA y la matriz de distancia euclídea como medida de similitud, por presentar un alto valor de correlación cofenética. Los nodos fueron validados mediante análisis con un bootstrap de 10.000. Los grupos sustentados por nodos con un bootstrap alto (>70) fueron reclasificados, para una validación mediante un análisis discriminante. El PCA y el análisis de conglomerados se realizaron utilizando del programa estadísticos Info-Gen¹⁸ y PAST3¹⁹, respectivamente.

¹⁶ Ver Fox et al. (2017).

¹⁷ ACP es una técnica estadística de síntesis de la información o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible. Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí. Un aspecto clave en ACP es la interpretación de los factores, ya que ésta no viene dada a priori, sino que será deducida tras observar la relación de los factores con las variables iniciales (habrá, que estudiar tanto el signo como la magnitud de las correlaciones). Esta herramienta estadística es muy usada para la descripción tanto morfológica como genética de poblaciones de plantas y animales.

¹⁸ Balzarini y Di Rienzo (2016).

¹⁹ Hammer et al. (2001).

1.2.2 Resultados y discusión

Estadística descriptiva

En el **Cuadro 1.2** se presenta el promedio y los valores máximos y mínimos de cada accesión para un grupo de variables de planta, flor y fruto. El análisis de varianza arrojó diferencias significativas en todas las variables evaluadas excepto para el número de flores (NFL), ya que esta variable resultó ser muy plástica en las accesiones analizadas (variabilidad muy alta dentro de cada accesión). Este resultado muestra que la diferenciación morfológica del tomate Limachino (Antiguo) no se asocia a este carácter²⁰. De mayor a menor, los diez descriptores más variables en el grupo de tomates evaluados fueron la exéresis del estigma (EE), la forma obovoide fruto (OBO), el número de foliolos secundarios (NFS), ovoidad del fruto (OVO), número de frutos cuajados por inflorescencia (NC), número de flores por inflorescencia (NFL), número de frutos m^{-2} (NFM), peso del tomate del tercer racimo (PG), peso fresco promedio de los frutos cosechados (FFW) y largo del entrenudo (LEN), siendo cinco de estas variables asociadas a rendimiento. Las variables que presentaron altos coeficientes de variación fueron la exéresis del estigma con un 84,82%, diámetro del ovario (51,99%), largo ovario (42,93%) y todas las asociadas a rendimiento como número de frutos totales (40,92%) y rendimiento (41,44%). El largo de anteras, largo de hoja, color y ancho de hoja son menos variables, con % de variación de 6,05; 6,47; 9,78 y 10,08 %, respectivamente.

En los descriptores asociados a rendimiento, el peso fresco (FFW) fue mayor para SLY157, SLY159, LY123, SLY65 y SLY82S. FFW fue la variable más discriminante entre accesiones fluctuando entre 207 y 30 kilos. Las accesiones SLY30, SLY147, y SLY149 tienen rendimientos superiores a 40 ton/ha, y las accesiones SLY49, SLY152 y SLY148 presentaron los rendimientos más bajos con 20, 20 y 26 ton/ha, respectivamente. Las accesiones SLY157, SLY123 y SLY159 produjeron menos de 25 frutos m^{-2} . Las accesiones SLY49, SLY30, SLY50 y SLY147 produjeron por sobre 50 frutos m^{-2} . Las accesiones SLY30 y SLY150 produjeron frutos con menos de 100 g de peso en el racimo tres. La accesión SLY152 fue primera inicio de cosecha y la más tardía fue SLY124. No hay una relación entre rendimiento y fenología de las plantas, o entre número de frutos por planta y fenología, lo que estaría explicado por el tipo de frutos de cada accesión que se diferencian en tamaño y peso de frutos.

²⁰ Este resultado proviene de un análisis de varianza (ANDEVA), una de las técnicas más utilizadas en los análisis de los datos de los diseños experimentales. Se utiliza cuando queremos contrastar más de dos medias, por lo que puede verse como una extensión de la prueba de comparación múltiple para ver diferencias entre varias medias.

En relación con la fenología, se observa que las accesiones SLY123 (FIALIM3) y SLY82 (Marglobe) son, en promedio, las más tardías, con 104 días a la cosecha. Las accesiones SLY147 y SLY149 tienen rendimientos superiores a 40 ton/ha, y las accesiones SLY152, SLY124 (FIALIM4) y SLY74 presentaron los rendimientos más bajos con 19, 28 y 29 ton/ha, respectivamente. Las accesiones SLY123 (conocido popularmente como “corazón de buey”), SLY124 y SLY152 produjeron menos de 10 frutos por planta. Las accesiones SLY121, SLY149 y SLY147 produjeron por sobre 15 frutos por planta. SLY123 y SLY82 produjeron frutos con mayor peso promedio.

Las accesiones SLY151, SLY152 y SLY124 produjeron frutos con menos de 100 g de peso. Se observa que no hay una relación entre rendimiento y fenología de las plantas, o entre número de frutos por planta y fenología. A partir de los resultados expuestos, vemos que dentro de cada accesión, valores máximos y mínimos (rango) reflejan una variación fenotípica importante en cada variable. Esto es muy frecuente en una especie como el tomate, la cual tiene una alta plasticidad fenotípica.

Cuadro 1.2. Estadística descriptiva (valor promedio, mínimo y máximo) de los principales descriptores de los tomates evaluados en este estudio.

| Descriptor | Código | | SLY147 | SLY148 | SLY149 | SLY150 | SLY151 | SLY152 |
|---|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Hoja | | | | | | | | |
| Largo de hoja (cm) | LH | Min. | 20,5 | 15,1 | 18,4 | 12,6 | 15,2 | 14,4 |
| | | Max. | 40 | 27,1 | 33,6 | 27,3 | 31,2 | 29,7 |
| | | Prom. | 25,4 | 20,2 | 25,2 | 22,2 | 24 | 23,8 |
| Ancho de hoja al segundo par de folíolos (cm) | AH | Min. | 13,8 | 9,2 | 13,8 | 7,8 | 13,5 | 8,8 |
| | | Max. | 25,2 | 24,9 | 28,6 | 23,6 | 25,9 | 31,7 |
| | | Prom. | 18,2 | 15 | 19 | 16,2 | 18,5 | 20 |
| Flor | | | | | | | | |
| Número flores | NFL | Min. | 6 | 4 | 8 | 3 | 4 | 3 |
| | | Max. | 19 | 14 | 32 | 16 | 28 | 35 |
| | | Prom. | 12,67 | 8,94 | 13,11 | 8,88 | 9,69 | 13,47 |

| Descriptor | Código | | SLY147 | SLY148 | SLY149 | SLY150 | SLY151 | SLY152 |
|---------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Número de pétalos | NP | Min. | 7 | 6 | 6 | 7 | 7 | 7 |
| | | Max. | 12 | 10 | 12 | 14 | 14 | 10 |
| | | Prom. | 8 | 8 | 8 | 9 | 9 | 8 |
| Largo de ovario (mm) | LO | Min. | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,3 |
| | | Max. | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 2 | 1,8 | 2,4 |
| | | Prom. | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,9 |
| Diametro de ovario (mm) | DO | Min. | 1,6 | 1,8 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,9 |
| | | Max. | 4 | 3 | 4,6 | 3,8 | 3,9 | 4,1 |
| | | Prom. | 2,3 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,7 | 3,1 |
| Largo de petalo (mm) | LP | Min. | 6,1 | 7,4 | 6,2 | 7,7 | 6,6 | 12,8 |
| | | Max. | 12,1 | 12,5 | 13,5 | 13 | 11,4 | 17,6 |
| | | Prom. | 10 | 10 | 10,4 | 10,3 | 9,3 | 15,1 |
| Largo de an-tera (mm) | LA | Min. | 6,3 | 5,6 | 6,1 | 6 | 6,7 | 9,4 |
| | | Max. | 9,2 | 8,8 | 9 | 8,9 | 8,9 | 11,7 |
| | | Prom. | 7,8 | 7,7 | 8 | 7,7 | 8 | 10,7 |
| Exerción del estigma (mm) | EE | Min. | -1,2 | -1,5 | -1,8 | -1,8 | -1,6 | -3 |
| | | Max. | 3,5 | 0,8 | 0 | 0,8 | 0,4 | -1,6 |
| | | Prom. | 0 | -0,5 | -1 | -0,4 | -0,6 | -2,3 |
| Fruto | | | | | | | | |
| Número de lóculos | NL | Min. | 6 | 5 | 5 | 7 | 7 | 5 |
| | | Max. | 15 | 16 | 16 | 17 | 15 | 15 |
| | | Prom. | 11 | 12 | 10 | 11 | 10 | 9 |
| Área de fruto (mm2) | ARE | Min. | 185,2 | 153,9 | 118,3 | 160,1 | 143,8 | 78,5 |

| Descriptor | Código | | SLY147 | SLY148 | SLY149 | SLY150 | SLY151 | SLY152 |
|-------------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Max. | 326,6 | 352,6 | 366,3 | 317,4 | 346,9 | 390,3 |
| | | Prom. | 258,4 | 254 | 245,6 | 249,2 | 238 | 241,1 |
| Máximo diámetro de fruto (mm) | WMH | Min. | 56,5 | 47,9 | 44,3 | 51,2 | 47,8 | 35,5 |
| | | Max. | 78,4 | 79,8 | 82,2 | 77,9 | 89,3 | 84,9 |
| | | Prom. | 67,3 | 66,4 | 65,4 | 66,6 | 65,1 | 62,6 |
| Máxima altura de fruto (mm) | HMW | Min. | 41,2 | 35,9 | 32,7 | 37,7 | 35,7 | 26,6 |
| | | Max. | 52,3 | 54,6 | 59,3 | 53,8 | 55,5 | 57,7 |
| | | Prom. | 47,2 | 47,1 | 45,3 | 45,8 | 44,7 | 46,3 |
| Peso de fruto (g) | FFW | Min. | 56 | 49 | 34 | 53 | 40 | 15 |
| | | Max. | 162 | 166 | 176 | 152 | 121 | 192 |
| | | Prom. | 107,3 | 104,6 | 104,6 | 106,1 | 91,1 | 97,6 |
| Frutos totales por planta | TF | Min. | 14 | 5 | 10 | 4 | 8 | 2 |
| | | Max. | 23 | 20 | 22 | 21 | 19 | 32 |
| | | Prom. | 18,61 | 11,61 | 16,83 | 14,18 | 13,81 | 10 |
| Rendimiento ton/ha | GM | Min. | 27,43 | 9,43 | 24,49 | 7,91 | 13,11 | 2,77 |
| | | Max. | 52,77 | 45,74 | 61,86 | 50,94 | 58,8 | 61 |
| | | Prom. | 42,01 | 26,01 | 41,78 | 32,9 | 30,76 | 19,19 |
| Fenología | | | | | | | | |
| Días a cosecha | TDD | Min. | 76 | 81 | 81 | 76 | 76 | 76 |
| | | Max. | 96 | 125 | 105 | 125 | 112 | 112 |
| | | Prom. | 88 | 94 | 88 | 96 | 92 | 94 |

| Descriptor | Código | | SLY121 | SLY122 | SLY123 | SLY124 | SLY129 | SLY74 |
|---|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Hoja | | | | | | | | |
| Largo de hoja (cm) | LH | Min. | 18,4 | 15,5 | 23,2 | 17,2 | 13,1 | 16,5 |
| | | Max. | 31,3 | 38,4 | 34,7 | 31,7 | 39,1 | 29,4 |
| | | Prom. | 25,1 | 27,4 | 28,5 | 22,1 | 24 | 22,9 |
| Ancho de hoja al segundo par de foliolos (cm) | AH | Min. | 13,1 | 7,8 | 13,2 | 11,4 | 9,2 | 9,2 |
| | | Max. | 26,9 | 28,8 | 29,6 | 24,8 | 39,6 | 23,7 |
| | | Prom. | 18,5 | 19,3 | 21,4 | 15 | 20,4 | 16,8 |
| Flor | | | | | | | | |
| Número flores | NFL | Min. | 4 | 5 | 6 | 5 | 4 | 3 |
| | | Max. | 17 | 21 | 22 | 19 | 24 | 16 |
| | | Prom. | 9,24 | 11,22 | 10,69 | 10,11 | 12,38 | 8,94 |
| Número de pétalos | NP | Min. | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 7 |
| | | Max. | 9 | 9 | 12 | 9 | 10 | 10 |
| | | Prom. | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 | 8 |
| Largo de ovario (mm) | LO | Min. | 1,1 | 1,2 | 1,5 | 1,2 | 1,3 | 0,9 |
| | | Max. | 1,8 | 1,9 | 2,7 | 1,9 | 2,3 | 2 |
| | | Prom. | 1,4 | 1,5 | 2,1 | 1,5 | 1,8 | 1,5 |
| Diámetro de ovario (mm) | DO | Min. | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 1,3 | 1,8 |
| | | Max. | 4,3 | 2,9 | 4,2 | 3,6 | 3,5 | 3,1 |
| | | Prom. | 2,4 | 2,3 | 2,4 | 2,4 | 2,6 | 2,3 |
| Largo de pétalo (mm) | LP | Min. | 6,4 | 9,6 | 9,9 | 8,3 | 9,1 | 8,6 |
| | | Max. | 13,4 | 15 | 14,6 | 13,1 | 14,1 | 13,5 |
| | | Prom. | 10,5 | 11,5 | 12,2 | 10,5 | 11,2 | 10,3 |

| Descriptor | Código | | SLY121 | SLY122 | SLY123 | SLY124 | SLY129 | SLY74 |
|----------------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Hoja | | | | | | | | |
| Largo de antera (mm) | LA | Min. | 6,5 | 7,5 | 8,2 | 6,9 | 7,2 | 7,1 |
| | | Max. | 8,7 | 9,9 | 9,7 | 8,9 | 10,2 | 8,9 |
| | | Prom. | 7,9 | 8,3 | 8,9 | 8,1 | 9,1 | 8,2 |
| Exerción del estigma (mm) | EE | Min. | -0,7 | -1,2 | -0,9 | -1 | -2,9 | -2,3 |
| | | Max. | 1,4 | 0,8 | 1 | 1,4 | 0,1 | 0,5 |
| | | Prom. | 0 | -0,2 | 0,1 | 0,2 | -1,8 | -0,8 |
| Fruto | | | | | | | | |
| Número de lóculos | NL | Min. | 4 | 4 | 6 | 5 | 2 | 7 |
| | | Max. | 16 | 13 | 12 | 18 | 14 | 16 |
| | | Prom. | 10 | 10 | 8 | 11 | 10 | 10 |
| Área de fruto (mm ²) | ARE | Min. | 189,4 | 161 | 155,9 | 124,9 | 132,3 | 156,3 |
| | | Max. | 310,9 | 496,5 | 749,3 | 391,6 | 360,9 | 323,1 |
| | | Prom. | 264,8 | 273,7 | 396,8 | 248,7 | 249 | 249,4 |
| Máximo diámetro de fruto (mm) | WMH | Min. | 53,7 | 53,7 | 45,7 | 45,4 | 39,8 | 48,5 |
| | | Max. | 83,1 | 84,5 | 101,2 | 89,3 | 90 | 83,1 |
| | | Prom. | 69,1 | 69 | 72,9 | 66,8 | 66 | 65,4 |
| Máxima altura de fruto (mm) | HMW | Min. | 41,4 | 37 | 36,3 | 32,3 | 33,7 | 35,2 |
| | | Max. | 52,6 | 76,9 | 98 | 56,2 | 62,5 | 54,4 |
| | | Prom. | 47,3 | 49 | 68,5 | 45,2 | 46,5 | 46,6 |
| Peso de fruto (g) | FFW | Min. | 60 | 43 | 52 | 60 | 35 | 51 |
| | | Max. | 148 | 203 | 373 | 139 | 169 | 159 |
| | | Prom. | 108 | 101,5 | 152,1 | 97,2 | 104,7 | 109,4 |

| Descriptor | Código | | SLY121 | SLY122 | SLY123 | SLY124 | SLY129 | SLY74 |
|---------------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Frutos totales por planta | | | | | | | | |
| | TF | Min. | 8 | 5 | 2 | 6 | 8 | 2 |
| | | Max. | 23 | 20 | 17 | 19 | 23 | 27 |
| | | Prom. | 16,41 | 12,22 | 7,06 | 9,83 | 14,33 | 13,67 |
| Rendimiento ton/ha | | | | | | | | |
| | GM | Min. | 22,09 | 8,03 | 0,69 | 13,94 | 14,17 | 2,83 |
| | | Max. | 57,54 | 47,37 | 58,43 | 69,17 | 68,77 | 52,26 |
| | | Prom. | 39,68 | 31,36 | 31,31 | 28,83 | 35,33 | 29,13 |
| Fenología | | | | | | | | |
| Días a cosecha | | | | | | | | |
| | TDD | Min. | 76 | 81 | 88 | 98 | 76 | 76 |
| | | Max. | 108 | 108 | 112 | 112 | 117 | 112 |
| | | Prom. | 91 | 92 | 104 | 96 | 88 | 91 |

| Descrip-tor | Código | | Sly82 | Sly83 | Sly39 | Sly47 | Sly65 | Sly66 | Sly70 |
|---|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hoja | | | | | | | | | |
| Largo de hoja (cm) | LH | Min. | 17,2 | 16 | 9,9 | 17,6 | 18,2 | 20,8 | 19,7 |
| | | Max. | 38,4 | 27,6 | 29,7 | 32,5 | 28,4 | 32,6 | 31,4 |
| | | Prom. | 28 | 23,1 | 22,3 | 23,4 | 23,1 | 26,8 | 24,9 |
| Ancho de hoja al segundo par de foliolos (cm) | AH | Min. | 13,3 | 10,2 | 9,3 | 14,6 | 11,2 | 13,5 | 14,6 |
| | | Max. | 33,3 | 27,1 | 24,6 | 23,6 | 26,6 | 28,2 | 28,5 |
| | | Prom. | 23,3 | 17,7 | 19,0 | 19,1 | 18,5 | 19,3 | 19,2 |
| Flor | | | | | | | | | |
| Número flores | NFL | Min. | 5 | 1 | 2 | 4 | 7 | 4 | 4 |
| | | Max. | 26 | 19 | 59 | 25 | 15 | 24 | 27 |
| | | Prom. | 11,89 | 10,33 | 14,82 | 10,53 | 9,61 | 11,75 | 13,47 |
| Número de pétalos | NP | Min. | 6 | 7 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 |
| | | Max. | 8 | 18 | 13 | 12 | 10 | 12 | 14 |
| | | Prom. | 7 | 10 | 9 | 8 | 9 | 7 | 8 |
| Largo de ovario (mm) | LO | Min. | 1 | 1,4 | 0,9 | 1,3 | 1,4 | 1,1 | 1,4 |
| | | Max. | 2 | 2,7 | 2,2 | 1,9 | 2,1 | 1,9 | 2,0 |
| | | Prom. | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,7 | 1,6 | 1,8 |
| Diametro de ovario (mm) | DO | Min. | 2 | 2,1 | 1,78 | 1,75 | 1,86 | 1,71 | 1,54 |
| | | Max. | 3,1 | 4,9 | 4,6 | 5,1 | 3,4 | 3,9 | 5,3 |
| | | Prom. | 2,3 | 2,9 | 3,1 | 2,8 | 2,5 | 2,4 | 2,8 |
| Largo de petalo (mm) | LP | Min. | 8,5 | 8,7 | 8,6 | 8,8 | 9,9 | 10,3 | 10,8 |
| | | Max. | 17,6 | 15,6 | 18,5 | 14,2 | 15,4 | 13,8 | 15,6 |
| | | Prom. | 14,4 | 12,2 | 13,0 | 12,1 | 12,5 | 11,9 | 12,7 |

| Descriptor | Código | | Sly82 | Sly83 | Sly39 | Sly47 | Sly65 | Sly66 | Sly70 |
|----------------------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| Largo de antera (mm) | LA | Min. | 7,6 | 7,9 | 6,07 | 7 | 8,2 | 7,7 | 8,1 |
| | | Max. | 10,9 | 10,6 | 11,29 | 10,66 | 9,6 | 10,26 | 10,8 |
| | | Prom. | 9,8 | 9,5 | 9,4 | 9,3 | 9,0 | 9,0 | 9,5 |
| Exerción del estigma (mm) | EE | Min. | -1,1 | -3,1 | -1,91 | -0,67 | 0,39 | -0,96 | -0,26 |
| | | Max. | 0,2 | -0,1 | 2,6 | 3,3 | 2,5 | 3,4 | 2,1 |
| | | Prom. | -0,4 | -1,7 | 0,6 | 1,4 | 1,4 | 1,1 | 0,8 |
| Fruto | | | | | | | | | |
| Número de lóculos | NL | Min. | 3 | 7 | 4 | 4 | 6 | 3 | 3 |
| | | Max. | 8 | 16 | 15 | 16 | 15 | 13 | 16 |
| | | Prom. | 5 | 10 | 9 | 11 | 10 | 7 | 9 |
| Área de fruto (mm ²) | ARE | Min. | 158,1 | 201,8 | 172,4 | 171,0 | 234,8 | 85,9 | 133,0 |
| | | Max. | 442,3 | 330,4 | 371,43 | 346,1 | 395,7 | 520,5 | 346,0 |
| | | Prom. | 298,3 | 258,2 | 248,9 | 276,5 | 316,4 | 269,9 | 265,7 |
| Máximo diámetro de fruto (mm) | WMH | Min. | 44,3 | 57,3 | 50,0 | 49,0 | 58,4 | 34,8 | 44,6 |
| | | Max. | 86,7 | 80,2 | 88,2 | 87,8 | 86,7 | 95,8 | 88,5 |
| | | Prom. | 62,7 | 68,3 | 66,01 | 71,7 | 74,1 | 65,3 | 67,8 |
| Máxima altura de fruto (mm) | HMW | Min. | 43,2 | 41,4 | 34,2 | 41,7 | 36,3 | 29,4 | 33,0 |
| | | Max. | 65,3 | 54,4 | 50,8 | 53,0 | 54,8 | 55,9 | 55,1 |
| | | Prom. | 57,4 | 46,6 | 42,5 | 47,1 | 45,4 | 45,7 | 43,6 |
| Peso de fruto (g) | FFW | Min. | 45 | 77 | 62 | 37 | 60 | 22 | 31 |
| | | Max. | 238 | 156 | 141 | 145 | 185 | 194 | 164 |
| | | Prom. | 124,4 | 112,7 | 92,78 | 92,77 | 116,62 | 86,28 | 91,91 |

| Descriptor | Código | | SLY82 | SLY83 | SLY39 | SLY47 | SLY65 | SLY66 | SLY70 |
|---------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Frutos totales por planta | TF | Min. | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| | | Max. | 18 | 20 | 5 | 6 | 4 | 4 | 5 |
| | | Prom. | 11,89 | 13,22 | 2,94 | 2,48 | 2,20 | 2,5 | 2,35 |
| Rendimien- to ton/ha | GM | Min. | 10,14 | 2,63 | 11,25 | 13,42 | 16,34 | 6,22 | 9,25 |
| | | Max. | 72,2 | 50,49 | 57,65 | 55,34 | 70,11 | 90,42 | 69,08 |
| | | Prom. | 37,13 | 32,66 | 33,44 | 31,89 | 34,78 | 37,01 | 33,48 |
| Fenología | | | | | | | | | |
| Días a cosecha | TDD | Min. | 76 | 81 | 70 | 62 | 65 | 50 | 45 |
| | | Max. | 112 | 108 | 130 | 125 | 122 | 130 | 125 |
| | | Prom. | 104 | 88 | 100 | 91 | 88 | 79 | 81 |

Análisis de componentes principales

Los resultados del análisis de componentes principales (ACP) que se obtiene a partir de la matriz de correlación y de la variación porcentual acumulada de cada componente se muestra en el **Cuadro 1.3**. Los primeros cinco componentes principales (CP) explican el 73% de la variación observada entre las accesiones evaluadas.

Cuadro 1.3. Variables cuantitativas utilizadas en los análisis multivariados, correlación con las variables originales y variación acumulada para los primero cinco componentes principales (CP).

| Variables | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 |
|--------------------------------|----------|-------------|--------------|-------|-------|
| Vegetativas | | | | | |
| AH | 0,29 | 0,69 | -0,12 | 0,01 | 0,53 |
| C | 1,20E-03 | 0,34 | 0,65 | 0,02 | 0,63 |
| CA | -0,24 | -0,13 | 0,84 | -0,05 | 0,31 |
| DT | 0,48 | 0,5 | -0,45 | 0,04 | 0,35 |
| LEN | -0,17 | 0,32 | -0,63 | -0,24 | 0,18 |
| LFP | 0,28 | 0,43 | -0,63 | 0,21 | -0,4 |
| LH | 0,15 | 0,7 | 0,19 | 0,19 | 0,39 |
| LPL | -0,3 | 0,37 | -0,13 | 0,08 | 0,19 |
| NF | -0,18 | -0,13 | 0,77 | -0,22 | 0,48 |
| NFS | 0,21 | 0,3 | 0,37 | 0,09 | 0,74 |
| RFF | 0,2 | 0,29 | 0,36 | 0,1 | 0,74 |
| RFL | 0,2 | 0,11 | -0,74 | 0,13 | -0,58 |
| RLA | -0,33 | -0,19 | 0,49 | 0,09 | -0,37 |
| Fenología y rendimiento | | | | | |
| FFW | 0,66 | 0,64 | 0,32 | 0,1 | -0,04 |
| FRUT/RAC (TF) | -0,51 | -0,67 | 0,22 | -0,13 | 0,06 |
| GM | 0,3 | -0,02 | 0,12 | 0,47 | -0,06 |
| NFM | -0,45 | -0,57 | -0,35 | 0,32 | 0,36 |
| RAC/M (T) | -0,12 | -0,16 | -0,71 | 0,49 | 0,31 |
| TDD | 0,01 | 0,25 | 0,57 | -0,6 | -0,24 |
| Flor | | | | | |
| DO | 0,76 | 0,06 | 0,01 | -0,38 | 0,1 |
| EE | 0,3 | 0,13 | -0,47 | 0,55 | -0,03 |
| LA | 0,26 | 0,54 | -0,45 | -0,41 | 0,27 |
| LES | 0,41 | 0,38 | -0,66 | 0,19 | 0,14 |
| LO | 0,03 | 0,71 | -0,16 | -0,22 | 0,18 |
| LP | 0,21 | 0,61 | -0,44 | -0,46 | 0,19 |
| NP | 0,53 | -0,32 | 0,21 | -0,03 | 0,03 |
| RO | 0,64 | -0,41 | 0,18 | -0,19 | -0,04 |

| Variables | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 |
|----------------|-------------|-------------|-------|-----------|-----------|
| RP | 0,05 | 0,55 | -0,28 | -0,31 | -0,05 |
| Inflorescencia | | | | | |
| NC | -0,55 | -0,36 | -0,18 | 0,05 | 0,5 |
| NFL | -0,07 | -0,1 | -0,36 | -0,09 | 0,67 |
| RFC | -0,66 | -0,39 | 0,27 | 0,14 | -0,14 |
| Fruto | | | | | |
| ADE | 0,55 | -0,25 | -0,06 | 0,37 | 0,4 |
| ADI | 0,47 | -0,23 | -0,38 | 0,27 | 0,07 |
| ADM | -0,12 | -0,05 | -0,17 | -0,32 | 0,01 |
| ADX | -0,06 | 0,31 | 0,53 | -0,36 | -0,11 |
| API | 0,58 | -0,34 | 0,19 | 0,17 | 0,51 |
| APM | 0,55 | -0,2 | 0,05 | -0,04 | 0,15 |
| APX | 0,45 | -0,22 | 0,01 | -0,22 | 0,28 |
| ARE | 0,72 | 0,58 | 0,28 | 0,07 | -0,14 |
| CH | 0,6 | 0,71 | 0,14 | 0,05 | -0,23 |
| CIR | 0,78 | -0,51 | 0,07 | 0,22 | -0,03 |
| COL | 0,63 | 0,16 | -0,09 | -0,39 | -0,03 |
| COa | 0,16 | -2,60E-03 | 0,49 | -0,16 | 0,03 |
| COb | -0,06 | -0,24 | 0,46 | -0,41 | -2,90E-03 |
| EAI | 0,79 | -0,38 | -0,19 | 0,2 | 0,11 |
| ECC | -0,8 | 0,28 | 0,07 | -0,27 | -0,13 |
| ECD | -0,25 | 0,24 | 0,5 | -0,05 | -0,04 |
| ECP | -0,09 | -0,11 | -0,3 | 0,2 | -0,06 |
| ELL | 0,82 | -0,34 | 0,11 | 0,25 | 3,10E-03 |
| FBL | 0,42 | -0,45 | -0,25 | -0,51 | -0,27 |
| FDB | -0,27 | 0,1 | 0,28 | 0,75 | -0,17 |
| HMW | 0,09 | 0,87 | 0,31 | -0,03 | -0,22 |
| MXH | 0,38 | 0,81 | 0,3 | 0,03 | -0,19 |
| MXW | 0,88 | 0,28 | 0,25 | 0,1 | -0,18 |
| NL | 0,77 | -0,24 | 0,44 | -1,50E-04 | -0,28 |
| OBO | -0,25 | 0,51 | 0,19 | 0,59 | -0,09 |
| OVO | 0,29 | -0,31 | -0,12 | -0,75 | 0,12 |
| PER | 0,81 | 0,42 | 0,26 | 0,11 | -0,21 |

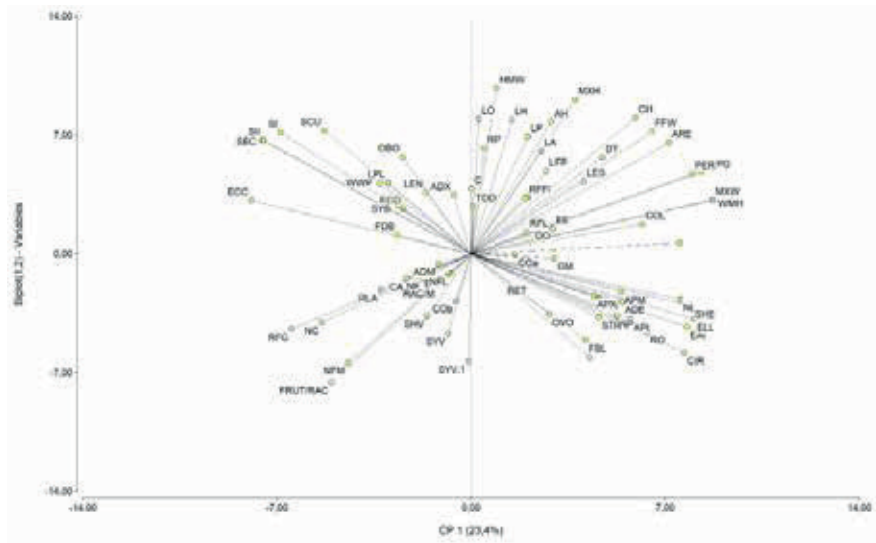
| VARIABLES | CP 1 | CP 2 | CP 3 | CP 4 | CP 5 |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| PG | 0,84 | 0,43 | 0,19 | 0,03 | -0,03 |
| RET | 0,43 | -0,54 | -0,5 | -0,06 | -0,09 |
| SCU | -0,54 | 0,65 | -0,25 | -0,14 | 0,01 |
| SEC | -0,76 | 0,59 | -0,01 | -0,16 | 0,06 |
| SHE | 0,81 | -0,27 | 0,18 | 0,17 | 0,36 |
| SHV | -0,16 | -0,32 | -0,3 | 0,21 | 0,29 |
| SI | -0,7 | 0,63 | -0,04 | -0,12 | 0,1 |
| SII | -0,76 | 0,6 | -0,01 | -0,16 | 0,07 |
| STR | 0,47 | -0,33 | -0,38 | -0,63 | -0,04 |
| SYB | -0,26 | 0,25 | 0,55 | 0,56 | -0,21 |
| SYV | -0,08 | -0,41 | 0,64 | 0,28 | -0,12 |
| SYV,1 | -0,01 | -0,56 | 0,48 | -0,26 | 0,06 |
| WMH | 0,89 | 0,28 | 0,24 | 0,1 | -0,18 |
| WWP | -0,34 | 0,37 | 0,05 | 0,75 | 0,02 |
| Varianza explicada | 0,23 | 0,18 | 0,14 | 0,09 | 0,08 |
| Varianza acumulada | 0,23 | 0,41 | 0,55 | 0,65 | 0,73 |

El primer CP que explica un 23% de la variabilidad dada principalmente por características del fruto como el ancho (WMH), proporción entre hombre y altura de fruto (SHE), peso de fruto del tercer racimo (PG), perímetro del fruto (PER), ancho del fruto (MXW), forma elipsoide (ELL) y la excentricidad del fruto (ECC). El segundo CP explica un 18% y se correlaciona principalmente con variables asociadas a altura de fruto (MXH y HMW), altura del ancho medio (CH) y el largo de ovario de la flor (LO). El tercer CP explica un 14% de la varianza observada y correlaciona rasgos de hoja como tamaño (RFL) y número de folíolos (NF) y forma de la hoja (CA), así como con el número de racimo m-2 (T). Las correlaciones y comportamiento de cada variable respecto de cada componente principal se observan en la **Figura 1.1**.

Las accesiones que presentaron un fenotipo más distintivo fueron las accesiones de tomate rosado colectadas en el 2015 (SLY157 y SLY159). Entre las accesiones más cercanas al Limachino tipo (SLY74) están las accesiones cultivadas en Limache en diferentes años: 2015 (SLY121) y 1930 (SLY30). Las accesiones SLY123

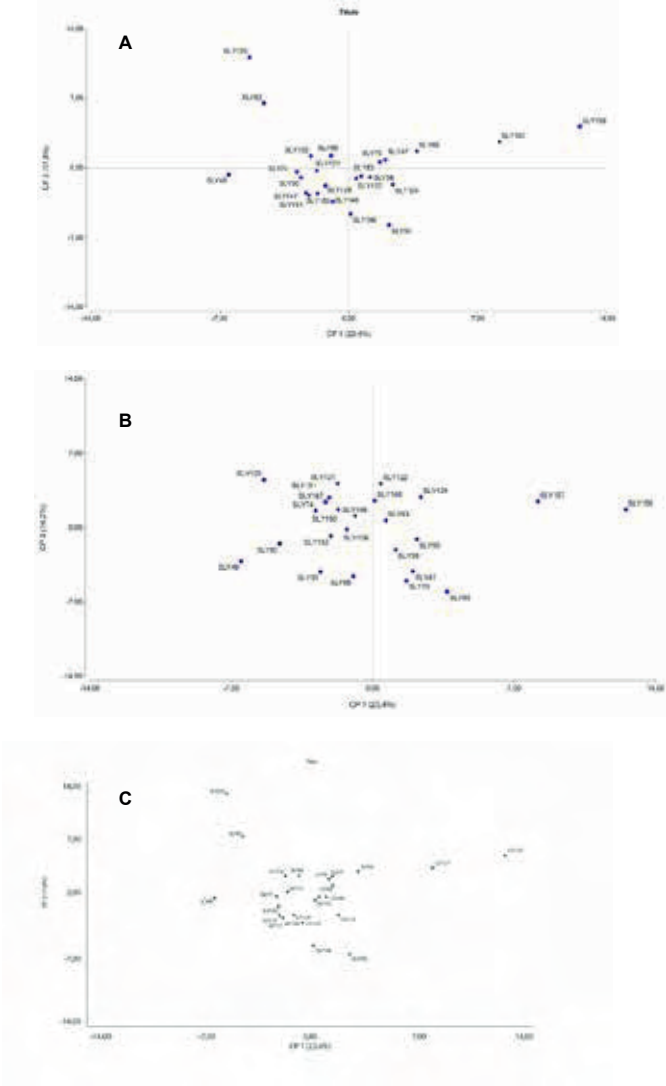
(Limachino italiano), SLY82 (Marglobe), SLY49 y SLY50, ambas recolectadas en 1938 se muestran distantes al resto. Las accesiones Marmande (SLY83 y SLY129) están algo distantes a pesar de tener la misma denominación varietal.

Figura 1.1. Correlación de los componentes principales y las variables analizadas.



En la **Figura 1.2** se muestran algunas de las correlaciones posibles entre todos caracteres que define cada componente principal. Para facilitar la interpretación de los resultados, haremos esto en gráficos 2-D, definiendo como criterio de selección sólo aquellas combinaciones de componentes que explican mayoritariamente dichas correlaciones. En concreto, se muestra a continuación los grados de correlación entre los caracteres (o variables) de las componentes principales 1y 2; 1y 3 y 2 y 3.

Figura 1.2. Ordenamiento de las accesiones de tomate por componentes principales 1 y 2 (A), 1 y 3 (B) y 2 y 3 (C).



Al analizar los tomates tipo limachino en los CP 1,2; 2,3 y 1,3, se observa que los materiales recolectados en 1980 son similares entre sí y diferentes de los recolectados en el 2015, que además son más variables.

Análisis de conglomerados

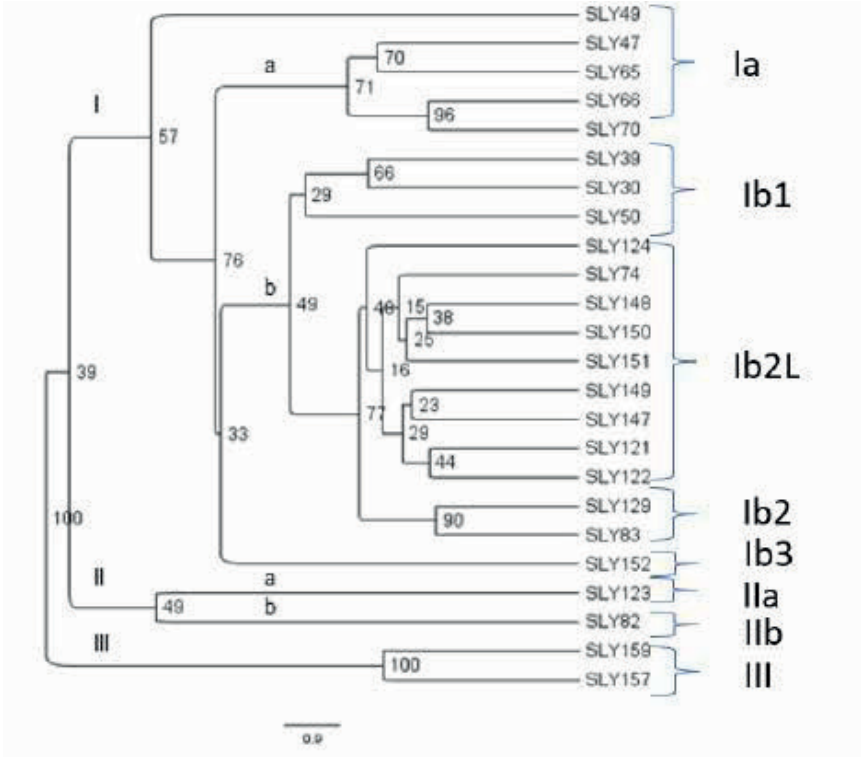
Doce de las 22 accesiones fueron sometidas a un análisis de conglomerados con las 24 variables listadas en el **Cuadro 1.4**. Un dendrograma fenotípico realizado utilizando la totalidad de los descriptores morfológicos mediante el método de agrupamiento UPGMA y distancia euclidiana se presenta en la **Figura 1.2**, teniendo una alta correlación cofenética (0,91). Se observaron tres grandes divisiones, siendo el grupo III el con mayor sustento (100). El grupo (III) incluye únicamente dos accesiones de tomate rosado recolectados en las provincias de Talca y Chillán, caracterizados por ser de gran peso, pudiendo llegar a más de 500 g por fruto, pero de bajo número de frutos por planta. El grupo II contiene dos accesiones de tomates, distantes entre sí pero no consistente: (a), el tipo americano Marglobe (SLY82); y (b) el Limachino italiano (SLY123). Por una parte, el tomate tipo Marglobe es un tomate comercial redondo, rojo y liso. Mientras que la accesión SLY123 es una población compuesta de tomates de gran peso con forma de pera.

La gran mayoría de las accesiones fueron incluidas en el grupo I. Al interior del grupo I, se observan 4 subdivisiones: SLY49; a; b; y SLY152. La accesión SLY49, recolectada en 1938 es la más variable de las accesiones, siendo de muy difícil descripción o generalización, observándose plantas con un gran número de racimos, alto número de frutos y muy bajo calibre, pero de morfología de fruto y hoja muy variable. El subgrupo a posee nodos bien sustentados, agrupando a materiales que eran cultivados en 1938 tanto en el extremo norte (Antofagasta, Chile y Tacna, Perú) y en la parte sur (Temuco, Chile).

La accesión recolectada en Temuco (SLY47), es un tomate que no era de la zona, sino que era cultivado en Talca. En la subdivisión b a su vez se observan dos nodos bien sustentados que dan origen a los subgrupos 1 y 2. El subgrupo 1 agrupa las otras tres accesiones colectadas en 1938 en las localidades de Limache (SLY30, SLY50) y Arica (SLY39), las cuales son fácilmente reconocibles por presentar individuos con un menor número de folíolos y un folíolo principal de gran tamaño. El subgrupo 2 agrupa las dos accesiones Marmande (M) de origen francés (SLY83, SLY129), una variedad que se cultiva en la localidad desde al menos desde 1970, más la totalidad de los tomates denominados localmente como Limachino (L) recolectados en las décadas de 1980 y 2015. Los tipos Limachino y Marmande se observan morfológicamente como muy cercanos, pero diferenciados entre sí. En el subgrupo Limachino se encuentra la accesión SLY74, recolectada en 1960 y utilizada como referencia del tomate tipo Limachino tradicional.

Los nodos del dendrograma fueron validados utilizando un análisis discriminante lineal, observándose una alta capacidad de clasificación acertada al interior de los grupos definidos. La clasificación con mayor error correspondió a SLY123 (a), accesión que presentaba plantas de más de un tipo varietal, siendo un resultado esperado. En cambio, el fenotipo de SLY152 se muestra como claramente diferenciable del resto de los tomates, que dado a su morfología se presume probablemente más cercano al tipo *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*. Para corroborar esto último se debe incorporar al estudio muestras de esta variedad botánica.

Figura 1.3. Agrupamiento en base a la morfología, fenología y productividad de accesiones de tomate evaluadas mediante método de Ward y matriz de distancia de Manhattan.



Se observa una correspondencia entre el resultado del análisis de conglomerados con las agrupaciones de puntos obtenidos en el análisis de componentes principales. Nuestros resultados muestran que las accesiones previamente reconocidas como Limachino por los agricultores, agrupan de manera diferenciada de todas aquellas accesiones que pertenecen a otras variedades. Se observa además que, tanto en la década de 1980 como en el 2015, los agricultores cultivaban y conservan más de un tipo varietal. Finalmente, es posible que estos tipos varietales tengan más de una procedencia, lo que se corresponde con la historia de introducción de variedades en el país.

Los análisis morfológicos mostraron que hay diferencias significativas en varios rasgos de importancia agronómica evidenciando el valor de este germoplasma como recurso genético. Cabe destacar que de las 24 accesiones analizadas, el 83% son variedades tradicionales cultivadas en Chile. Los índices de excentricidad del fruto (EAI, ECD y ECC) fueron los más discriminantes, indicando que hay gran variabilidad de formas de frutos.

Se observa una correspondencia entre el resultado del análisis de conglomerados con las agrupaciones de puntos obtenidos en el análisis de componentes principales. En concreto, a partir de ambas metodologías, se observa la aparición de tres grupos bien definidos y cada uno con sub-grupos.

1.3 Caracterización molecular²¹

1.3.1 Materiales evaluados y métodos

Se realizó una caracterización molecular preliminar sobre 20 accesiones de tomate. De éstas, 13 son chilenas: una colectada en 1960 (accesión de referencia registrada como 'Limachino'); seis colectadas entre 1981 y 1996, y cuatro accesiones colectadas en el 2015. Las 6 accesiones restantes incluidas en el estudio son variedades de otros orígenes y/o tipo varietal, algunas de ellas variedades comerciales (Cuadro 1.4). La ampliación del estudio con nuevas accesiones de tomate que se cultivaban en el territorio como Marglobe, Super Marmande y Early Pack (entre otros) es necesario para determinar el origen de las muestras colectadas en el territorio y reforzar la propuesta de que 'Limachino' es una variedad de origen diferente.

²¹ Se trata de un análisis preliminar realizados con 4 SSR. Un análisis más detallado con más de 15 SSR fue hecho y sus resultados están protegidos para ser publicados.

Cuadro 1.4. Antecedentes de los materiales de tomate analizados genéticamente en 19 accesiones.

| Código | ID colección | Nombre Cultivar | Fecha colecta/adquisición | País Recolección | Región | Provincia/Comuna | Tipo material | N° Individuos |
|---------|--------------|--------------------|---------------------------|------------------|------------|----------------------|----------------------|---------------|
| 28 | SLV74 | Limachino | 00/00/1960 | Chile | Valparaíso | Marga Marga, Limache | Variedad tradicional | 4 |
| 22 | SLV147 | Limachino | 00/00/1987 | Chile | Valparaíso | n ²² | Variedad tradicional | 12 |
| 23 | SLV148 | Limachino | 00/00/1987 | Chile | Valparaíso | Marga Marga | Variedad tradicional | 3 |
| 24 | SLV149 | Limachino | 00/00/1981 | Chile | Valparaíso | ni | Variedad tradicional | 3 |
| 25 | SLV50 | Limachino | 00/00/1982 | Chile | Valparaíso | ni | Variedad tradicional | 5 |
| 26 | SLV151 | Limachino | 00/00/1986 | Chile | Valparaíso | ni | Variedad tradicional | 11 |
| 27 | SLV152 | Limachino | 00/00/1996 | Chile | Valparaíso | ni | Variedad tradicional | 7 |
| FIALIM1 | SLV121 | Limachino | 05-02-2015 | Chile | Valparaíso | Marga Marga, Limache | Variedad tradicional | 12 |
| FIALIM2 | SLV122 | Limachino | 12-02-2015 | Chile | Valparaíso | Marga Marga, Limache | Variedad tradicional | 12 |
| FIALIM3 | SLV123 | Limachino Italiano | 10-03-2015 | Chile | Valparaíso | Marga Marga, Limache | Variedad tradicional | 6 |

²²No hay información.

| Código | ID colección | Nombre Cultivar | Fecha colecta/adquisición | País Recolección | Región | Provincia/Comuna | Tipo material | N° Individuos |
|---------|--------------|-----------------|---------------------------|------------------|------------------|----------------------|---------------------------|---------------|
| FIALIM4 | SLY124 | Limachino | 10-03-2015 | Chile | Valparaíso | Marga Marga, Limache | Variedad tradicional | 6 |
| 30 | SLY37 | 462 | 00-00-1938 | Chile | Valparaíso | ni | Variedad tradicional | 8 |
| SLY63 | SLY63 | 460 | | Chile | Valparaíso | ni | Variedad tradicional | 7 |
| SLY102 | SLY102 | San Marzano | 00-00-1960 | España | na ²³ | na | Variedad tradicional | 5 |
| SLY103 | SLY103 | San Marzano | 00-00-1938 | Argentina | na | na | Variedad tradicional | 8 |
| SLY104 | SLY104 | San Marzano | 00-00-1957 | Italia | na | na | Variedad tradicional | 7 |
| 30 | SLY37 | | 00-00-1938 | Chile | Antofagasta | Antofagasta | Variedad tradicional | |
| C | C | Carmelo | 2014 | Chile | Valparaíso | Quillota | Híbrido comercial antiguo | 5 |
| H | na | Híbrido | 2015 | na | na | na | Híbrido comercial | 2 |
| P | na | Patrón | 2015 | na | na | na | Híbrido comercial | 3 |

²³No aplica.

Extracción de DNA

Se extrajo DNA genómico de 126 individuos que representaron –en número variable– a cada accesión. La extracción de DNA se hizo sobre tejido de hoja de plántulas utilizando el método de extracción CTBA modificado descrito por Barra et al.²⁴. Se analizó la concentración de DNA de cada extracción mediante nanodrop ACTGENE®. La integridad del DNA se analizó mediante visualización en geles de agarosa (2%), teñidos con GelRed™ y corridos en cámara de electroforesis a 75 volts.

Amplificación de PCR

Cada muestra de DNA stock se diluyó a una concentración de 10ng/ul. El genotipado se realizó con 4 SSR previamente seleccionados y estandarizados (**Cuadro 1.5**).

Cuadro 1.5. SSR utilizados en el estudio y condiciones de amplificación.

| Primer | Fluoróforo | Tm °C | MgCl2 | Repeticiones |
|----------|------------|-------|-------|--------------|
| LEtat002 | PET | 57 | 1,5 | 3 |
| LEga003 | VIC | 59 | 1,5 | 2 |
| LEcaa001 | NED | 58 | 1,5 | 3 |
| Tom196 | FAM | 56 | 1,5 | 3 |

Las amplificaciones PCR se realizaron en un volumen de 20 µl de reacción que contenía: 2 µl de DNA; 1,2 µl de dNTP; 2 µl de 10x Taq buffer que contenía 1.5 mM de MgCl2, 0,05 µl de primer M13-forward y 0,2 µl de primer reverse, 0,07 µl de KAPA Taq y 0,2 µl de primer M13 marcado para cada reacción. Los PCR se realizaron en un termo-ciclador BIOER® XP thermal cycler, utilizando el método descrito por Schuelke²⁵ con las siguientes modificaciones: denaturación inicial a 93 °C por 1'; 31 ciclos de: 30" a 94 °C, annealing a X °C (según cada partidor, ver Cuadro 6) por 45", extensión a 72 °C por 45"; 16 ciclos de: 94 °C por 30", 53 °C por 45", 72 °C por 45" y una extensión final a 72 °C por 30'. De cada placa de PCR, se seleccionaron 10-12 muestras al azar para verificar la amplificación de las muestras mediante electroforesis en gel de agarosa (2%).

²⁴ Barra et al. (2019).

²⁵ Schuelke (2000).

Genotipado y llamado de alelos

La visualización de los productos de PCR (determinación de número y tamaño de fragmentos) se realizó mediante electroforesis capilar en un analizador de fragmentos ABI 3130xLs, utilizando tamaño estándar dado por GeneScan™ LIZ 500, mediante un sistema de poolplex que mezcló en un solo pocillo los productos de PCR de 4 marcadores de SSR marcados con distintos fluoróforos (NED, PET, VIC y FAM) en distintas concentraciones. La mezcla estaba compuesta por 2 µl de poolplex, 10 µl de HiDi formamida y 0,2 µl GeneScan™ LIZ 500. Los tamaños alélicos fueron calculados automáticamente por el software GeneMapper® v4.0 y ajustados manualmente. El binning fue hecho automáticamente mediante el programa Tandem®²⁶.

Análisis de datos

La identificación de grupos genéticos se realizó mediante el método de modelamiento bayesiano implementado en el programa Structure²⁷. Para cada valor de K (K es el número de clusters a ser inferidos) se hicieron 10 corridas, iniciando en un K de 1 hasta 32. La estimación de los parámetros se realizó con 100.000 iteraciones posteriores a una quema de 10.000 iteraciones de Cadena de M̄arkov Monte Carlo. La desviación estándar y la probabilidad posterior para cada corrida de simulación fueron calculados siguiendo los lineamientos de Evanno et al²⁸. para la estimación de K óptimo, tras lo cual los individuos fueron clasificados según pertenencia a cada uno de los clusters. Los resultados fueron luego analizados utilizando Structure Harvester²⁹ y graficados utilizando Structure plot 2.0³⁰. La relación genética entre las distintas accesiones se analizó utilizando el método de clasificación jerárquico UPGMA con distancia genética de Nei, usando el software Infogen³¹.

²⁶ Matschiner and Salzburger (2009).

²⁷ Pritchard et al. (2000).

²⁸ Evanno et al.(2005).

²⁹ Earl y vonHoldt (2012).

³⁰ Ramasamy et al. (2014).

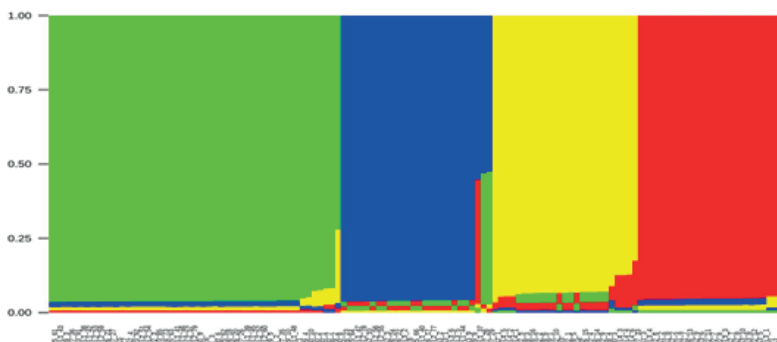
³¹ Balzarini y Di Renzo (2016).

1.3.2 Resultados y discusión

La **Figura 1.3** muestra que existen 4 grupos genéticos diferenciados a partir del análisis de los resultados de 4 SSR. Se puede observar que las accesiones SLY147, SLY74 y SLY124 están en el mismo grupo genético (grupo amarillo), lo que estaría indicando que tendrían un trasfondo genético similar. La accesión colectada en el territorio SLY123 es genéticamente similar a las accesiones San Marzano de origen italiano (grupo rojo). Esta accesión es identificada como “Corazón de Buey” en la literatura por su forma tipo pera, mientras que las variedades de tipo San Marzano presentan una forma de tipo cilíndrica. En este grupo también se encuentran todos los individuos del híbrido comercial Patrón. Los grupos verde y azul son grupos más heterogéneos que agrupan el resto de las variedades evaluadas.

La relación entre las accesiones se observa en la **Figura 1.4** que identifica al menos tres grupos: uno que agrupa las variedades comerciales modernas Patrón (P) y el híbrido 7742 (H); otro grupo que agrupa claramente las accesiones italianas tipo San Marzano SLY102, SLY103 y SLY104 con SL123 y el grupo formado por las accesiones SLY147, SLY74 y SLY124; y un tercer grupo más heterogéneo que agrupa todas las demás accesiones.

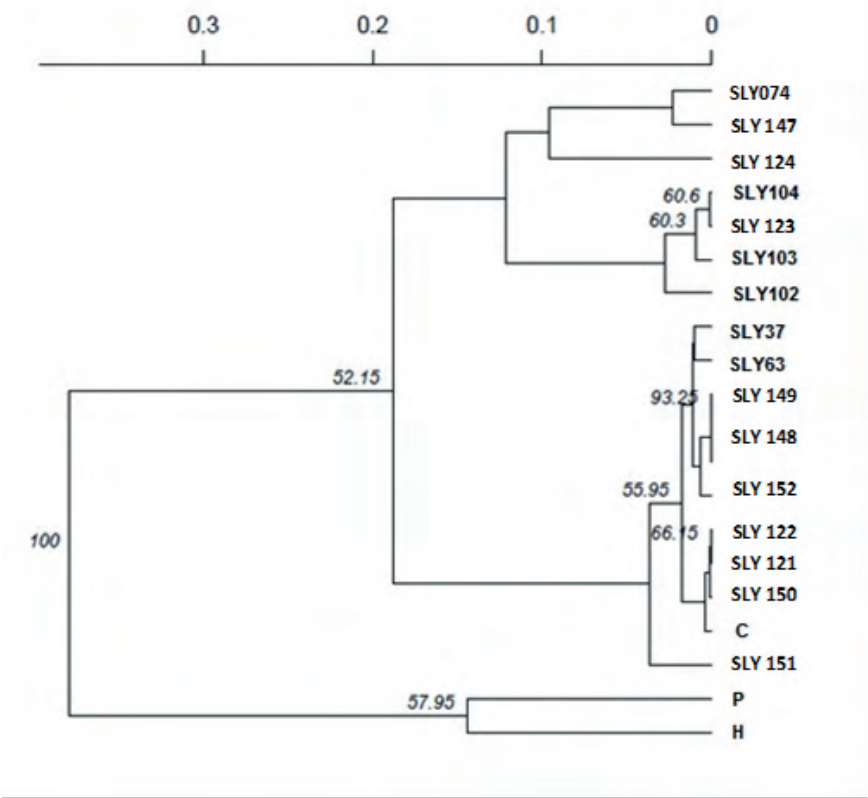
Figura 1.4. Estructura poblacional de 19 cultivares y variedades de tomate analizados en estudio por el programa Structure® y visualizado con el programa Distruct®³². Cada barra vertical representa un individuo que es particionado en segmentos coloreados determinados por k, que representa la pertenencia de cada uno de estos a alguno de los grupos definidos por k (k=4)³³.



³² Ramasamy et al. (2014).

³³ Balzarini y Di Renzo (2016).

Figura 1.5. Dendograma UPGMA basado en la distancia genética de Nei, resumiendo grupos conformados por los 19 cultivares y variedades de tomate, de acuerdo con el análisis con 4 marcadores SSR.



1.4 Conclusiones

En base a los resultados combinados del análisis morfo-fenológico-productivo y genético (molecular) se concluye que: a) las accesiones SLY074 y SLY124 (accesión local) presentaron similitud morfo-fenológico-productivo y genética, lo cual permite concluir que dichas accesiones pueden ser consideradas como un tipo de "tomate Limachino Antiguo". Dado que la accesión SLY124 (FIALIM4), fue colectada en el año 2015, se concluye que esta accesión local ha sido mantenida por los agricultores de la Cuenca de Limache por más de 50 años, y b) la accesión SLY123 (FIALIM3) es una accesión local colectada el 2015 en la Cuenca de Limache. Pertenece a un grupo morfo-fenológico-productivo distinto genéticamente al grupo donde pertenece la accesión de referencia (SLY074). Además, se identifica con accesiones italianas que fueron introducidas en la Cuenca de Limache durante los años 30s.

Nuestros resultados también muestran que las accesiones previamente reconocidas como "Limachino" por los agricultores, agrupan de manera diferenciada de todas aquellas accesiones que pertenecen a otras variedades.

Se desprende que tanto en la década de 1980 como en el 2015 los agricultores cultivaban y conservan más de un tipo varietal. Finalmente, es posible que estos tipos varietales tengan más de una procedencia, lo que se corresponde con la historia de introducción de variedades en el país.

1.4 Literatura consultada

Balzarini M & Di Rienzo C. 2003. Info-gen: Software para análisis estadístico de datos genéticos. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

Barra M, Salazar E, Sagredo B. 2012. High-quality genome DNA extraction method for high-throughput genotyping analysis in populations of species with phenolic content such as *Solanum tuberosum* (L.) spp *tuberosum* or *Zea mays* (L.). *Cienc Inv Agr* 39: 593-601.

Balzarini MG & Di Rienzo JA. 2016. InfoGen, versión 2016. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. En línea: <http://www.info-gen.com.ar>

Bates D, Maechler M, Bolker B, Walker S, Christensen RHB, Singmann H, Dai B, Grothendieck G & Green P. 2017. Linear Mixed-Effects Models using Eigen' and S4. En línea: <https://cran.r-project.org/web/packages/lme4/lme4.pdf>

Bolker BM, Brooks ME, Clark C, Geange SW, Poulsen JR, Stevens MHH, White JSS. 2009. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends Ecol Evol* 24 (3):127-135.

Earl DA & vonHoldt BM. 2012. Structure harvester: a website and program for visualizing Structure output and implementing the Evanno method. *Conserv Genet Resour* 4(2):359-361.

Evanno G, Regnaut S, Goudet J. 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software structure: a simulation study. *Mol Ecol* 14: 2611-2620.

Figàs MR, Prohens J, Raigón M D, Fernández-de-Córdoba P, Fita A, Soler S. 2015. Characterization of a collection of local varieties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) using conventional descriptors and the high-throughput phenomics tool Tomato Analyzer. *Genet Resour Crop Evol* 62:189-204.

Fox J, Weisberg S, Adler D, Bates D, Baud-Bovy G, Ellison S, Firth D, Friendly M, Gorjanc G, Graves S, Heiberger R, Laboissiere R, Monette G. 2017. Companion to Applied Regression. En línea: <https://cran.rproject.org/web/packages/car/car.pdf>

Hammer μ , Harper DAT, Ryan PD. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol Electron* 4(1): 9pp.

Matschiner M, Salzburger W. 2009. TANDEM: integrating automated allele binning into genetics and genomics workflows. *Bioinformatics*. 25: 1982-1983.

Pritchard JK, Stephens M, Donnelly P. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155: 945-959.

Ramasamy RK, Ramasamy S, Bindroo B, Naik VG. 2014. Structure plot: a program for drawing elegant Structure bar plots in user friendly interface. *SpringerPlus* 3:431.

Rosenberg NA. 2004. DISTRUCT: a program for the graphical display of population structure. *Mol Ecol Notes* 4(1): 137-138.

Schuelke M. 2000. An economic method for the fluorescent labeling of PCR fragments. *Nat Biotechnol* 18: 233-234.