

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA**  
**GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y**  
**AGROAMBIENTAL**



**EVALUACIÓN DE LOS PRINCIPALES**  
**CARACTERES FENOLÓGICOS Y DE CALIDAD**  
**DEL FRUTO EN TRES POBLACIONES DE**  
**CIRUELO JAPONES**  
**(*Prunus salicina* Lindl.)**

TRABAJO FIN DE GRADO

Julio – 2020

Autor: José Antonio García Méndez

Tutores: Santiago García Martínez

María Nicolás Almansa

## **Evaluación y estudio poblacional de los principales caracteres fenológicos y de calidad del fruto en ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl.)**

### **RESUMEN**

En este trabajo se han evaluado los principales caracteres relacionados con la fenología y la calidad del fruto en tres poblaciones de ciruelo ('Black Splendor' × 'Pioneer', 'Red Beauty' × 'Black Splendor' y 'Red Beauty' × 'Santa Rosa Precoz'), obtenidas en el programa de mejora genética de ciruelo japonés del CEBAS-CSIC/IMIDA.

Se ha encontrado gran variabilidad en los caracteres fenológicos (fecha de floración, fecha de cosecha y desarrollo del fruto) y de calidad del fruto (peso, color de piel, color de pulpa, firmeza, sólidos solubles y acidez) evaluados, mostrando todos ellos diferencias significativas entre genotipos en las tres poblaciones. Las correlaciones más altas se obtuvieron entre fecha de cosecha y desarrollo del fruto, así como entre estas y la firmeza del fruto. Las normales encontradas en algunos caracteres indica la naturaleza poligénica de estos caracteres, mientras que las distribuciones más asimétricas y bimodales indican la naturaleza oligogénica. En algunos casos se observaron valores transgresivos respecto a los parentales de las poblaciones.

**Palabras clave:** ciruelo japonés, población cartográfica, caracteres fenológicos, calidad de fruto.

## **Assessment and population study of the main phenological and fruit quality traits of Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.)**

### **ABSTRACT**

In this work, the main phenology and fruit quality traits have been evaluated in three plum populations ('Black Splendor' × 'Pioneer', 'Red Beauty' × 'Black Splendor' and 'Red Beauty' × 'Santa Rosa Precoz '), obtained in the CEBAS-CSIC / IMIDA Japanese plum breeding program.

Great variability has been found in the phenological traits (flowering date, harvest date and fruit development) and fruit quality (weight, skin color, flesh color, firmness, soluble solids content and acidity) evaluated, showing all of them significant differences between genotypes in the three populations. The highest correlations were obtained between harvest date and fruit development, as well as between these and fruit firmness. The normal distributions found in some traits indicate the polygenic nature of these traits, while the more asymmetric and bimodal distributions indicate the oligogenic nature. In some cases, transgressive values were observed with respect to the parental populations of the populations.

**Keywords:** Japanese plum, mapping population, phenological traits, fruit quality.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	8
1.1. ORIGEN DEL CULTIVO.....	8
1.2. TAXONOMÍA Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA .....	9
1.3. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE LA ESPECIE.....	10
1.4. EXIGENCIAS EDAFOCLIMÁTICAS, ASPECTOS TÉCNICOS Y PROBLEMAS DEL CULTIVO .....	15
1.5. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE CIRUELO JAPONÉS .....	16
1.5.1. Importancia del cultivo de ciruelo japonés a nivel mundial .....	16
1.5.2. Importancia del cultivo de ciruelo japonés a nivel europeo.....	18
1.5.3. Importancia del cultivo de ciruelo japonés a nivel nacional .....	18
1.6. VARIEDADES CULTIVADAS Y CENTROS DE OBTENCIÓN.....	19
1.7. PROGRAMA DE MEJORA GENÉTICA DE CIRUELO JAPONÉS DEL CEBAS-CSIC/IMIDA .....	21
2. OBJETIVOS.....	23
3. MATERIAL Y MÉTODOS. ....	24
3.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA PARCELA.....	24
3.2. MATERIAL VEGETAL EMPLEADO.....	25
3.3. METODOLOGÍA .....	25
3.3.1. Toma de muestras.....	25
3.3.2. Fecha de floración y maduración.....	26
3.3.3. Peso del fruto.....	26
3.3.4. Color del fruto .....	27
3.3.5. Firmeza del fruto.....	29
3.3.6. Contenido en sólidos solubles .....	29
3.3.7. Acidez y pH del fruto.....	30
3.3.8. Análisis estadístico .....	31
4. RESULTADOS .....	33
5. DISCUSIÓN.....	53
6. CONCLUSIONES .....	56
7. BIBLIOGRAFÍA.....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Origen, dispersión y cultivo de las principales especies del género Prunus cultivadas. Fuente: Martínez-Gómez, 2016. ....	8
<b>Figura 2.</b> Árbol de ciruelo japonés en fructificación. ....	11
<b>Figura 3.</b> Detalle de hojas de Prunus salicina Lindl. ....	11
<b>Figura 4.</b> Yemas florales en distintas formaciones fructíferas. ....	12
<b>Figura 5.</b> Detalle de yemas florales (flecha negra) flanqueando una yema vegetativa (flecha blanca). ....	12
<b>Figura 6.</b> Detalle de la flor de ciruelo japonés.....	13
<b>Figura 7.</b> Fruto de ciruelo. Detalle de la diversidad de forma y de color tanto en el exocarpo y mesocarpo. ....	14
<b>Figura 8.</b> Evolución de la producción y superficie destinada al cultivo del ciruelo a nivel mundial. Fuente: FAOSTAT, 2008-2019.....	17
<b>Figura 9.</b> Principales países productores de ciruela a nivel mundial. Fuente: FAOSTAT, 2021.....	17
<b>Figura 10.</b> Evolución de la producción y superficie destinada al cultivo del ciruelo a nivel europeo. Fuente: FAOSTAT, 2008-2019. ....	18
<b>Figura 11.</b> Evolución de la producción y la superficie destinada al cultivo del ciruelo en España. Fuente: FAOSTAT, 2020. ....	19
<b>Figura 12.</b> Detalle de la finca experimental y localización de las familias empleadas en el estudio. ....	24
<b>Figura 13.</b> Detalle de la balanza (Blauscal modelo AH-600) ....	27
<b>Figura 14.</b> Color según los parámetros L*, a* y b* del sistema CIELab.....	28
<b>Figura 15.</b> Texturómetro TA.TXPlus, con los accesorios empleados en el ensayo de compresión.....	29
<b>Figura 16.</b> Detalle del refractómetro empleado para la medición de sólidos solubles. ....	30
<b>Figura 17.</b> Detalle del valorador automático ácido-base empleado para la medición de pH y acidez. ....	31
<b>Figura 18.</b> Histograma de los caracteres fecha de floración y fecha de cosecha de las tres familias estudiadas. Los parentales están indicados con flechas siendo BS 'Black Splendor', PIO 'Pioneer', RB 'Red Beauty', SRP 'Santa Rosa Precoz' Los datos están indicados en días julianos. ....	43

**Figura 19.** Histograma de los caracteres desarrollo del fruto (días) y peso de fruto (g) de las tres familias estudiadas. Los parentales están indicados con flechas siendo BS 'Black Splendor', PIO 'Pioneer', RB 'Red Beauty', SRP 'Santa Rosa Precoz' ..... 46

**Figura 20.** Histograma de los caracteres color de piel visual y color de piel ( $h^{\circ}$ ) de las tres familias estudiadas. Los parentales están indicados con flechas siendo BS 'Black Splendor', PIO 'Pioneer', RB 'Red Beauty', SPR 'Santa Rosa Precoz' ..... 47

**Figura 21.** Histograma de los caracteres color de pulpa visual y color de pulpa ( $h^{\circ}$ ) de las tres familias estudiadas. Los parentales están indicados con flechas siendo BS 'Black Splendor', PIO 'Pioneer', RB 'Red Beauty', SPR 'Santa Rosa Precoz' ..... 49

**Figura 22.** Histograma de los caracteres firmeza (N) y contenido en sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix) de las tres familias estudiadas. Los parentales están indicados con flechas siendo BS 'Black Splendor', PIO 'Pioneer', RB 'Red Beauty', SPR 'Santa Rosa Precoz' ..... 50

**Figura 23.** Histograma de los caracteres ácido málico (g ac. málico/ 100ml) y acidez (%) de las tres familias estudiadas. Los parentales están indicados con flechas siendo BS 'Black Splendor', PIO 'Pioneer', RB 'Red Beauty', SRP 'Santa Rosa Precoz' ..... 51

### ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Estadística descriptiva de los parentales que conforman las familias del presente trabajo. .... 33

**Tabla 2.** Estadística descriptiva de la familia 'Black Splendor' x 'Pioneer' ..... 35

**Tabla 3.** Estadística descriptiva de la familia 'Red Beauty' x 'Black Splendor'. 35

**Tabla 4.** Estadística descriptiva de la familia 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz'. ..... 36

**Tabla 5.** ANOVA de factor genotipo para los caracteres con distribución normal de la familia 'Black Splendor' x 'Pioneer' ..... 36

**Tabla 6.** Análisis Kruskal-Wallis de muestras independientes para los caracteres con distribución no paramétrica de la familia 'Black Splendor' x 'Pioneer' ..... 37

**Tabla 7.** ANOVA de factor genotipo para los caracteres con distribución normal de la familia 'Red Beauty' x 'Black Splendor'. ..... 37

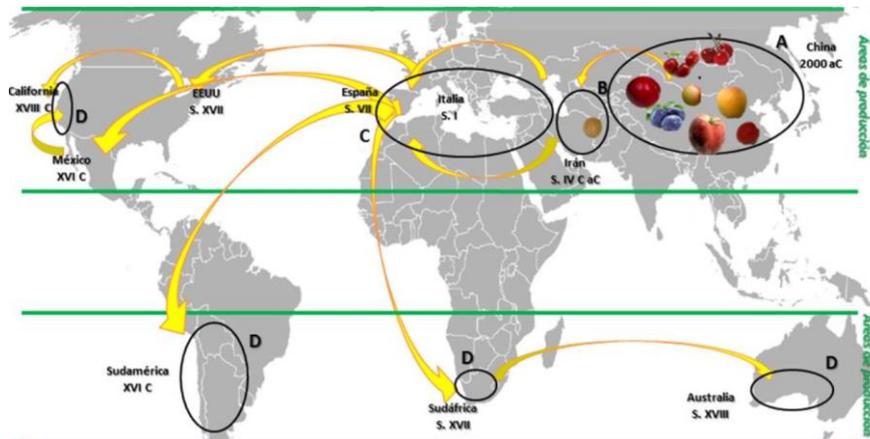
<b>Tabla 8.</b> Análisis Kruskal-Wallis de muestras independientes para los caracteres con distribución no paramétrica de la familia 'Red Beauty' × 'Black Splendor'. 37	37
<b>Tabla 9.</b> ANOVA de factor genotipo para los caracteres con distribución normal de la familia 'Red Beauty' × 'Santa Rosa Precoz'. .....	38
<b>Tabla 10.</b> Análisis Kruskal-Wallis de muestras independientes para los caracteres con distribución no paramétrica de la familia 'Red Beauty' × 'Santa Rosa Precoz'. .....	38
<b>Tabla 11.</b> Coeficiente de correlación de Pearson entre los diferentes caracteres evaluados en la población 'Black Splendor' × 'Pioneer'. La correlación es significativa al nivel p-valor<0,05*, <0,01**, <0,001***. ....	40
<b>Tabla 12.</b> Coeficiente de correlación de Pearson entre los diferentes caracteres evaluados en la población 'Red Beauty'× 'Black Splendor'. La correlación es significativa al nivel p-valor<0,05*, <0,01**, <0,001***. ....	41
<b>Tabla 13.</b> Coeficiente de correlación de Pearson entre los diferentes caracteres evaluados en la población 'Red Beauty'× 'Santa Rosa Precoz. La correlación es significativa al nivel p-valor<0,05*, <0,01**, <0,001***. ....	42
<b>Tabla 14.</b> Test de normalidad de Shapiro-Wilks (modificado) de la familia 'Black Splendor' × 'Pioneer'. .....	45
<b>Tabla 15.</b> Test de normalidad de Shapiro-Wilks (modificado) de la familia 'Red Beauty' × 'Black Splendor'. .....	45
<b>Tabla 16.</b> Test de normalidad de Shapiro-Wilks (modificado) de la familia 'Red Beauty' × 'Santa Rosa Precoz'. .....	46

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1. ORIGEN DEL CULTIVO

En la actualidad, las variedades de ciruelo cultivadas a nivel mundial pertenecen a dos especies: ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl.) y ciruelo europeo (*Prunus domestica* L.).

Los centros de origen y la distribución de las especies de *Prunus salicina* Lindl. y *Prunus domestica* L. siguen el mismo patrón que el resto de las especies del género *Prunus*. Como podemos observar en la Figura 1, el género *Prunus* tiene su origen en el continente asiático, concretamente de la zona central (Cáucaso) y de la zona oriental (China). Hay indicios de su cultivo en estas zonas de origen desde el año 2000 a.C. Las rutas comerciales que se establecieron entonces entre el Imperio persa y Europa lograron la expansión de este género hacia Oriente Próximo y el Mediterráneo, a través de Armenia e Irán hasta llegar a Grecia e Italia en el siglo IV a.C. Posteriormente, a mitad del siglo VII llegaron a la Península Ibérica a través del norte de África traídos por los árabes, posteriormente desde Europa (principalmente desde España) se importaron hacia Norte América, México y Sudáfrica entre los siglos VI y VII, llegando finalmente a Australia desde Sudáfrica en el siglo VIII.



**Figura 1.** Origen, dispersión y cultivo de las principales especies del género *Prunus* cultivadas. Fuente: Martínez-Gómez, 2016.

Estas especies, se caracterizan por tener diferentes requerimientos de frío/calor, por lo que se suelen situar en zonas geográficas distintas. Dentro del ciruelo japonés encontramos cultivares adaptados a zonas templadas, generalmente de bajas-medias necesidades de frío y de maduración temprana (mayo-julio) mientras que el ciruelo europeo está más adaptado a zonas frías (Guerra, 2011; Topp *et al.*, 2012)

El ciruelo europeo (*P. domestica* L.) tiene su origen en Turquestán, aunque ya había conocimiento del mismo en zonas como Persia, el Cáucaso y la Antigua Siria (Mataix y Villarubia, 1999) y en distintos países de Europa desde el siglo 1 d.C. (Okie y Ramming, 1999). La llegada a Europa pudo darse a través de Italia, aproximadamente sobre el año 149 a.C. según los estudios realizados de este híbrido tan complejo. Por otro lado, el ciruelo japonés (*P. salicina* Lindl.), especie motivo de estudio en el presente trabajo, tiene su centro origen en China, en la cuenca del río Yangtzé, pudiendo considerarse un cultivo milenario, ya que ha sido datado del año 300 a.C. (Yoshida, 1987). Posteriormente, fue introducido en Japón en el año 1500 y llegó a Europa en 1876 (Cobianchi *et al.*, 1989).

En la segunda mitad de siglo XIX, Luther Burbank, mejorador de procedencia armenia, transportó algunos genotipos de *P. salicina* Lindl. como 'Kelsey' y 'Abundance' desde Japón a Estados Unidos (Guerra y Rodrigo, 2017; Okie y Hancock, 2008), convirtiéndose en los primeros parentales de los primeros cruzamientos de la mejora genética moderna de la especie en el siglo XIX (Battle *et al.*, 2018). La posibilidad de efectuar hibridaciones entre las especies americanas de ciruelos diploides y las de reciente introducción generó nuevos cultivares, tales como 'Red Beauty' o 'Santa Rosa' entre otros (Faust y Surányi, 1999; Okie, 2006).

## 1.2. TAXONOMÍA Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

La clasificación sistemática del ciruelo japonés es la expuesta a continuación (Trópicos, 2021; The Plant List, 2021):

- Clase: *Equisetopsida* C. Agardh
- Subclase: *Magnoliidae* Novák ex Takht.
- Superorden: *Rosanae* Takht.

- Orden: *Rosales Bercht. & J. Presl*
- Familia: *Rosaceae Juss.*
- Género: *Prunus L.*
- Especie: *Prunus salicina* Lindl.
- Sinónimos: *Prunus botan hort. Ex Chow, Prunus botan André, Prunus ichangana C.K. Schneid., Prunus salicina var. salicina, Prunus triflora Roxb. y Prunus trifolia Roxb.*
- Nombre común: ciruelo japonés, ciruelo oriental, ciruelo chino.

La familia *Rosaceae* tiene un gran interés botánico por la elevada variedad de especies con fines agrícolas de las que se compone. De todas ellas, se pueden destacar géneros como *Malus* (manzano), *Fragaria* (fresa), *Pyrus* (peral), *Rosa* (rosas) y *Prunus* (frutales de hueso) (Bailey *et al.*, 1975).

A su vez, en el género *Prunus* se incluyen más de 230 especies, este género posee gran importancia ya que a nivel mundial se cultivan más de 20 especies. Se divide en 5 subgéneros, de los cuales caben destacar tres debido a su relevancia a nivel agrícola: *Prunus* (albaricoquero y ciruelo), *Cerasus* (cerezo) y *Amygdalus* (melocotonero y almendro). Los dos restantes (*Laurocerasus* y *Padus*) apenas presentan importancia agronómica (Lee y Wen, 2001; Prudencio, 2016).

### 1.3. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE LA ESPECIE

El ciruelo japonés (*P. salicina* Lindl.) es un **árbol** caducifolio que presenta un porte erecto de tamaño medio pudiendo alcanzar los 5-7 m de altura. Se trata de árboles muy vigorosos, sobre todo cuando son jóvenes, que habitualmente se conducen en vaso abierto con 4 o 5 ramas principales, lo que provoca la necesidad de realizar poda en verde para evitar sombreado de ramas y frutos que dificulten la penetración de la luz y la aireación, lo que repercute directamente sobre la producción y la calidad final de la cosecha (Fig. 2).



**Figura 2.** Árbol de ciruelo japonés en fructificación.

Posee un **tronco** robusto de madera fina de color verde violáceo cuando es joven y oscura cuando es vieja (Agustí, 2010), agrietado conforme envejece (Calvo, 2009).

El **sistema radicular** es superficial, con raíces extensas, fuertes y flexibles (Calvo, 2009).

Las **hojas** son simples, alternas, con una forma lanceolada y un tamaño de 3 a 8 cm de largo. Presentan estípulas en la base del limbo de la hoja, son aserradas, lisas en el haz y ligeramente pubescentes en el envés. El color puede variar entre verde, más o menos claro, a morado, más o menos intenso (Agustí, 2010) (Fig. 3).



**Figura 3.** Detalle de hojas de *Prunus salicina* Lindl.

Las **yemas florales** producen inflorescencias cimosas que se encuentran en estructuras cortas dando lugar a brotes con múltiples flores o en ramos mixtos (Agustí, 2010). Normalmente se producen en ramas de 1 año o sobre ramas cortas de madera de varios años (Fig. 4). La mayoría de las formas fructíferas que tiene el ciruelo son dardos, brindillas, ramos mixtos, y anticipados. Las yemas florales normalmente flanquean a una vegetativa, habiendo de una a tres flores por yema vegetativa (Fig. 5) (Okie y Weinberger, 1996).



**Figura 4.** Yemas florales en distintas formaciones fructíferas.



**Figura 5.** Detalle de yemas florales (flecha negra) flanqueando una yema vegetativa (flecha blanca).

Las **flores** son normalmente blancas llegando a ser en ocasiones ligeramente rosadas. Son pentámeras, formadas por cinco sépalos y pétalos, dispuestas de forma alternas solitarias o en grupos de dos a cinco flores con pedicelos largos, con gineceo unicarpelar y un androceo con numerosos estambres (entre 20 y 30) con filamentos libres insertados en un hipanto generalmente nectarífero (Fig. 6) (Looney y Jackson, 1999; Mataix *et al.*, 1999; Okie y Weinberger, 1996).

La mayoría de los ciruelos japoneses se clasifican como auto-incompatibles, por lo que los requerimientos de polinización son variables y complicados necesitando la mayoría de cultivares polinización cruzada (Mataix *et al.*, 1999).



**Figura 6.** Detalle de la flor de ciruelo japonés.

El **fruto** es una drupa glabra recubierta de una cera blanquecina llamada pruina. La longitud oscila entre 2 y 8 cm y su forma puede ser cordiforme (acorazonado), elíptica (alargado), achatado y circular (redondeado), presentan una sutura ventral no muy profunda generalmente y un pedúnculo mediano. El color del exocarpo varía entre verde, amarillo, rojo y violáceo en función del genotipo (Fig. 7).

Presenta un mesocarpo carnoso, jugoso, dulce y puede ser de color blanquecino, verdoso, verde-amarillento, amarillo, naranja, rojo, rojo oscuro y morado (Fig. 7).



**Figura 7.** Fruto de ciruelo. Detalle de la diversidad de forma y de color tanto en el exocarpo y mesocarpo.

En su interior, se encuentra el endocarpo lignificado de forma variable alargado o redondeado y aplastado, que contiene una semilla amarga con una testa marrón y cotiledones blancos (Agustí, 2010; Calvo, 2009). La semilla suele perder su viabilidad en el transcurso de un mes (Mataix *et al.*, 1999). El fruto presenta una curva de cruzamiento doble-sigmoide típica de los frutales de hueso, el embrión madura durante la fase de estancamiento de crecimiento del mesocarpo y endurecimiento del endocarpo.

Respecto a la fisiología de su maduración, las ciruelas han sido tradicionalmente clasificadas como frutos climatéricos (Calvo, 2009), por lo que su maduración continúa tras la recolección.

#### 1.4. EXIGENCIAS EDAFOCLIMÁTICAS, ASPECTOS TÉCNICOS Y PROBLEMAS DEL CULTIVO

Existen grandes diferencias entre el ciruelo europeo (*P. domestica* L.) y el ciruelo japonés (*P. salicina* Lindl.) en cuanto a sus necesidades climatológicas. El ciruelo europeo está adaptado a zonas templadas, prefiere altitudes entre 600 y 1000 m, y requiere entre 800-1300 horas frío (HF) para cubrir sus necesidades de frío invernal. No suelen afectarle las heladas primaverales ya que su floración es tardía. Por el contrario, el ciruelo japonés es un frutal que se adapta mejor a zonas con climas templado-cálidos, tiene unas necesidades de frío invernal mucho más bajas, entre 100-600 HF (Espada, 2010), por lo que presenta una rápida salida del letargo, lo que provoca que presente dificultad de adaptación a zonas con temperaturas muy bajas y con riesgo de heladas primaverales, de ahí el motivo que su cultivo esté ampliamente extendido por la zona Mediterránea.

El ciruelo japonés (*P. salicina* Lindl.) es uno de los frutales con mejor adaptación a diferentes tipos de condiciones edafológicas. Sus raíces tienden a ser superficiales, por lo que suelos arcillosos, con elevado pH y salinos son limitantes para su cultivo ya que provocan asfixia radicular y clorosis férrica, perjudicando su rendimiento (Guardiola, 2019).

El método de riego más usado es el localizado (de goteo o microaspersión), empleado en más del 70 % de la superficie cultivada (MAPAMA, 2020). En suelos francos, generalmente se sitúa una línea de goteros por hilera de árboles, mientras que en arenosos o poco fértiles se opta por una doble línea de riego.

El marco de plantación normalmente se establece entre 5x3 m y 6x3 m, lo que supondría entre 500-800 árboles por hectárea, pudiendo emplear marcos de plantación más estrechos en los cultivares con un porte erguido. Al poseer la gran mayoría de variedades el carácter auto-incompatible, se deben intercalar árboles de otras variedades que sean polinizadoras, inter-compatibles y coincidentes en época de floración (Guardiola, 2019).

Con respecto a la fertilización, hay que resaltar que el abono debe establecerse en la época de verano-otoño previa a la plantación (Agustí, 2010). El plan de abonado depende de la edad de plantación, el vigor y la productividad de las variedades empleadas. En general, el ciruelo es menos exigente en

nitrógeno que el resto de las especies frutales, pero necesita mayores contenidos foliares en potasio. En el caso de las especies de ciruelo comercial, el ciruelo japonés es más exigente en nitrógeno que el ciruelo europeo. A modo de ejemplo, los requerimientos para una producción de 20.000 kg/ha dentro de una plantación adulta y expresados en unidades fertilizantes (U.F) por hectárea son: 85 U.F de Nitrógeno (N), 40 U.F. de fósforo (P), 90 U.F. de Potasio (K) y 25 U.F. de Magnesio (Mg) (Talón, 2009).

La edad de estas plantaciones varía entre los 4 y 14 años, con un ligero aumento en los últimos años de las plantaciones de más de 15 años (MAPAMA, 2020).

En cuanto a la problemática del cultivo, el ciruelo japonés es susceptible a enfermedades fúngicas (cribado, oídio, lepra, roya o moniliosis), bacterianas (chancros, agalla de cuello...) y virosis. (Arroyo *et al.*, 2016).

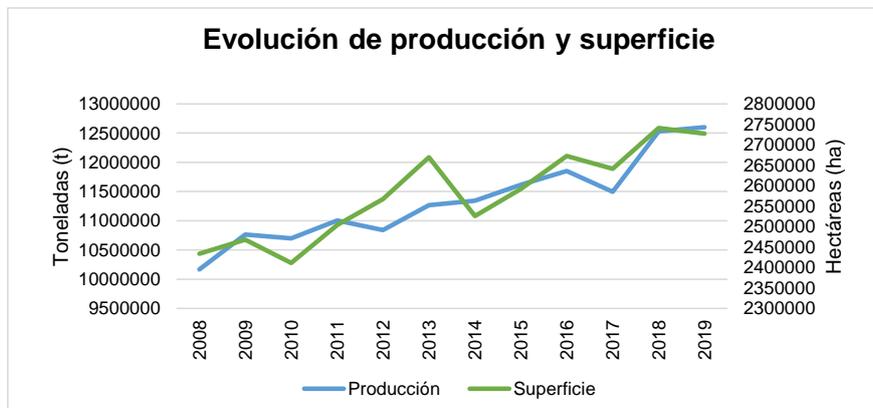
En cuanto a enfermedades de origen vírico, el ciruelo japonés se ha visto muy afectado por la sharka o viruela, una de las enfermedades virales más devastadoras de los frutales de hueso, causada por el *Plum pox virus* (PPV).

## 1.5. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DE CIRUELO JAPONÉS

### 1.5.1. Importancia del cultivo de ciruelo japonés a nivel mundial

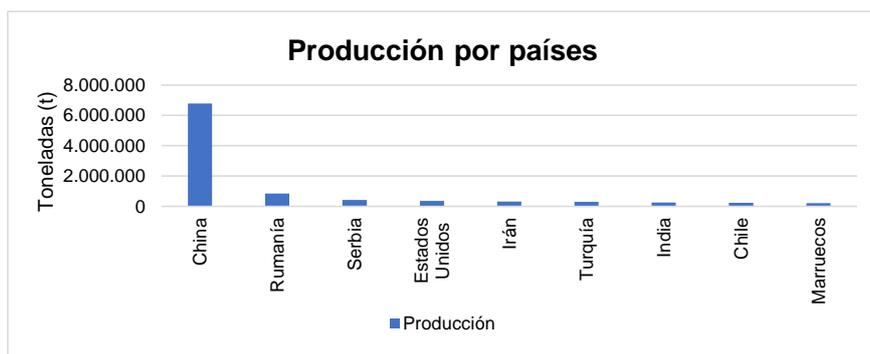
A nivel mundial, la producción de fruta de hueso se sitúa en 40 millones de toneladas (FAOSTAT, 2021). La producción de ciruela se encuentra en la segunda posición siendo el melocotón el que más se produce a nivel mundial. Debemos resaltar que los datos estadísticos disponibles, no se diferencia entre ciruela japonesa y europea (YARA, 2020).

Como se puede observar en la Figura 8, desde el año 2008 se han producido ligeros crecimientos y descensos de la producción y el área cosechada a nivel mundial. La producción máxima se ha alcanzado en 2019 con un total de 12.601.312 t, mientras que el año en el que se ocupó una mayor superficie de producción fue en 2018 con un total de 2.741.152 ha.



**Figura 8.** Evolución de la producción y superficie destinada al cultivo del ciruelo a nivel mundial. Fuente: FAOSTAT, 2008-2019.

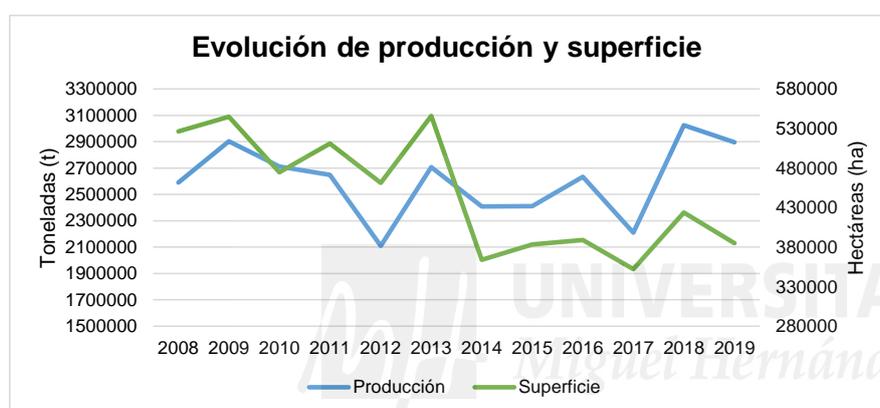
A nivel mundial, Asia se posiciona como el continente con la mayor producción de ciruelas, con casi un 65 % de la producción mundial, seguido de Europa (25,5 %) y América (6,7 %) (FAOSTAT, 2021). China es el principal productor de ciruela con alrededor de la mitad de la producción total mundial (6.788.107 t en 2020), basándose su producción en ciruela japonesa. Rumania y Serbia son el segundo y tercer país productor de ciruela respectivamente, aunque debido a sus condiciones climatológicas esta producción se centra en ciruela europea. Lo que conlleva que Europa occidental sea la segunda zona de producción más importante a nivel mundial. En el hemisferio sur cabe destacar a Chile como mayor productor con 290.175 t (Fig. 9)



**Figura 9.** Principales países productores de ciruela a nivel mundial. Fuente: FAOSTAT, 2021.

### 1.5.2. Importancia del cultivo de ciruelo japonés a nivel europeo

Al contrario de lo que sucede a nivel mundial, según los datos oficiales de la FAO, en Europa se está sufriendo un descenso de la superficie cultivada en los últimos 10 años. Como podemos observar en la Figura 10, el año con mayor superficie de cultivo fue 2013 con 545.921 ha, seguido de un descenso muy acusado en los siguientes años, teniendo en la actualidad 384.808 ha dedicadas a la producción de ciruela a nivel europeo. Según los datos más actualizados (año 2019), la producción y superficie de cultivo a nivel europeo es de 2.895.801 t y 384.808 ha.



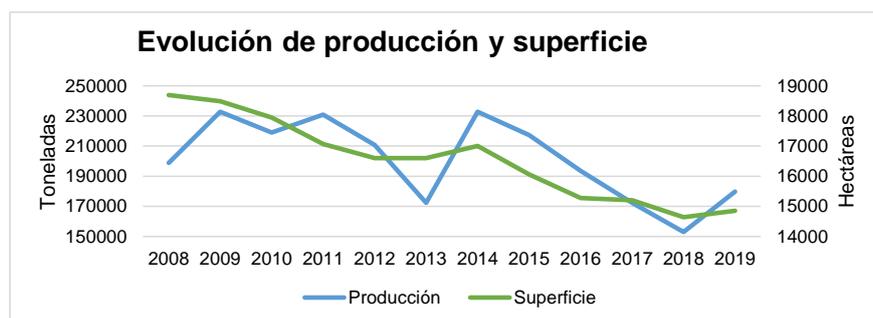
**Figura 10.** Evolución de la producción y superficie destinada al cultivo del ciruelo a nivel europeo. Fuente: FAOSTAT, 2008-2019.

Entre los principales países productores a nivel europeo se encuentran Rumania y Serbia con producciones de 692.670 t y 462.284 t respectivamente, seguidos por Italia con 202.429 t y España con 201.320 t.

### 1.5.3. Importancia del cultivo de ciruelo japonés a nivel nacional

A nivel nacional, la superficie destinada al cultivo de ciruelo ha sufrido un descenso del 20,6% desde 2008, pasando de una superficie cultivada de 18.695 ha en 2008 a 14.850 ha en 2019. Esta disminución de la superficie de cultivo ha repercutido directamente en la producción, disminuyendo en un 9,6% desde 2008 hasta producir 179.840 t en 2019 (Fig. 11). Esto ha ido sucediendo de manera escalonada con un pequeño repunte de 2018 a 2019 en la producción.

Los descensos producidos en los últimos años están relacionados con una mayor incidencia de la enfermedad de la Sharka provocada por el virus *Plum pox virus* (PPV), lo que ha ocasionado que los agricultores reemplacen su producción de ciruela por el cultivo de albaricoquero y melocotonero fundamentalmente, provocando así una disminución de la producción (Guardiola, 2019).



**Figura 11.** Evolución de la producción y la superficie destinada al cultivo de ciruela en España. Fuente: FAOSTAT, 2020.

En cuanto a las principales comunidades autónomas productoras de ciruela, Extremadura es la principal, produciendo casi el 50% de la producción nacional con un total de 85.000 t. A continuación, le siguen Andalucía en segundo lugar con 23.350 t y la Región de Murcia con 15.355 t de producción en tercer lugar.

## 1.6. VARIEDADES CULTIVADAS Y CENTROS DE OBTENCIÓN

La principal parte de la producción de ciruela japonesa en España siguen siendo variedades tradicionales como: 'Golden Japan', 'Serie Black' o 'Santa Rosa'. En los últimos años, se están introduciendo algunas nuevas variedades, sin embargo, no han tenido demasiado éxito en satisfacer las necesidades de productores y consumidores (Ruiz *et al.*, 2011).

Se puede afirmar que esta especie es la de menor dinamismo y renovación varietal dentro de los frutales de hueso. En la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) están registradas unas 107 variedades de ciruela a diferencia de las 256 de albaricoque o las 781 de melocotón (Guevara, 2016).

Actualmente se buscan nuevos objetivos como la calidad gustativa del fruto, nuevos colores de epidermis, autocompatibilidad, bajos requerimientos en horas frío, etc. Debido a estas demandas en la actualidad existen programas de mejora de ciruelo japonés en países de todo el mundo (Guerra y Rodrigo, 2017).

En el continente asiático se llevan a cabo programas de mejora en Corea, China, Japón, Tailandia e Israel. En estos programas, se busca principalmente la mejora de caracteres como el tamaño del fruto y la adaptación a diferentes zonas de cultivo. En Corea, el *National Horticultural Research Institute* está llevando a cabo un programa de mejora de la calidad del fruto, obteniendo hasta ahora variedades de interés como 'Purple Queen' o 'Honey Red'.

En Oceanía los principales programas de mejora están en Australia y Nueva Zelanda, desarrollando resistencias a enfermedades, bajos requerimientos de frío y maduración temprana. De allí proceden variedades como 'Queen Garnet', formando parte del grupo de variedades con frutos de gran concentración de antocianinas precursoras de antioxidantes, siendo estas muy valoradas como compuestos nutracéuticos (Guerra y Rodrigo, 2017).

Los programas de Brasil, Chile y Uruguay tienen como objetivos principales de mejora las bajas necesidades frío y la resistencia a enfermedades (Topp *et al.*, 2012; Guerra y Rodrigo, 2017). En Estados Unidos se encuentran diversos programas de mejora tanto en el sector público como en el privado, buscando aspectos de aumento de calibre en fruta temprana, y aumento de las cualidades organolépticas del fruto. Desde allí llegan variedades tan populares como 'Black Splendor', 'Fortune' o 'Santa Rosa'.

A nivel europeo, la mayoría de centros de obtención están localizados en la cuenca mediterránea, especialmente España e Italia que cuenta con centros de mejora en Roma, Forlì y Florencia de donde se destacan las variedades de la línea DOFI. En España, se llevan importantes investigaciones en Extremadura de la mano de viveros Provedo los cuales se centran en la calidad organoléptica, la aptitud postcosecha y la producción. En Murcia se encuentra el programa de mejora genética del CEBAS-CISC/IMIDA, donde tienen por objetivo obtener variedades con buenas cualidades organolépticas, autocompatibles, y con tolerancia o resistencia a la enfermedad de la sharka.

## 1.7. PROGRAMA DE MEJORA GENÉTICA DE CIRUELO JAPONÉS DEL CEBAS-CSIC/IMIDA

Este trabajo está enmarcado dentro del programa de mejora genética de la especie ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl.) que está desarrollándose en la Región de Murcia de manera conjunta entre el Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CEBAS-CSIC) y el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA). Este programa de mejora genética es relativamente nuevo, surgió en el año 2011, y actualmente hay unos 76 genotipos de interés preseleccionados.

El objetivo del programa es poner solución a los principales problemas que existen a día de hoy en el cultivo de este frutal entre los que se destaca: escasez de genotipos de maduración extra-temprana, autoincompatibilidad y la alta susceptibilidad a la enfermedad de la Sharka.

Por tanto, los objetivos que se persiguen en el programa de mejora es la obtención de nuevas variedades con las siguientes características (Ruiz *et al.*, 2019):

- Época de **maduración temprana** (mayo-junio) con escasas necesidades de frío invernal, ya que nuestra zona es idónea a nivel climatológico para poder llevar a cabo este tipo de producción y situarnos con respecto a la comercialización en una situación muy ventajosa con una competencia casi inexistente.
- **Autocompatibilidad** floral, ya que le permitiría al agricultor cultivar variedades sin necesidad de establecer variedades polinizadoras y asegurarse un buen nivel de producción.
- Nivel de **productividad** óptimo.
- Elevada **calidad del fruto** con características organolépticas atractivas para el consumidor, resistencia a la manipulación y buena conservación en post-cosecha.
- **Resistencia** al virus de la enfermedad de la Sharka (*Plum pox virus*, PPV). Al no existir material vegetal de ciruelo japonés resistente a este virus, se está intentando llevar a cabo la introducción de esta resistencia desde la

## INTRODUCCIÓN

---

realización de cruzamientos de naturaleza interespecífica con albaricoqueros resistentes al virus para obtener plumcots (*Prunus salicina* Lindl. × *Prunus armeniaca* L.) resistentes y así obtener una fuente de resistencia más cercana al ciruelo.



## 2. OBJETIVOS

Comentado [GMS1]: ponerlo como apartado 2. OBJETIVOS

A través del presente trabajo, el cual se encuentra enmarcado dentro del programa de mejora genética de ciruelo japonés del CEBAS-CSIC/IMIDA, se pretende evaluar los principales caracteres relacionados con la fenología y la calidad del fruto en tres poblaciones de ciruelo: 'Black Splendor' x 'Pioneer', 'Red Beauty' x 'Black Splendor' y 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz'. Este trabajo nos permitirá posteriormente la selección de genotipos que se caractericen por su carácter temprano o tardío, así como también por una elevada calidad del fruto. Además, este estudio de caracterización, nos aportará parte de la información necesaria que nos permitirá futuros estudios de asociación carácter-marcador para la identificación de QTLs, los cuales nos podrían proporcionar información útil para la implementación de la selección asistida mediante marcadores moleculares en esta especie.

Objetivos específicos que se plantean son los siguientes:

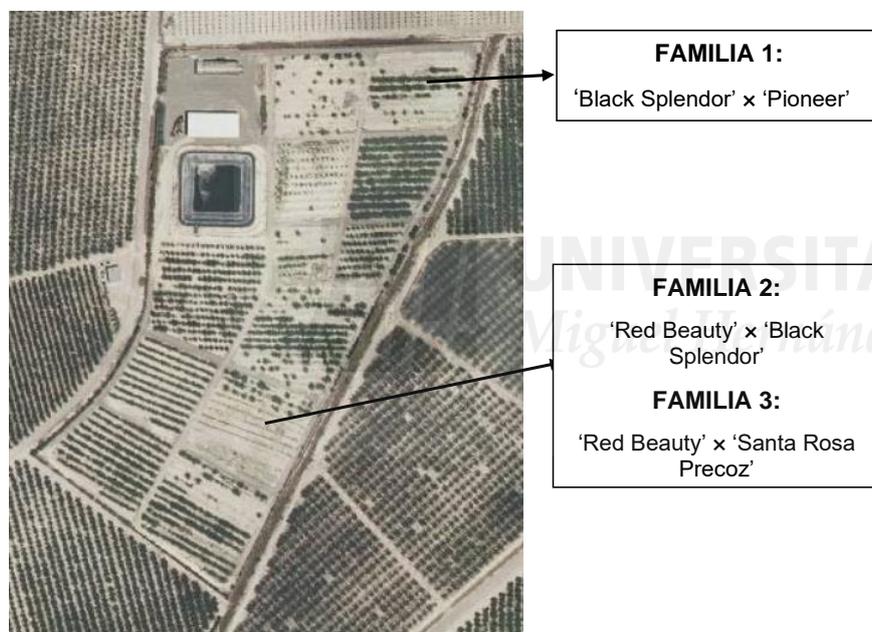
- Caracterización fenotípica de los principales caracteres relacionados con la fenología y calidad del fruto en tres poblaciones y variedades de ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl.).
- Estudio de la distribución poblacional y modo de herencia de los principales caracteres fenológicos y de la calidad del fruto en tres poblaciones de ciruelo japonés (*Prunus salicina* Lindl.).

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS.

#### 3.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA PARCELA

La finca donde se realizó el ensayo está ubicada en el término municipal de Calasparra (Murcia), con referencia catastral (30013A006001130000RM) (Fig. 12).

El terreno se encuentra a 310 m de altitud, alejado del cauce y la ribera del río y limitando al norte con un macizo montañoso. La superficie total cultivable es de 44.040 m<sup>2</sup>.



**Figura 12.** Detalle de la finca experimental y localización de las familias empleadas en el estudio.

El marco de plantación empleado para las 3 familias es de 5 x 1,5 m. Se trata de un sistema intensivo, debido a que la naturaleza de los programas de mejora hace necesaria la utilización del terreno al máximo. La plantación cuenta con un sistema de riego por goteo y se realiza un programa de fertirrigación y un manejo agronómico convencional para el ciruelo japonés.

### 3.2. MATERIAL VEGETAL EMPLEADO

El material vegetal empleado procede de tres familias de cruzamientos intraespecíficos, llevado a cabo con variedades tradicionales de referencia.

La **primera familia** se obtuvo en 2014 usando la variedad 'Black Splendor' como parental femenino y 'Pioneer' como parental masculino ('Black Splendor' × 'Pioneer'). El número de individuos estudiados de esta familia es de 120. La variedad 'Black Splendor' es una variedad con color de piel oscuro casi negro, con pulpa de color rojo intenso, presenta una calidad gustativa aceptable, tamaño medio de fruto y de maduración precoz, por otra parte 'Pioneer' es una variedad de color de piel burdeos casi naranja y pulpa de color dorado, con excelentes cualidades organolépticas, lo cual la convierte en una buena variedad para los productores que buscan una gran calidad del fruto.

La **segunda familia** proviene del cruzamiento en el año 2012 de la variedad 'Red Beauty' como parental femenino y 'Black Splendor' como parental masculino ('Red Beauty' × 'Black Splendor'). El número total de individuos de esta familia es de 103. 'Red Beauty' es una variedad de floración temprana que suele ser de las primeras que aparecen en el mercado, tiene un color de piel roja con pulpa amarilla y jugosa, con un suave sabor agrídulce y con fruto de calibre grueso a pesar de la precocidad que la caracteriza.

La **tercera familia** se obtuvo en 2012, utilizando 'Red Beauty' como parental femenino y 'Santa Rosa Precoz' como parental masculino, esta familia cuenta con un total de 104 individuos. 'Santa Rosa Precoz' es una mutación de la variedad 'Santa Rosa', la cual adelanta su la floración de forma considerable. Además, 'Santa Rosa Precoz' se caracteriza por su color de piel violáceo, pulpa de tonalidades amarillo-rojizas y su elevada firmeza, es una variedad muy productiva con frutos de buen calibre.

### 3.3. METODOLOGÍA

#### 3.3.1. Toma de muestras

La recogida de los frutos se realizó en el momento óptimo de madurez para cada uno de los descendientes y los parentales examinados. El color de fondo

de la piel y la firmeza (Sims y Comin, 1963; Varady-burgueti *et al.*, 1984) fueron los utilizados como criterio para determinar el momento óptimo en la recolección de las muestras.

Las muestras fueron recolectadas manualmente en la finca experimental, eligiendo frutos de tamaño uniforme y representativo situados en los cuatro puntos cardinales del árbol. Después de la recolección los frutos fueron transportados con un vehículo refrigerado hasta el laboratorio del CEBAS-CSIC con un tiempo aproximado en el viaje de 45 minutos. Para el análisis pomológico se utilizaron 12 frutos por genotipo siendo estos lo más representativos posible.

### 3.3.2. Fecha de floración y maduración

La floración fue determinada en días julianos a contar desde el 1 de enero como día 1. El estado de la floración fue evaluado en periodos de 2-3 días, considerando como fecha de floración el momento en el cual el 50% de las flores estaban en antesis (F50).

La fecha de maduración también fue expresada en días julianos, y se consideró como el momento en el que el fruto presentaba una firmeza y color óptimos para su consumo en fresco.

También se determinó el ciclo de desarrollo del fruto como el tiempo transcurrido entre fecha de floración y maduración.

### 3.3.3. Peso del fruto

Para la obtención del peso medio de los frutos se usó una balanza digital Blauscal modelo AH-600 (Fig. 13), con un error de 0,01 g. Los 12 frutos fueron pesados de manera individual para posteriormente realizar el promedio de los mismos.



Figura 13. Detalle de la balanza (Blauscal modelo AH-600)

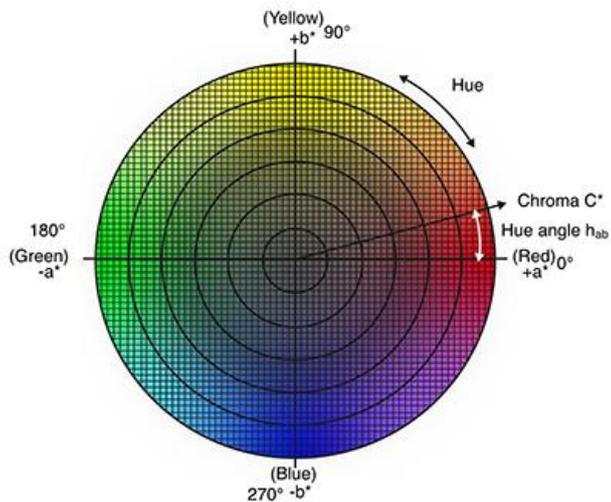
#### 3.3.4. Color del fruto

El color de la piel y pulpa del fruto, son de gran importancia, ya que se encuentran íntimamente ligados a la percepción de la calidad del fruto y de su atractivo por parte de los consumidores, así como también suponen uno de los criterios que indican el estado de madurez (Abbot *et al.*, 1999).

Tanto el color de piel como el de pulpa se evaluó de forma visual otorgándole valores de 1 a 6 en el caso de color de piel siendo el 1 amarillo, 2 amarillo anaranjado, 3 rojo, 4 rojo oscuro, 5 violáceo y 6 negro. En el caso de color de pulpa se otorgaron valores de 1 a 8, siendo 1 blanquecino, 2 verde, 3 verde amarillento, 4 amarillo, 5 naranja, 6 rojo, 7 rojo oscuro y 8 violeta / morado.

El color del fruto, tanto piel como pulpa, fue determinado también mediante un colorímetro Minolta Chroma Meter, calibrado sobre una placa de referencia de porcelana blanca y tomando tres lecturas en diferentes partes de la región ecuatorial de cada fruto.

El sistema utilizado fue el Espacio de Color C.I.E.  $L^*a^*b^*$ , también referido como CIELab, el cual es ampliamente usado ya que correlaciona los valores numéricos de color consistentemente con la percepción visual humana (Fig. 14).



**Figura 14.** Color según los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del sistema CIE Lab.

El colorímetro tiene incorporada una lámpara de xenón, que se coloca sobre el fruto y determina mediante reflexión el color de la región donde se enfoca. Este colorímetro utiliza la escala de medida CIELAB con el sistema de coordenadas de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  (Brown y Walker, 1990; Minolta, 1994).

La coordenada  $L^*$  indica la luminosidad, desde negro ( $L=0$ ) a blanco ( $L=100$ ). Los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  indican la cromaticidad,  $a^*$  va desde valores de  $-100$  a  $+100$  siendo los valores negativos para el color verde y positivos para el rojo. El parámetro  $b^*$  evoluciona desde el color azul (valores negativos) hasta el color amarillo (valores positivos).

A partir de estas coordenadas se calcula el ángulo de color ( $h^\circ$ ) y de intensidad ( $C^*$ ) (Hunter, 1942; Little, 1975), los cuales son más comprensibles desde un punto de vista objetivo (McGuirre, 1992; Minolta, 1994). El ángulo de color ( $h^\circ$ ) es el parámetro que mejor refleja en el sistema espacial de coordenadas el color resultante de los valores de los ejes  $a^*$  y  $b^*$ , calculándose como  $h^\circ = \arctangent(b^*/a^*)$ .

### 3.3.5. Firmeza del fruto

La firmeza del fruto es un indicador del estado de madurez y del momento óptimo para su recogida. Además, la firmeza del fruto tiene una gran importancia en los procesos de manipulación postcosecha y la aceptación por parte del consumidor.

La evaluación de la firmeza se llevó a cabo mediante un sistema de compresión no destructivo. Para ello se empleó un Texturómetro modelo TA.TXPlus (Texture Analyzer, Stable Microsystems, Godalming, UK), conectado a un ordenador personal para el procesado de datos (Fig. 15). Con este sistema se consigue medir la máxima fuerza requerida para deformar la fruta en una extensión de 5 mm a una velocidad de 25 mm/min, obteniendo los valores medio de cada fruto en Newton (N).



**Figura 15.** Texturómetro TA.TXPlus, con los accesorios empleados en el ensayo de compresión.

### 3.3.6. Contenido en sólidos solubles

El contenido en sólidos solubles fue determinado a través del índice de refracción. El índice de refracción representa la velocidad con la que un rayo de luz es capaz de atravesar una sustancia. Este parámetro se encuentra vinculado

al contenido de azúcar del fruto, ya que el 80% de las sustancias que provocan la refracción están constituidas por azúcares. Así pues, el contenido de azúcares se mide en grados °Brix, calibrado como porcentaje de sacarosa a 20°C, ya que es el principal componente de los sólidos solubles y el más abundante de los azúcares.

Para la obtención de los sólidos solubles se trituraron 12 frutos divididos en 3 réplicas de 4 frutos cada una. La medición se llevó a cabo mediante un refractómetro digital específico para ciruela modelo ATAGO Hybrid PAL-BXIACID11 (Fig. 16). Para ello, con ayuda de una pipeta Pasteur de plástico se depositaban unas gotas del triturado sobre la lente del refractómetro, el cual nos proporcionaba de manera automática el valor de la medición en °Brix, obteniendo así tres valores por cada genotipo, uno por réplica.

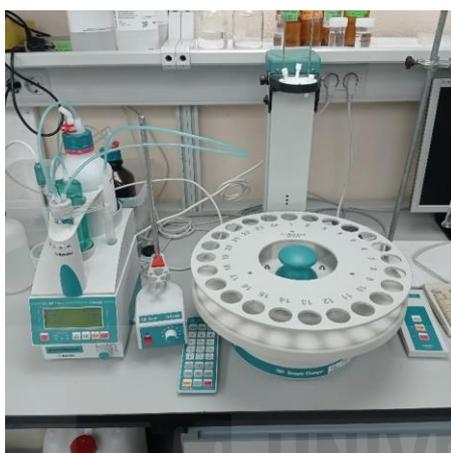


**Figura 16.** Detalle del refractómetro empleado para la medición de sólidos solubles.

### 3.3.7. Acidez y pH del fruto

La acidez valorable y el pH fueron obtenidos mediante un valorador automático (modelo 785 DMP Tinitro Metrohm Ltd CH-9101, Suiza) (Fig. 17), siendo la acidez obtenida por valoración ácido base. Para ello se utilizaron 2 g del triturado de las muestras diluidos en 30 ml de agua destilada. La rueda realiza

automáticamente la valoración neutralizando la acidez con NaOH 0,1N hasta alcanzar un pH de 8,1 y dando una medida de pH y acidez en gramos de ácido málico por cada 100 ml de zumo. Se obtuvieron de esta manera tres medidas correspondientes a cada réplica (3 réplicas de 4 frutos), calculándose posteriormente el valor medio.



**Figura 17.** Detalle del valorador automático ácido-base empleado para la medición de pH y acidez.

Para la medición de la acidez también se realizó otra lectura de manera directa con el refractómetro manual ATAGO modelo Hybrid PAL-BXIACID11, el cual fue utilizado en la medición de los sólidos solubles, con el fin de validar los valores de acidez obtenida con los del valorador automático. Para estas mediciones, se realizó una dilución 1:50 (p/v), utilizando 0,8 g de la muestra triturada en 40 ml de agua destilada. Previamente a la medición, las muestras eran homogeneizadas mediante agitador aplicando unas gotas sobre la lente del refractómetro y obteniendo el resultado en % de ácido málico.

### 3.3.8. Análisis estadístico

Para el tratamiento de los datos derivados de la caracterización fenotípica se ha utilizado el programa estadístico INFOSTAT v2018. En primer lugar, se obtuvieron mediante la estadística descriptiva los valores promedio, máximo, mínimo, desviación estándar y error estándar de las poblaciones. Los caracteres que cumplían el criterio de normalidad según Shapiro-Wilks eran analizados

mediante ANOVA, mientras que aquellos que no lo cumplían fueron analizados mediante el test de Kruskal-Wallis. En todos los análisis aplicados, las diferencias fueron determinadas a partir de un p valor de 0,05. Finalmente, para el estudio de la distribución de los caracteres evaluados en cada población, se generaron diferentes histogramas, reflejando en cada uno de ellos los valores de los parentales correspondientes a cada población.



#### 4. RESULTADOS

La Tabla 1 recoge la evaluación de los parentales de las poblaciones evaluadas.

**Tabla 1.** Estadística descriptiva de los parentales que conforman las familias del presente trabajo.

Carácter	Genotipo	N	Media	D.E.	E.E.	Mín	Máx
Floración (DJ)	'Black Splendor'	1*	50	0	0	50	50
	'Pioneer'	1*	51	0	0	51	51
	'Red Beauty'	1*	53	0	0	53	53
	'Santa Rosa Precoz'	1*	48	0	0	48	48
Fecha de cosecha (DJ)	'Black Splendor'	1*	167	0	0	167	167
	'Pioneer'	1*	156	0	0	156	156
	'Red Beauty'	1*	146	0	0	146	146
	'Santa Rosa Precoz'	1*	167	0	0	167	167
Desarrollo del fruto (días)	'Black Splendor'	1*	117	0	0	117	117
	'Pioneer'	1*	105	0	0	105	105
	'Red Beauty'	1*	93	0	0	93	93
	'Santa Rosa Precoz'	1*	119	0	0	119	119
Peso del fruto (g)	'Black Splendor'	24	79,77	16,31	3,33	52,45	113,24
	'Pioneer'	12	77,67	8,13	2,35	65,69	90,49
	'Red Beauty'	12	61,83	7,04	2,03	52,47	75,83
	'Santa Rosa Precoz'	12	81,32	8,56	2,47	69,33	95,74
Color de piel visual	'Black Splendor'	24	5	0	0	5	5
	'Pioneer'	12	3	0	0	3	3
	'Red Beauty'	12	3	0	0	3	3
	'Santa Rosa Precoz'	12	3	0	0	3	3
Color de pulpa visual	'Black Splendor'	24	7	0	0	7	7
	'Pioneer'	12	4	0	0	4	4
	'Red Beauty'	12	4	0	0	4	4
	'Santa Rosa Precoz'	12	3	0	0	3	3
Firmeza (N)	'Black Splendor'	24	46,23	7,33	1,5	32,05	60,75
	'Pioneer'	12	26,22	3,44	0,99	18,84	30,41
	'Red Beauty'	12	30,11	8,25	2,38	15,94	40,11
	'Santa Rosa Precoz'	12	38,44	14,7	4,24	20,49	63,25
Color de piel (h°)	'Black Splendor'	24	7,94	8,49	1,73	0,09	29,95
	'Pioneer'	12	33,87	6,16	1,78	24,44	46,61
	'Red Beauty'	12	20,25	3,17	0,92	16,66	27,99
	'Santa Rosa Precoz'	12	15,35	4,21	1,22	9,48	23,40

N: número de réplicas. \*Para floración y fecha de cosecha se consideró el estado general del árbol. Media: media aritmética. D.E: desviación estándar. E.E: error estándar. Mín: valor mínimo. Max: valor máximo.

RESULTADOS

**Tabla 2 (continuación).** Estadística descriptiva de los parentales que conforman las familias del presente trabajo.

Carácter	Genotipo	N	Media	D.E.	E.E.	Mín	Máx
Color de pulpa (h°)	'Black Splendor'	24	22,75	1,83	0,37	20,19	27,62
	'Pioneer'	12	90,52	1,65	0,48	86,89	93,09
	'Red Beauty'	12	90,71	2,03	0,59	88,02	93,98
	'Santa Rosa Precoz'	12	62,31	13,88	4,01	36,26	83,34
Sólidos solubles (°Brix)	'Black Splendor'	6	11,47	1,35	0,55	10,00	13,30
	'Pioneer'	3	12,90	0,70	0,40	12,20	13,60
	'Red Beauty'	3	12,13	0,32	0,19	11,90	12,50
	'Santa Rosa Precoz'	3	12,83	0,72	0,42	12,00	13,30
pH	'Black Splendor'	6	3,18	0,01	0,00	3,17	3,20
	'Pioneer'	3	3,23	0,02	0,01	3,21	3,25
	'Red Beauty'	3	3,33	0,03	0,01	3,31	3,36
	'Santa Rosa Precoz'	3	3,16	0,03	0,01	3,14	3,19
Acidez valorador (g/100ml)	'Black Splendor'	6	1,94	0,18	0,07	1,68	2,12
	'Pioneer'	3	1,90	0,02	0,01	1,88	1,92
	'Red Beauty'	3	1,54	0,06	0,03	1,48	1,59
	'Santa Rosa Precoz'	3	2,00	0,12	0,07	1,87	2,11
Acidez refractómetro (g/100ml)	'Black Splendor'	6	1,72	0,21	0,08	1,41	2,00
	'Pioneer'	3	1,61	0,14	0,08	1,45	1,71
	'Red Beauty'	3	1,35	0,06	0,03	1,31	1,42
	'Santa Rosa Precoz'	3	1,74	0,02	0,01	1,73	1,76

N: número de réplicas. \*Para floración y fecha de cosecha se consideró el estado general del árbol. Media: media aritmética. D.E: desviación estándar. E.E: error estándar. Mín: valor mínimo. Max: valor máximo.

La evaluación fenotípica de caracteres relacionados con la fenología como son fecha de floración, fecha de cosecha y ciclo de desarrollo del fruto (periodo comprendido entre la floración y la recolección), así como los principales caracteres de calidad del fruto como peso del fruto, color de piel y pulpa, sólidos solubles y acidez, nos han permitido caracterizar un total de 120, 102 y 103 genotipos en las poblaciones de ciruelo japonés 'Black Splendor' × 'Pioneer', 'Red Beauty' × 'Black Splendor' y 'Red Beauty' × 'Santa Rosa Precoz') respectivamente (Tablas 2, 3 y 4).

RESULTADOS

**Tabla 3.** Estadística descriptiva de la familia 'Black Splendor' × 'Pioneer'.

Carácter	N	Media	D.E.	E.E.	Mín	Máx
Floración (DJ)	120	47,11	6,97	0,19	20	58
Fecha de cosecha (DJ)	120	161,62	14,47	0,4	135	207
Desarrollo del fruto (días)	120	114,07	14,59	0,4	90	153
Peso del fruto (g)	1226	71,26	23,08	0,66	17,64	143,88
Color de piel visual	1267	3,84	0,89	0,02	2	6
Color de pulpa visual	1255	5,05	1,14	0,03	3	7
Firmeza (N)	1239	42,62	15,22	0,43	10,69	127,68
Color de piel (°h)	1241	22,46	13,5	0,38	0,01	103,35
Color de pulpa (°h)	1240	60,99	32,21	0,91	14,19	108,31
Sólidos solubles (°Brix)	322	12,23	2,03	0,11	7,3	19,2
pH	316	3,26	0,11	0,01	3,06	3,76
Acidez valorador (g/100ml)	322	1,86	0,36	0,02	1,01	2,91
Acidez refractómetro (g/100ml)	316	1,63	0,37	0,02	0,73	3,19

N: número de réplicas. \*Para floración y fecha de cosecha se consideró el estado general del árbol. Media: media aritmética. D.E: desviación estándar. E.E: error estándar. Mín: valor mínimo. Max: valor máximo.

**Tabla 4.** Estadística descriptiva de la familia 'Red Beauty' × 'Black Splendor'.

Carácter	N	Media	D.E.	E.E.	Mín	Máx
Floración (DJ)	102	52,02	2,87	0,09	46	60
Fecha de cosecha (DJ)	102	154,79	11,78	0,39	139	183
Desarrollo del fruto (días)	102	102,68	11,38	0,37	85	129
Peso del fruto (g)	793	58,39	18,87	0,67	17,4	130,5
Color de piel visual	891	4,07	0,96	0,03	1	6
Color de pulpa visual	879	4,83	0,99	0,03	3	7
Firmeza (N)	794	38,74	16	0,57	9,22	89,81
Color de piel (°h)	793	21,08	17,56	0,62	0	110,30
Color de pulpa (°h)	764	70,78	29,96	1,08	17,48	106,13
Sólidos solubles (°Brix)	216	11,13	1,67	0,11	5,20	15,50
pH	216	3,28	0,09	0,01	3,10	3,53
Acidez valorador (g/100ml)	216	1,66	0,32	0,02	1,01	2,64
Acidez refractómetro (g/100ml)	216	1,44	0,37	0,03	0,61	3,45

N: número de réplicas. \*Para floración y fecha de cosecha se consideró el estado general del árbol. Media: media aritmética. D.E: desviación estándar. E.E: error estándar. Mín: valor mínimo. Max: valor máximo.

RESULTADOS

**Tabla 5.** Estadística descriptiva de la familia 'Red Beauty' × 'Santa Rosa Precoz'.

Carácter	N	Media	D.E.	E.E.	Mín	Máx
Floración (DJ)	103	56,61	4,93	0,16	33	67
Fecha de cosecha (DJ)	103	160,03	13,34	0,50	139	195
Desarrollo del fruto (días)	103	103,48	12,72	0,48	80	137
Peso del fruto (g)	641	49,31	18,16	0,72	21,10	127,41
Color de piel visual	719	3,30	1,19	0,04	1	6
Color de pulpa visual	719	4,83	1,79	0,07	4	9
Firmeza (N)	637	36,98	17,68	0,70	4,82	117,09
Color de piel (°h)	636	38,95	33,64	1,33	0,67	112,54
Color de pulpa (°h)	636	90,07	13,14	0,52	29,23	106,36
Sólidos solubles (°Brix)	180	11,55	2,17	0,16	6,90	17,10
pH	180	3,30	0,11	0,01	3,10	3,63
Acidez valorador (g/100ml)	180	1,61	0,36	0,03	1,01	2,64
Acidez refractómetro (g/100ml)	180	1,52	0,55	0,04	0,65	3,38

N: número de réplicas. \*Para floración y fecha de cosecha se consideró el estado general del árbol. Media: media aritmética. D.E: desviación estándar. E.E: error estándar. Mín: valor mínimo. Max: valor máximo.

Los resultados obtenidos, muestran una gran variabilidad de los híbridos evaluados en cada población.

A continuación, se muestra el análisis estadístico de las tres poblaciones, primero los paramétricos (ANOVA) y después los no paramétricos (Kruskal-Wallis) (Tablas 5-10).

**Tabla 6.** ANOVA de factor genotipo para los caracteres con distribución normal de la familia 'Black Splendor' × 'Pioneer'.

Variable	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Peso del fruto	Genotipo	491497,4	108	4550,9	31,57	<0,0001
	Error	161003,25	1117	144,14		
	Total	652500,65	1225			
Firmeza	Genotipo	149949,78	109	1375,69	11,34	<0,0001
	Error	137010,72	1129	121,36		
	Total	286960,5	1238			
Sólidos solubles	Genotipo	1152,67	108	10,67	12,88	<0,0001
	Error	176,57	213	0,83		
	Total	1329,24	321			
Acidez valorador	Genotipo	35,95	108	0,33	14,53	<0,0001
	Error	4,88	213	0,02		
	Total	40,82	321			

F.V: Fuente de Variación. SC: Cuadrados medios. gl: grados de libertad. CM: media cuadrática. F: estadístico.

RESULTADOS

**Tabla 7.** Análisis Kruskal-Wallis de muestras independientes para los caracteres con distribución no paramétrica de la familia 'Black Splendor' × 'Pioneer'.

Variable	N	Medianas	H	p-valor
Floración (DJ)	3	48	337,55	<0,0001
Fecha de cosecha (DJ)	3	162	328,56	<0,0001
Desarrollo del fruto (días)	3	112	326,95	<0,0001
Color de piel visual	12	4	1107,66	<0,0001
Color de pulpa visual	12	4,5	1059,44	<0,0001
Color de piel (h°)	12	20,86	935,53	<0,0001
Color de pulpa (h°)	12	82,27	1164,02	<0,0001
pH	3	3,25	294,44	<0,0001
Acidez refractómetro (g/100ml)	3	1,59	269,36	<0,0001

N: número de réplicas. H: estadístico de la prueba de Kruskal-Wallis

**Tabla 8.** ANOVA de factor genotipo para los caracteres con distribución normal de la familia 'Red Beauty' × 'Black Splendor'.

Variable	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Peso del fruto	Genotipo	212503,09	75	2833,37	29,29	<0,0001
	Error	69362,45	717	96,74		
	Total	281865,54	792			
Sólidos solubles	Genotipo	505,67	73	6,93	10,16	<0,0001
	Error	96,84	142	0,68		
	Total	602,51	215			
Acidez valorador (g/100ml)	Genotipo	19,42	73	0,27	16,67	<0,0001
	Error	2,27	142	0,02		
	Total	21,68	215			

F.V: Fuente de Variación, SC: Cuadrados medios, gl: grados de libertad, CM: media cuadrática, F: estadístico.

**Tabla 9.** Análisis Kruskal-Wallis de muestras independientes para los caracteres con distribución no paramétrica de la familia 'Red Beauty' × 'Black Splendor'.

Variable	N	Medianas	H	p-valor
Floración (DJ)	3	52	217,34	<0,0001
Fecha de cosecha (DJ)	3	153,5	229,9	<0,0001
Desarrollo del fruto (días)	3	100,5	230,87	<0,0001
Color de piel visual	12	4	808,56	<0,0001
Color de pulpa visual	12	4	705,05	<0,0001
Firmeza (N)	12	39,34	582,44	<0,0001
Color de piel (h°)	12	16,52	636,08	<0,0001
Color de pulpa (h°)	12	88,88	723,66	<0,0001
pH	3	3,26	201,63	<0,0001
Acidez refractómetro (g/100ml)	3	1,42	168,5	<0,0001

N: número de réplicas. H: estadístico de la prueba de Kruskal-Wallis

RESULTADOS

**Tabla 10.** ANOVA de factor genotipo para los caracteres con distribución normal de la familia 'Red Beauty' × 'Santa Rosa Precoz'.

Variable	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Fecha de cosecha	Genotipo	31463,8	58	542,48	542,48	<0,0001
	Error	118	118	1		
	Total	31581,8	176			
Desarrollo del fruto	Genotipo	28111,45	57	493,18	493,18	<0,0001
	Error	116	116	1		
	Total	28227,45	173			
Firmeza	Genotipo	119632,06	59	2027,66	14,8	<0,0001
	Error	79059,5	577	137,02		
	Total	198691,56	636			
Sólidos solubles	Genotipo	728,08	56	13	13,48	<0,0001
	Error	118,66	123	0,96		
	Total	846,75	179			

F.V: Fuente de Variación, SC: Cuadrados medios, gl: grados de libertad, CM: media cuadrática, F: estadístico.

**Tabla 11.** Análisis Kruskal-Wallis de muestras independientes para los caracteres con distribución no paramétrica de la familia 'Red Beauty' × 'Santa Rosa Precoz'.

Variable	N	Medianas	H	p-valor
Floración (DJ)	3	57	231,81	<0,0001
Peso del fruto (g)	12	44,225	489,85	<0,0001
Color de piel visual	12	3,5	658,84	<0,0001
Color de pulpa visual	12	4	348,3	<0,0001
Color de piel (h°)	12	21,33	497,11	<0,0001
Color de pulpa (h°)	12	93,735	486,64	<0,0001
pH	3	3,29	166,25	<0,0001
Acidez valorador (g/100ml)	3	1,62	153,38	<0,0001
Acidez refractómetro (g/100ml)	3	1,41	131,99	<0,0001

N: número de réplicas. H: estadístico de la prueba de Kruskal-Wallis

En cuanto a las correlaciones entre caracteres, destacaron las altas correlaciones entre fecha de cosecha y desarrollo del fruto (0,89\*\*\*, 0,97\*\*\* y 0,91\*\*\*) todas ellas significativas para un p-valor<0,001, en las tres poblaciones (Tablas 11, 12 y 13). Además, también se dieron correlaciones en sentido positivo entre fecha de cosecha y firmeza o entre desarrollo del fruto y firmeza en las 3 poblaciones (0,5-0,7\*\*\*), lo que indica que los genotipos de fechas de cosecha más tardía y de ciclo de desarrollo del fruto más largo se relacionaron con mayores valores de firmeza del fruto. En cuanto al color del fruto, el color de piel visual y el determinado mediante ángulo °h mostraron en todas las poblaciones correlaciones por encima de 0,6, obteniendo 'Red Beauty' × 'Santa

Rosa Precoz' la mayor correlación (0,9\*\*\*). Por otro lado, las correlaciones de color de pulpa determinadas de forma analítica y visual fueron muy altas, como era de esperar, obteniendo correlaciones en torno a -0,9\*\* (Tablas 11 y 12) en las poblaciones 'Black Splendor' × 'Pioneer' y 'Red Beauty' × 'Black Splendor', sin embargo, la población 'Red Beauty' × 'Santa Rosa Precoz' mostró una correlación de -0,51\*\*\* (Tabla 6), lo que puede deberse al carácter bicolor de algunos de los genotipos de esta población. Otra correlación interesante, sería la obtenida entre la acidez medida mediante refractómetro manual (% ácido málico) y la del valorador (g ácido málico/100 ml), la cual alcanzó valores cercanos a 0,6\*\*\* para las poblaciones 'Red Beauty' × 'Black Splendor' y 'Red Beauty' × 'Santa Rosa Precoz' (Tablas 12 y 13), mientras que en la población 'Black Splendor' × 'Pioneer' alcanzó una correlación cercana a 0,9\*\*\* (Tabla 11). Esta última correlación, confirma una alta relación entre ambos métodos de medición de acidez, lo que facilitaría la obtención de una medición de acidez más rápida sin la necesidad de realizar una valoración ácido base. Sin embargo, aunque las correlaciones son significativas, en las 2 primeras poblaciones mencionadas, estas correlaciones son un poco bajas (0,55-0,60\*\*\*), lo que podría deberse al menor número de individuos fenotipados en las mismas.

**Tabla 12.** Coeficiente de correlación de Pearson entre los diferentes caracteres evaluados en la población 'Black Splendor' x 'Pioneer'. La correlación es significativa al nivel p-valor <0,05\*, <0,01\*\*, <0,001\*\*\*.

Caracteres	F50	FC	DF	PF	CPV	CPLV	FIRM	CP_h	CPL_h	CSS	pH	AV	AR
Floración (F50)	1												
Fecha de cosecha (FC)	0,18	1											
Desarrollo del fruto (DF)	-0,28**	0,89***	1										
Peso del fruto (PF)	-0,13	0,24*	0,29**	1									
Color de piel visual (CPV)	0,09	0,38***	0,33***	0,33***	1								
Color de pulpa visual (CPLV)	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02	-0,41***	1							
Firmeza (FIRM)	0,18	0,63***	0,53***	0,27*	0,36***	-0,28**	1						
Color de piel (°h) (CP_h)	-0,11	-0,29**	-0,23*	-0,28**	-0,67***	0,16	-0,22*	1					
Color de pulpa (°h) (CPL_h)	0,03	0,09	0,08	0,06	0,52***	-0,88***	0,30**	-0,21*	1				
Sólidos solubles (CSS)	-0,29**	0,38***	0,50***	0,02	0,24*	-0,03	0,09	-0,12	0,03	1			
pH	-0,07	0,42***	0,45***	-0,01	0,02	-0,19*	0,11	0,03	0,15	0,27**	1		
Acidez valorador (AV)	-0,05	-0,34***	-0,31**	-0,18	-0,02	0,19*	-0,11	-0,06	-0,16	0,12	-0,73***	1	
Acidez refractómetro (AR)	-0,06	-0,37***	-0,33***	-0,23*	-0,07	0,18	-0,15	0,03	-0,17	0,15	-0,60***	0,87***	1

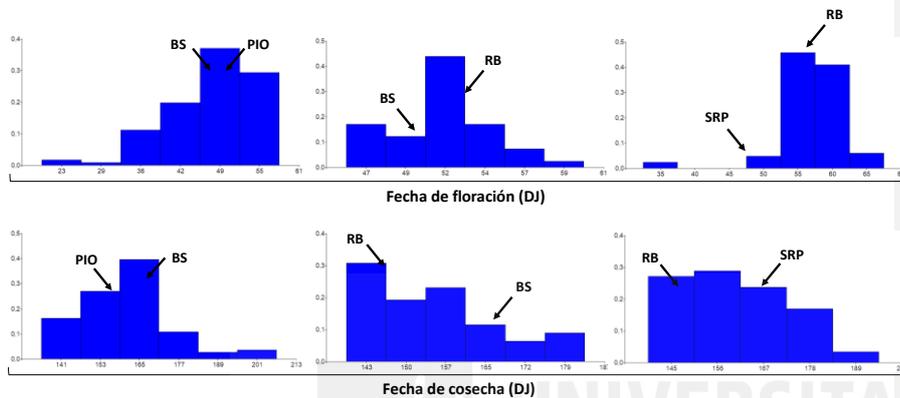
**Tabla 13.** Coeficiente de correlación de Pearson entre los diferentes caracteres evaluados en la población 'Red Beauty' x 'Black Splendor'. La correlación es significativa al nivel p-valor <0,05\*, <0,01\*\*, <0,001\*\*\*.

Caracteres	F50	FC	DF	PF	CPV	CPLV	FIRM	CP_h	CPL_h	CSS	pH	AV	AR
Floración (F50)	1												
Fecha de cosecha (FC)	0,32**	1											
Desarrollo del fruto (DF)	0,10	0,97***	1										
Peso del fruto (PF)	-0,04	0,04	0,05	1									
Color de piel visual (CPV)	-0,10	0,39***	0,44***	0,19	1								
Color de pulpa visual (CPLV)	0,02	0,09	0,09	-0,03	-0,01	1							
Firmeza (FIRM)	-0,08	0,56***	0,61***	0,03	0,39***	-0,06	1						
Color de piel (°h) (CP_h)	0,07	-0,28*	-0,31**	-0,18	-0,67***	0,12	-0,29	1					
Color de pulpa (°h) (CPL_h)	-0,04	-0,05	-0,04	0,05	0,08	-0,96***	0,11*	-0,19	1				
Sólidos solubles (CSS)	-0,12	0,09	0,13	0,12	0,06	-0,03	-0,06	-0,11	-0,03	1			
pH	0,14	0,3**	0,28*	-0,09	0,03	-0,16	0,01	0,02	0,16	0,10	1		
Acidez valorador (AV)	-0,22	-0,14*	-0,09	0,02	0,14	0,08	0,14	-0,19	-0,11	0,31	-0,78**	1	
Acidez refractómetro (AR)	-0,12	-0,25*	-0,23	-0,04	0,06	0,005	0,03	-0,14	-0,07	0,29	-0,30**	0,59***	1

**Tabla 14.** Coeficiente de correlación de Pearson entre los diferentes caracteres evaluados en la población 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz'. La correlación es significativa al nivel p-valor <0,05\*, <0,01\*\*, <0,001\*\*\*.

Caracteres	F50	FC	DF	PF	CPV	CPLV	FIRM	CP_h	CPL_h	CSS	pH	AV	AR
Floración (F50)	1												
Fecha de cosecha (FC)	0,33*	1											
Desarrollo del fruto (DF)	-0,09	0,91***	1										
Peso del fruto (PF)	-0,04	0,24	0,27*	1									
Color de piel visual (CPV)	-0,12	-0,27*	-0,23	0,01	1								
Color de pulpa visual (CPLV)	-0,19	0,07	0,15	0,03	0,16	1							
Firmeza (FIRM)	0,07	0,70***	0,70***	0,37**	-0,05	0,08	1						
Color de piel (°h) (CP_h)	0,13	0,32*	0,28*	0,03	-0,90***	-0,25	0,12	1					
Color de pulpa (°h) (CPL_h)	0,03	0,08	0,07	-0,06	-0,22	-0,51***	0,03	0,23	1				
Sólidos solubles (CSS)	0,18	0,34**	0,28*	-0,24	-0,13	0,05	0,06	0,12	0,06	1			
pH	0,30*	0,14	0,02	-0,06	0,13	-0,21	-0,11	-0,02	0,17	0,19	1		
Acidez valorador (AV)	-0,11	-0,01	0,04	-0,06	-0,04	0,25	0,12	-0,04	-0,19	0,26*	-0,82***	1	
Acidez refractómetro (AR)	-0,15	-0,33**	-0,28*	-0,09	0,03	0,10	-0,15	-0,13	-0,15	0,08	-0,47***	0,56***	1

A continuación, describimos la distribución de cada uno de los caracteres evaluados en las tres poblaciones a través de su representación mediante histogramas. En estos histogramas, pretendemos reflejar el comportamiento de los híbridos de cada población frente a los caracteres fecha de floración, fecha de cosecha, desarrollo del fruto, peso del fruto, color de piel, color de pulpa, firmeza, sólidos solubles y acidez (Figs. 18 a 24).



**Figura 18.** Histograma de los caracteres fecha de floración y fecha de cosecha de las tres familias estudiadas. Los parentales están indicados con flechas siendo BS 'Black Splendor', PIO 'Pioneer', RB 'Red Beauty', SRP 'Santa Rosa Precoz.' Los datos están indicados en días julianos.

En cuanto a fecha de floración, podemos observar que los primeros individuos que alcanzaron la plena floración (F50) pertenecen al cruzamiento de 'Black Splendor' x 'Pioneer' (20 al 30 de enero) (Fig. 18). Además, en esta misma población la mayor parte de los individuos entraron en floración entre los días 10 y el 25 de febrero, con un promedio de 47 días julianos, lo que corresponde al día 16 de febrero (Tabla 2). Por otro lado, la familia más tardía en cuanto a fecha de floración fue 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz' entrando en floración la mayoría de los individuos entre el 24 de febrero y el 1 de marzo, siendo el promedio de 56 días julianos (Fig.18, Tabla 4), correspondiente al 25 de febrero. Con respecto a la población 'Red Beauty' x 'Black Splendor', se alcanzó un promedio de 52 días julianos (20 de febrero), situándose más del 40% de individuos en un rango muy cercano (Fig. 18). En general, hay que destacar que en cuanto a fecha de floración todos los parentales obtuvieron valores similares entre 48 ('Santa Rosa Precoz') y 53 ('Red Beauty') (Tabla 1), sin embargo, en

todas ellas se dieron valores transgresivos a los parentales, especialmente en las poblaciones con 'Black Splendor' como parental común.

En los histogramas de fecha de cosecha, en las poblaciones 'RB' x 'BS' y 'RB' x 'SRP' se observan valores que se corresponden a una herencia intermedia con respecto a los parentales, al contrario de lo que sucede en 'BS' x 'PIO', donde aparecen valores transgresivos a los parentales. En este caso, las tres poblaciones obtuvieron un valor promedio de fecha de cosecha muy similar, entre 154 y 160 días julianos (primeros días de junio) (Tablas 2, 3 y 4). Sin embargo, debemos de destacar que la población que mostró mayor número de individuos tempranos correspondió a 'RB' x 'BS', donde más del 50% de los individuos fueron cosechados por debajo o en torno a los 150 días julianos, lo que se corresponde con el mes de mayo (Fig. 18).

En cuanto a los parentales, estos oscilaron entre 146 ('RB') y 167 días julianos ('BS' y 'SRP'), lo que indica que 'RB' a pesar de ser la variedad más tardía en cuanto a floración, fue sin embargo la más temprana en cuanto a fecha de cosecha.

Finalmente, como bien podemos observar en los histogramas (Fig. 18), tanto los histogramas de fecha de floración como los de fecha de cosecha, no muestran una distribución normal, ya que no cumplen el criterio de normalidad de Shapiro-Wilks, con la única excepción de la fecha de cosecha en la población 'RB' x 'SRP' (Tablas 14, 15 y 16)

RESULTADOS

**Tabla 15.** Test de normalidad de Shapiro-Wilks (modificado) de la familia 'Black Splendor' × 'Pioneer'.

Variable	N	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
Floración (DJ)	116	47,11	7,00	0,91	<0,0001
Fecha de cosecha (DJ)	111	161,65	14,47	0,95	0,002
Desarrollo del fruto (días)	110	114,11	14,59	0,94	0,001
Peso del fruto (g)	108	71,21	20,07	0,97	<b>0,109</b>
Color de piel visual	109	3,84	0,90	0,82	<0,0001
Color de pulpa visual	108	5,02	1,14	0,78	<0,0001
Firmeza (N)	109	43,04	11,68	0,97	<b>0,2682</b>
Color de piel (h°)	109	22,98	12,79	0,86	<0,0001
Color de pulpa (h°)	109	62,08	32,2	0,74	<0,0001
Sólidos solubles (°Brix)	109	12,26	1,91	0,97	<b>0,2258</b>
pH	107	3,26	0,11	0,93	<0,0001
Acidez valorador (g/100 ml)	109	1,86	0,33	0,98	<b>0,5973</b>
Acidez refractómetro (g/100 ml)	107	1,63	0,34	0,95	0,0046

N: número de réplicas. Media: media aritmética. D.E.: desviación estándar. W\*: estadístico de la prueba de Shapiro-Wilks.

**Tabla 16.** Test de normalidad de Shapiro-Wilks (modificado) de la familia 'Red Beauty' × 'Black Splendor'.

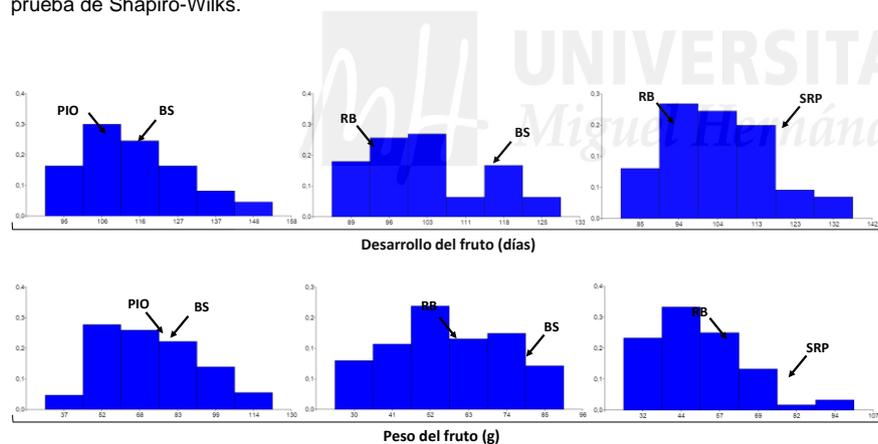
Variable	N	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Floración (DJ)	82	52,02	2,88	0,95	0,0311
Fecha de cosecha (DJ)	78	154,79	11,85	0,91	<0,0001
Desarrollo del fruto (días)	78	102,68	11,45	0,92	0,0008
Peso del fruto (g)	75	57,73	16,27	0,96	<b>0,0757</b>
Color de piel visual	75	4,07	0,96	0,88	<0,0001
Color de pulpa visual	74	4,84	0,99	0,73	<0,0001
Firmeza (N)	75	39,13	13,64	0,94	0,009
Color de piel (h°)	75	21,31	16,77	0,73	<0,0001
Color de pulpa (h°)	72	70,56	29,91	0,75	<0,0001
Sólidos solubles (°Brix)	74	11,16	1,59	0,96	<b>0,1207</b>
pH	74	3,28	0,09	0,95	0,0258
Acidez valorador (g/100 ml)	74	1,66	0,31	0,97	<b>0,522</b>
Acidez refractómetro (g/100 ml)	74	1,45	0,32	0,9	<0,0001

N: número de réplicas. Media: media aritmética. D.E.: desviación estándar. W\*: estadístico de la prueba de Shapiro-Wilks.

**Tabla 17.** Test de normalidad de Shapiro-Wilks (modificado) de la familia ‘Red Beauty’ × ‘Santa Rosa Precoz’.

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Floración (DJ)	83	56,61	4,96	0,84	<0,0001
Fecha de cosecha (DJ)	59	160,03	13,45	0,95	<b>0,0711</b>
Desarrollo del fruto (días)	58	103,48	12,82	0,97	<b>0,473</b>
Peso del fruto (g)	60	49,62	16,00	0,90	<0,0001
Color de piel visual	60	3,30	1,20	0,89	<0,0001
Color de pulpa visual	60	4,83	1,81	0,47	<0,0001
Firmeza (N)	60	35,92	14,19	0,95	<b>0,1268</b>
Color de piel (h°)	59	38,84	32,18	0,71	<0,0001
Color de pulpa (h°)	60	90,18	11,61	0,71	<0,0001
Sólidos solubles (°Brix)	57	11,57	2,05	0,96	<b>0,2975</b>
pH	57	3,30	0,10	0,93	0,015
Acidez valorador (g/100 ml)	57	1,63	0,35	0,93	0,015
Acidez refractómetro (g/100 ml)	57	1,55	0,5	0,81	<0,0001

N: número de réplicas. Media: media aritmética. D.E.: desviación estándar. W\*: estadístico de la prueba de Shapiro-Wilks.



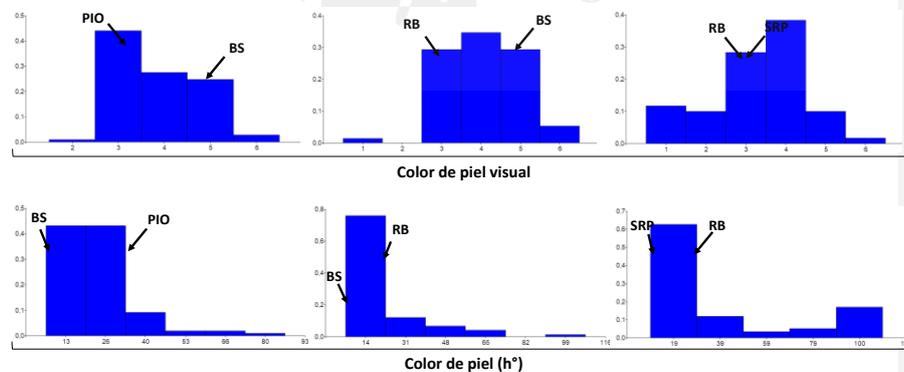
**Figura 19.** Histograma de los caracteres desarrollo del fruto (días) y peso de fruto (g) de las tres familias estudiadas. Los parentales están indicados con flechas siendo BS ‘Black Splendor’, PIO ‘Pioneer’, RB ‘Red Beauty’, SRP ‘Santa Rosa Precoz’

Con respecto a el ciclo de desarrollo del fruto, éste estuvo comprendido entre 80 y 153 días en las tres poblaciones, siendo la población ‘Red Beauty’ × ‘Santa Rosa Precoz’ la más temprana en completar su ciclo con un promedio de 102,68 días (Tabla 4), mientras que la población que más tiempo necesitó para completar su desarrollo fue ‘Black Splendor’ × ‘Pioneer’ con 114,07 días de

media. En los histogramas podemos observar como las descendencias muestran una herencia intermedia, localizando la mayoría de los individuos entre los dos parentales, con la excepción del cruzamiento de 'Black Splendor' x 'Pioneer', el cual muestra valores transgresivos a los parentales.

En cuanto al peso del fruto, la familia 'Black Splendor' x 'Pioneer' obtuvo el mayor peso promedio con 71,26 g a la vez que tuvo un ciclo de desarrollo del fruto más amplio (Tabla 2). Sin embargo, la familia 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz' obtuvo los frutos de menor peso con una media de 49,31 g (Tabla 4), siendo esta familia también la de menor tiempo de desarrollo del fruto. En cuanto al cruzamiento de 'Red Beauty' x 'Black Splendor', sus individuos obtuvieron valores intermedios a las otras poblaciones (58,39 g).

Las poblaciones de 'RB' x 'BS' y 'BS' x 'PIO' mostraron distribuciones más asimétricas en cuanto a ciclo de desarrollo del fruto, mientras que la población 'RB' x 'SRP' cumple con el criterio de normalidad de Shapiro-Wilks (Tablas 14, 15 y 16). Sin embargo, en cuanto al peso del fruto, a excepción de RB x 'SRP', las poblaciones 'RB' x 'BS' y 'BS' x 'PIO' mostraron distribuciones normales, lo que indica su carácter poligénico.



**Figura 20.** Histograma de los caracteres color de piel visual y color de piel (h°) de las tres familias estudiadas. Los parentales están indicados con flechas siendo BS 'Black Splendor', PIO 'Pioneer', RB 'Red Beauty', SPR 'Santa Rosa Precoz'

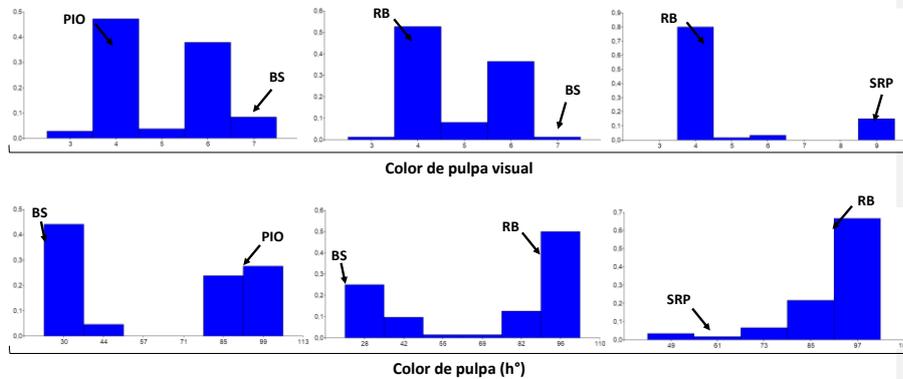
En el histograma de color de piel visual (Fig. 20) se aprecia como las poblaciones 'Black Splendor' x 'Pioneer' y 'Red Beauty' x 'Black Splendor' muestran una herencia intermedia con tonalidades de color rojo oscuro (valores de 4), mientras que sus parentales muestran un color rojo de la piel, como es el caso de 'Pioneer' o 'Red Beauty' (valor de 3) y 'Black Splendor' que posee un color violáceo casi negro muy intenso (valor de 5).

En el caso de la familia de 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz' (valor de 3), se dan valores transgresivos a sus parentales que oscilan entre el amarillo anaranjado (valores de 1 y 2) hasta el rojo intenso (valores de 4-5).

En el histograma de color de piel representado por el ángulo  $h^{\circ}$  (Figura 3) vemos como las tres poblaciones muestran valores en concordancia al color visual, es decir, las poblaciones 'Black Splendor' x 'Pioneer' y 'Red Beauty' x 'Black Splendor' se caracterizaron por valores de  $h^{\circ}$  inferiores a 30, lo que se corresponde con tonalidades rojizas, mientras que la población 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz', a pesar de mostrar mayoritariamente tonalidades de color rojo de piel, mostró una mayor dispersión hacia tonalidades de color amarillo de piel con valores de  $h^{\circ}$  por encima de 50.

En el caso de los histogramas de color de piel visual y color de piel representado por el ángulo  $h^{\circ}$ , como se puede observar en la Figura 21 la segregación es asimétrica y la distribución no cumple el criterio de normalidad de Shapiro-Wilks (Tablas 14, 15 y 16).

## RESULTADOS



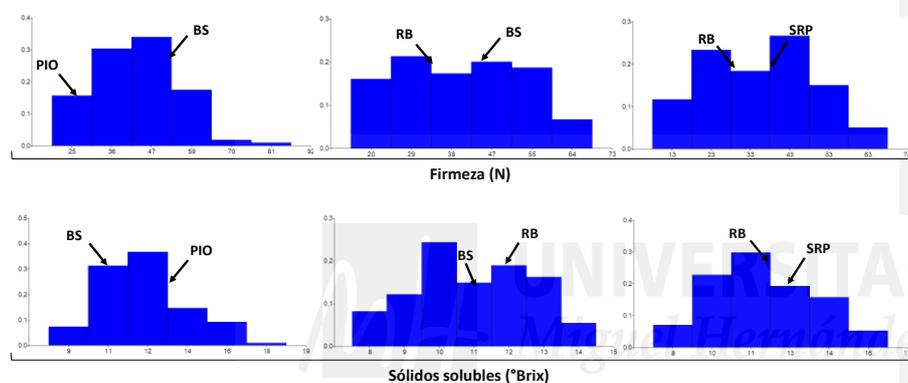
**Figura 21.** Histograma de los caracteres color de pulpa visual y color de pulpa ( $h^{\circ}$ ) de las tres familias estudiadas. Los parentales están indicados con flechas siendo BS 'Black Splendor', PIO 'Pioneer', RB 'Red Beauty', SRP 'Santa Rosa Precoz'

El color de pulpa es uno de los parámetros más importantes en relación con la percepción de la calidad de fruto, ya que colores rojizos se corresponden a altos niveles de antocianinas y por tanto de antioxidantes. En los histogramas de color de pulpa visual se aprecia como la mayor parte de los individuos de la familia 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz' se localizan con valores de 4, lo que se corresponde con un color de pulpa amarillento-anaranjado mientras que un número reducido de individuos mostraron tonalidades de pulpa bicolor (amarillo-rojo) al igual que el parental 'Santa Rosa Precoz' (valor de 9). En la familia 'Red Beauty' x 'Black Splendor' de igual manera se aprecian dos grupos claramente diferenciados, uno con valores de 4 con tonalidades amarillentas de color de pulpa al igual que el parental 'Red Beauty', y otro grupo de individuos con valores de 6, lo que se corresponde con colores de pulpa rojizos más parecidos al parental 'Black Splendor' con un color de pulpa rojo intenso (valor de 7). En el caso de la familia 'Black Splendor' x 'Pioneer' igualmente se aprecian dos importantes grupos diferenciados, ésta se distribuye de forma similar a 'Red Beauty' x 'Black Splendor', siendo en este caso el color de pulpa amarillo aportado por 'Pioneer'.

Así pues, con respecto a los histogramas de color de pulpa según el ángulo  $h^{\circ}$ , se corrobora la concordancia con el color de pulpa visual, ya que las

poblaciones 'Black Splendor' x 'Pioneer' y 'Red Beauty' x 'Black Splendor' mostraron una segregación clara en cuanto al color amarillo ( $h^{\circ} \approx 80-100$ ) y el color rojo ( $h^{\circ} \approx 30-50$ ), mientras que en 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz' predominaron tonalidades de pulpa amarillentas ( $h^{\circ} \approx 80-100$ ).

Finalmente, como se puede apreciar en los histogramas (Fig. 21) y en los test de normalidad de Shapiro-Wilks (Tablas 14, 15 y 16), ninguna de las poblaciones sigue una distribución normal, debido al carácter oligogénico del color del fruto, donde todo parece indicar que unos pocos genes dominan este carácter.



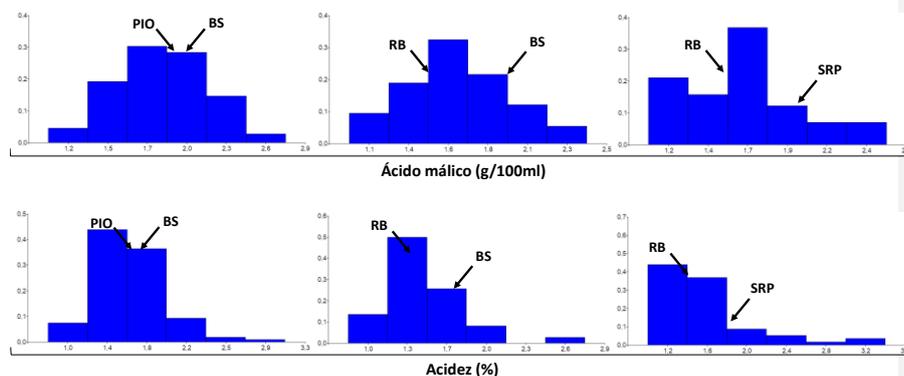
**Figura 22.** Histograma de los caracteres firmeza (N) y contenido en sólidos solubles (°Brix) de las tres familias estudiadas. Los parentales están indicados con flechas siendo BS 'Black Splendor', PIO 'Pioneer', RB 'Red Beauty', SRP 'Santa Rosa Precoz'

La firmeza, junto con el viraje de color del fruto, definen el estado de madurez y por tanto el momento óptimo de recolección de una variedad. Además, la firmeza del fruto determina en gran medida la aptitud postcosecha relacionada con una mayor o menor vida útil del fruto. En los histogramas de firmeza del fruto, se observa como la mayor parte de los individuos de las tres familias se situaron en torno a valores de 25 y 50 N (Fig. 22). En la familia 'Black Splendor' x 'Pioneer' la media fue de 42,62 N (Tabla 2), siendo el valor más alto de las tres poblaciones, mientras que en las familias de 'Red Beauty' x 'Black Splendor' y 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz' los promedios fueron de 38,74

N (Tabla 3 y de 36,98 N (Tabla 4) respectivamente. En cualquier caso, los valores promedio de las tres poblaciones oscilaron en torno a los 40 N.

En el caso de las familias 'Black Splendor' x 'Pioneer' y 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz', se dieron distribuciones normales según el test de normalidad de Shapiro-Wilks (Tablas 14 y 16), a diferencia de la familia de 'Red Beauty' x 'Black Splendor' la cual no siguió una distribución normal entre su descendencia (Tabla 15).

El contenido de sólidos solubles es uno de los parámetros más determinantes que influyen en la calidad organoléptica del fruto, ya que influye en un mayor o menor grado de aceptación por parte de los consumidores. Como se puede observar en el histograma de sólidos solubles expresado en °Brix, la mayor parte de los individuos obtuvieron valores de entre 10 y 14 °Brix (Fig. 22). En el caso de la familia 'Black Splendor' x 'Pioneer' se obtuvo un valor promedio de 12,33 °Brix (Tabla 2), mientras que las familias 'Red Beauty' x 'Black Splendor' y 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz' obtuvieron valores promedio inferiores de 11,13 °Brix (Tabla 3), y 11,55 °Brix (Tabla 4), respectivamente. Las tres familias siguieron una distribución normal como se puede observar en los histogramas de sólidos solubles (Fig. 22) y tal como indican los test de normalidad de Shapiro-Wilks (Tablas 14, 15 y 16).



**Figura 23.** Histograma de los caracteres acidez valorable (g/100ml) y acidez refractómetro (g/100ml) de las tres familias estudiadas. Los parentales están indicados con flechas siendo BS 'Black Splendor', PIO 'Pioneer', RB 'Red Beauty', SRP 'Santa Rosa Precoz'

La mayoría de los individuos de las 3 familias oscilaron entre 1,5 y 2,00 g ácido málico / 100 ml. La familia 'Black Splendor' x 'Pioneer' tuvo con 1,86 g/100 ml el promedio de acidez más alto (Tabla 2), mientras que las familias 'Red Beauty' x 'Black Splendor' y 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz' presentaron valores promedio inferiores con 1,66 g/100ml (Tabla 3) y 1,61 g/100ml (Tabla 4) respectivamente. Además, todas ellas mostraron una distribución normal según el test de normalidad de Shapiro-Wilks, a excepción de 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz' (Tablas 14, 15 y 16).

En cuanto a la acidez medida mediante refractómetro, los histogramas reflejan valores absolutos inferiores a los del contenido en ácido málico, debido fundamentalmente a la diferencia entre las técnicas y las unidades, ya que el ácido málico fue estimado a partir de una valoración ácido-base (g ácido málico/100 ml) mientras que el refractómetro estima la acidez en % de ácido málico. Además, podemos observar que en la acidez medida mediante el refractómetro manual se obtiene una menor variabilidad, ya que la mayor parte de individuos quedan definidos en un menor número de rangos en comparación con los histogramas de ácido málico obtenidos mediante el valorador automático (Fig. 23). Esta mayor variabilidad en el caso del ácido málico se corresponde además con una distribución normal en al menos dos de las poblaciones, al contrario que ocurre con la acidez medida como %, donde ninguna población cumple con el criterio de normalidad (Tablas 14, 15 y 16). Por tanto, a pesar de que la estimación del ácido málico mediante valoración ácido-base la podemos considerar más precisa que el refractómetro manual, la medición con el refractómetro mostró correlaciones con el ácido málico por encima de 0,5 y más concretamente de 0,87 en el caso de la familia de 'Black Splendor' x 'Pioneer' (Tablas 4, 5, y 6).

## 5. DISCUSIÓN

La caracterización fenotípica de las poblaciones de ciruelo japonés 'Black Splendor' x 'Pioneer' ('BS' x 'PIO'), 'Red Beauty' x 'Black Splendor' ('RB' x 'BS') y 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz' ('RB' x 'SRP') ha dado como resultado una gran variabilidad de los genotipos evaluados en las tres poblaciones. Además, algunas de las correlaciones más destacadas fueron entre fecha de cosecha y desarrollo del fruto, fecha de cosecha y firmeza o entre desarrollo del fruto y firmeza, las cuales mostraron ser altamente significativas. En otros trabajos desarrollados en la especie melocotonero (Etienne *et al.*, 2002) o albaricoquero (Salazar *et al.*, 2013), también se identificaron correlaciones altas entre fecha de cosecha y desarrollo del fruto, lo que indica que el periodo de desarrollo del fruto está íntimamente relacionado con la fecha de recolección. Sin embargo, esta relación no es aplicable a fecha de floración, ya que no necesariamente floraciones más o menos precoces implican una recolección más temprana o tardía, tal y como muestran las bajas correlaciones encontradas entre fecha de cosecha y fecha de floración en el presente trabajo. Además, las altas correlaciones obtenidas entre fecha de cosecha o desarrollo del fruto y firmeza implican que genotipos más tardíos muestren valores de firmeza del fruto mayores, tal y como ocurre en otra población de ciruelo japonés (Salazar *et al.*, 2017) al menos en un año.

Con respecto al modo de herencia de cada uno de los caracteres evaluados, para fecha de floración se dieron en algunos casos valores transgresivos a los parentales, especialmente en aquellas poblaciones que tenían a 'Black Splendor' como parental común. Con respecto a fecha de cosecha también se observaron valores de herencia intermedia en las poblaciones 'RB' x 'BS' y 'RB' x 'SRP', mientras que en 'BS' x 'PIO' se obtuvieron valores transgresivos a los parentales. Estos valores transgresivos pueden deberse a una alta heterocigosidad debido al fondo genético de los parentales, mientras que la herencia intermedia se debe a la transmisión de genes co-dominantes como ocurre en otros trabajos realizados en las especies albaricoquero y ciruelo japonés (Salazar *et al.*, 2013; García-Gómez *et al.*, 2019; Salazar *et al.*, 2020). Además, los histogramas en general no mostraron

distribuciones normales, a excepción de la fecha de cosecha en la población 'RB' × 'SRP'.

Con respecto al desarrollo del fruto, este mostró una herencia intermedia a excepción del cruzamiento de 'BS' × 'PIO', el cual mostró valores transgresivos a los parentales, siendo la población 'RB' × 'SRP' la única que cumplía el criterio de normalidad. Sin embargo, el peso del fruto mostró distribuciones normales para todas las poblaciones, lo que indica su carácter altamente poligénico.

En cuanto al color de piel y pulpa, como era esperable, ninguna de las poblaciones siguió una distribución normal, debido al marcado carácter oligogénico del color del fruto, donde todo parece indicar que unos pocos genes dominan este carácter. Al contrario, sólidos solubles y acidez, mostraron distribuciones normales en todas las poblaciones a excepción de 'RB' × 'SRP' para el contenido en sólidos solubles, lo que indica al igual que el caso de peso de fruto su carácter altamente poligénico.

Así pues, en resumen, podemos decir que caracteres tales como fecha de floración, fecha de cosecha y desarrollo del fruto tienden a distribuciones asimétricas o normales dependiendo del fondo genético aportado por cada uno de los parentales. Sin embargo, caracteres como peso del fruto, sólidos solubles, acidez e incluso firmeza, son más tendentes a distribuciones normales lo que implica un alto número de genes implicados en la expresión de estos caracteres.

Finalmente, estos resultados, nos permiten obtener una información relevante con respecto al modo de herencia de caracteres de tipo fenológico relacionados con la floración, fecha de cosecha y desarrollo del fruto, así como también caracteres de calidad del fruto como son el peso del fruto, color de piel, color de pulpa, firmeza, contenido en sólidos solubles o la acidez. Además, estos resultados suponen al igual que en otros trabajos realizados en diferentes especies de *Prunus* (Dirlewanger *et al.*, 1999; Etienne *et al.*, 2002; Boudehri *et al.*, 2009; Campoy *et al.*, 2011; Salazar *et al.*, 2013; Salazar *et al.*, 2017; Salazar *et al.*, 2020) un primer paso imprescindible para el estudio de las relaciones carácter-marcador y en definitiva para la obtención de QTLs que permitan la identificación de genes candidato y el diseño de marcadores moleculares

relacionados con estos caracteres de interés en una posible selección asistida por marcadores moleculares.



## 6. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se pueden obtener del estudio del modo de herencia de los principales caracteres relacionados con la fenología y la calidad del fruto de las tres familias 'Black Splendor' x 'Pioneer', 'Red Beauty' x 'Black Splendor' y 'Red Beauty' x 'Santa Rosa Precoz' son las siguientes:

1. En las tres poblaciones de ciruelo japonés evaluadas se observó una gran variabilidad de los caracteres fenológicos (fecha de floración, fecha de cosecha y desarrollo del fruto) y de calidad del fruto (peso, color de piel, color de pulpa, firmeza, sólidos solubles y acidez) evaluados, mostrando todos ellos diferencias significativas entre genotipos.

2. Las correlaciones más altas se dieron entre fecha de cosecha y desarrollo del fruto en las tres poblaciones, así como también son destacables las altas correlaciones obtenidas entre fecha de cosecha o desarrollo del fruto con firmeza del fruto y entre el color del fruto visual y el color representado por el valor  $h^{\circ}$  obtenido mediante colorímetro.

3. Caracteres como fecha de floración, fecha de cosecha y desarrollo del fruto mostraron alternativamente distribuciones asimétricas y normales, mientras que peso del fruto, firmeza, sólidos solubles y acidez se caracterizaron por distribuciones normales, lo que indica la naturaleza poligénica de estos caracteres.

4. El color visual del fruto, así como también el color obtenido mediante colorímetro, dieron lugar a distribuciones más asimétricas y bimodales más acordes con la naturaleza oligogénica de estos caracteres.

5. En algunos casos se observaron valores transgresivos a los parentales debido al fondo genético de los mismos o de herencia intermedia debido a la transmisión de genes co-dominantes.

6. Esta caracterización fenotípica supone un primer paso necesario para la identificación de QTLs asociados a caracteres fenológicos y de la calidad del fruto que permitan avanzar hacia la selección asistida mediante marcadores moleculares en la especie ciruelo japonés.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, J.A.** 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. Postharvest biology and technology, 15: 207-225.
- Agustí, M.** 2010. Frutales de hueso. En: Fruticultura. Mundi-Prensa, Madrid: 273-307 pp
- Arroyo, T., Casado, G., y Arenas, J.** 2016. Guía de Gestión Integrada de Enfermedades de Frutales de Hueso. Ministerio de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente.
- Bailey, C.H. y Hough, L.F.** 1975. Apricots. En: Advances in Fruit Breeding. Purdue University Press, Lafayette: 367-383 pp.
- Battle, I. Iglesias, I. Cantin, C. M. Badenes, M. L. Rios, G. Ruiz, D. Dicenta, F. Egea, J. O. López, M. Guerra, E. Alonso, J. M. R. Rodrigo J. García, F. García, J..** Cataluña: Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA), 2018. Cap III. Frutales de hueso y pepita, Nº 319, 81-130.
- Brown GS, Walker TD.** 1990. Indicators of maturity in apricots using biplot multivariate analysis. Journal of the Science of Food and Agriculture, 53:321-331
- Boudehri, K., Bendahmane, A., Cardinet, G., Troadec, C., Moing, A. y Dirlewanger, E.,** 2009. Phenotypic and fine genetic characterization of the D locus controlling fruit acidity in peach. BMC Plant Biol 19:59.
- Calvo, I.** 2009. El cultivo del ciruelo. Proyecto Plantón-Pacayas. Boletín Técnico nº9. 5 pp.
- Campoy, J.A., Ruiz, D., Egea, J., Rees, D.J.G., Celton, J.M. y Martínez-Gómez, P.** 2011. Inheritance of Flowering Time in Apricot (*Prunus armeniaca* L.) and Analysis of Linked Quantitative Trait Loci (QTLs) using Simple Sequence Repeat (SSR) Markers. Plant Molecular Biology Reporter 29, 404–410. <https://doi.org/10.1007/s11105-010-0242-9>
- Cobianchi, D., Bergamini, A. y Cortesi A.** 1988. El ciruelo. Mundi-Prensa: Madrid, España. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/161793-Mejora-genetica-frutales-hueso-Instituto-Murciano-Investigacion-Desarrollo-Agrario.html>
- Espada, J.L.** 2010. Necesidades de frío invernal de los frutales caducifolios. En: Revista Informaciones técnicas. nº224, 2-8 pp.
- Etienne, C., Rothan, C., Moing, A., Plomion, C., Bodénes, C., Svanella-Dumas, L., Cosson, P., Pronier, V., Monet, R. y Dirlewanger, E.** 2002. Candidate genes and QTLs for sugar and organic acid content in peach

- [*Prunus persica* (L.) Batsch]. *Theoretical and Applied Genetics* 105, 145–159. <https://doi.org/10.1007/s00122-001-0841-9>
- E. Alonso, J. M. R. Rodrigo J. García, F. y García, J.** 2018. Cataluña: Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA), Cap III. Frutales de hueso y pepita, Nº 319, 81-130.
- FAOSTAT**, 2021: consultada en la siguiente página web: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>.
- Faust, M. and Surányi, D.** 1999. Origin and dissemination of plums. *Horticultural Reviews*, 23, 179–231
- García-Gómez, B., Salazar, J., Dondini, L., Martínez-Gomez, P., Ruiz, D.** 2019. Identification of QTLs linked to fruit quality traits in apricot (*Prunus armeniaca* L.) and biological validation through gene expression analysis using qPCR. *Molecular Breeding* 39. <https://doi.org/10.1007/s11032-018-0926-7>.
- Guardiola, E.** 2019. Caracterización pomológica y aptitud postcosecha de nuevas selecciones de ciruelo japonés del programa de mejora del CEBAS-CSIC/IMIDA. Trabajo fin de máster. Universidad Miguel Hernández de Elche. 67 pp.
- Guerra Velo, M. E. y Rodrigo, F. J.** 2017. Ciruelo japonés: Renovación varietal y mejora genética. En: *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera*. Nº 1008, 572-576 pp.
- Guerra Velo, M.E.** 2011. Polinización y cuajado en ciruelo japonés. Dirigido por Margarita López-Corrales, Javier Rodrigo García y Ana Wunsch Blanco. Extremadura: Universidad de Extremadura UEX. Tesis doctoral
- Guerra Velo, M.E. Rodrigo, J. Ciruelo japonés.** Renovación varietal y mejora genética. Extremadura: Departamento de Hortofruticultura. CICYTEX-La Orden. Guadajira, Badajoz, 2017. Dossier Fruticultura Julio-Agosto, 572-576.
- Guevara Gázquez, A. García, F. Carrillo, A. López, D. López, M.B. Cos, J.** 2016. Mejora de frutales de hueso en el Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario [En línea]. Murcia: IMIDA. Ed. INTEREMPRESAS. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/161793-Mejora-genetica-frutales-hueso-Instituto-Murciano-Investigacion-Desarrollo-Agrario.html>
- Lee S, Wen J.** 2001. A phylogenetic analysis of *Prunus* and the Amygdaloideae (Rosaceae) using ITS sequences of nuclear ribosomal DNA. *American Journal of Botany* 88:1. 150-160 pp
- Looney, N. y Jackson, D.** 1999. Stone fruit. En: *Temperate and Subtropical Fruit*.

- MAPA.** 2020. Anuario de estadística agroambiental. [En línea]. Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación.
- Mataix, E. Villarrubia, D.** 1999. Poda de Frutales. 1º La poda del Ciruelo. Comunidad Valenciana: Conselleria De Agricultura, Pesca Y Alimentación. Serie Divulgación Técnica Nº 45.
- Minolta Corporation.** 1994. Precise color communication: color control from feeling to instrumentation. Minolta.
- Okie, W.** 2008. *Prunus domestica*, *Prunus salicina*. UK: In Encyclopedia of Fruit and Nuts. Ed. J. Janich, Paull, R.E, 694-705. Production, 3º edición. Cambridge University Press. 161-180 pp.
- Okie, W.R. y Weinberger, J.H.** 1996. Plums. En: Janick, J. y Moore, J.N. (eds), Fruit Breeding, Volumen I: Tree and Tropical Fruits. John Wiley & Sons, Inc., New York. 559–607 pp.
- Prudencio, Á. García, B. E., Ruiz, D., Rubio, M y Martínez-Gómez, P.** 2016. Análisis transcriptómico en frutales del género *Prunus*: aplicaciones a los programas de mejora. [En línea]. Murcia: Departamento de Mejora Vegetal, CEBAS-CSIC Ed. INTEREMPRESAS. Excelencia ligada a la investigación. Fruticultura. 71.
- Ruiz, D. Cos, J. Carrillo, A. Frutos, D. García F y Egea, J.** 2011. Nuevas variedades de maduración temprana, elevada calidad, autocompatibilidad floral y resistencia al sharka. Revista Vida Rural. Nº 338, 32-35 pp.
- Ruiz D, Egea J, Tomás-Barberán FA y Gil MI** (2005) Carotenoids from new apricot (*Prunus armeniaca* L.) varieties and their relationship with flesh and skin color. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53:6368-6374
- Salazar, J., Ruiz, D., Egea, J. y Martinez-Gomez, P.** 2013. Transmission of Fruit Quality Traits in Apricot (*Prunus armeniaca* L.) and Analysis of Linked Quantitative Trait Loci (QTLs) Using Simple Sequence Repeat (SSR) Markers. Plant Molecular Biology Reporter 31. <https://doi.org/10.1007/s11105-013-0625-9>
- Salazar, J., Pacheco, I., Shinya, P., Zapata, P., Silva, C., Aradhya, M., Velasco, D., Ruiz, D., Martinez-Gomez, P. y Infante, R.** 2017. Genotyping by Sequencing for SNP-Based Linkage Analysis and Identification of QTLs Linked to Fruit Quality Traits in Japanese Plum (*Prunus salicina* Lindl.). Frontiers in Plant Science 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00476>.
- Salazar, J.A., Pacheco, I., Zapata, P., Shinya, P., Ruiz, D., Martínez-Gómez, P., Infante, R.** 2020. Identification of loci controlling phenology, fruit quality and post-harvest quantitative parameters in Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.). Postharvest Biology and Technology 169, 111292. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111292>.

- Sims, E.T. and Coming, D.** 1963. Evaluation of objective maturity indices for Halehaven peaches. Proceedings of the American Society for Horticultural Science, 82: 125-130.
- Talón, P.J. F.** 2009. Fertirrigación en cultivos leñosos y abonado de árboles jóvenes. En: Vida Rural. Nº 286, 28-32 pp.
- Topp, B.L. Russell, D.M. Neumüller, M. Dalbó, M.A. y Liu, W.** 2012. Fruit breeding. Ed. M.L. Badenes y D.H. Byrne. 571-612.
- Varady-Burgetti, C., Hámori-Szabo, J. and Faskebti, E.** 1983. Determination of maturity in apricots by instrumental measurement of flesh firmness and colour. Acta Alimentaria, 12: 412-413.
- Yara, 2020:** consultada en la siguiente página web:  
<https://www.yara.es/nutricion-vegetal/frutales-hueso/produccion-mundial/>
- Yoshida, M.** 1987. The origin of fruits. 2: plums. Fruit Japan 42: 49-53.

