



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-035

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
**ISBN 978-84-941695-2-6**

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Caracterización morfológica de manzanos (*Malus* spp.) en las Sierras de Guadarrama y de Ayllón.

ARNAL OLIVARES, A.<sup>1</sup>; LÁZARO LÁZARO, A.<sup>1</sup>; MARTÍNEZ LABARGA, J.M.<sup>2</sup>; TARDÍO PATO, F.J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Agroalimentación. Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural Agrario y Alimentario.

<sup>2</sup> Departamento de Sistemas y Recursos Naturales. E.T.S.I. Montes, Forestal y del Medio Natural. UPM.

### Resumen

En este trabajo se determina la distribución de poblaciones de manzano silvestre (*Malus sylvestris*) y otros manzanos asilvestrados en el centro de la Península Ibérica, y se caracterizan con 48 descriptores morfológicos los individuos encontrados, así como diferentes variedades de manzano cultivado (*M. domestica*). Los resultados obtenidos serán útiles para entender mejor la estructura poblacional del manzano silvestre en España y en Europa, gracias a que en nuestro país se presenta uno de sus límites de distribución geográfica. Como resultado, un total de 44 variables morfológicas sobre 48 sirven para discriminar entre esta especie y el manzano cultivado y es posible que existan en campo individuos categorizados como *M. sylvestris* que pertenezcan a hibridaciones con el anterior.

### Palabras clave

Manzano silvestre, manzano doméstico, prospección de campo, caracterización morfológica.

### 1. Introducción

Los manzanos (género *Malus* Mill.) están clasificados en la actualidad en la subfamilia *Amygdaloideae* Arn dentro de la familia *Rosaceae*. Dentro de este género, todavía no resuelto, se encuentran descritas y aceptadas en torno a 70 especies, todas ellas de regiones templadas del hemisferio Norte (The Plant List, 2013). De entre ellas, el manzano silvestre europeo (*Malus sylvestris* Mill.) es la única especie distribuida naturalmente por toda Europa, y hoy en día se incluye junto con el manzano del Cáucaso (*Malus orientalis* Uglitzk), el manzano silvestre de Siberia (*Malus baccata* (L.) Borkh.) y especialmente *Malus sieversii* (Ledeb.) M.Roem. dentro del conjunto de especies que han originado el manzano cultivado o doméstico (*Malus domestica* Borkh.) (Cornille et al., 2012; Harrison y Harrison, 2011; Figura 1).

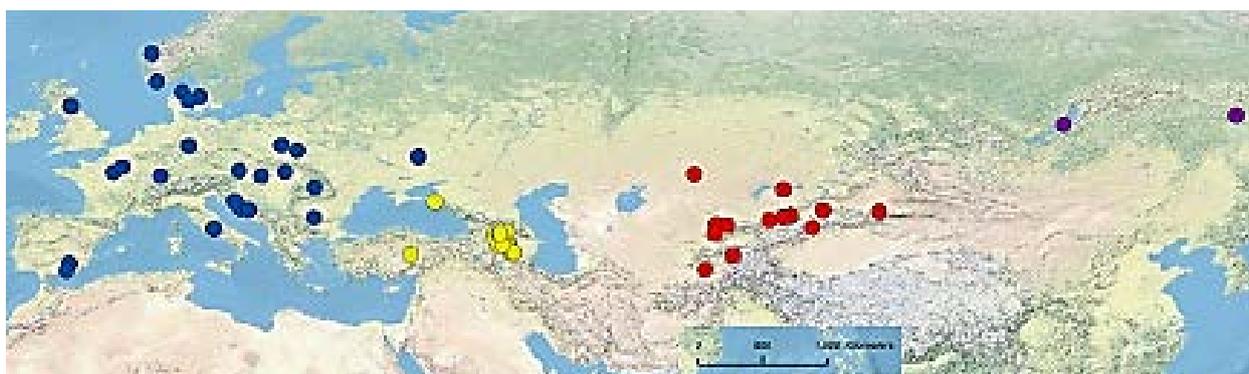


Figura 1: Distribución aproximada de las especies de manzano silvestre que han originado el manzano doméstico. En azul, *M. sylvestris*, en amarillo, *M. orientalis*, en rojo, *M. sieversii*, y en morado, *M. baccata*. Modificado de Cornille et al. (2012).

Al haber un pool genético compartido, se han ido realizando trabajos comparativos entre especies de manzano con el objeto de evaluar qué material comparte el manzano doméstico, tanto el material mejorado en los últimos años como el de variedades locales, con cada una de las

especies originales (Cornille, et al., 2012; Forte et al, 2002). A día de hoy se conocen algunas similitudes y diferencias, morfológicas y moleculares, entre *M. sylvestris* y *M. domestica*. Por ejemplo, existen diferencias en el aspecto y tamaño general del árbol, siendo el silvestre en promedio más pequeño que el cultivado. Según Aedo et al. (1998), se encuentran en los órganos una serie de caracteres distintivos (Tabla 1).

Tabla 1. Similitudes y diferencias entre las yemas, hojas, flores y frutos de *M. sylvestris* y *M. domestica* (Aedo et al., 1998).

Órgano	Característica	<i>M. sylvestris</i>	<i>M. domestica</i>
Yema	Forma	Cónico-ovoidea	
	Pubescencia	Glabras y ciliadas en la base	Generalmente glabras, ciliadas en la base
	Tamaño	3-4 x 2 mm	4-5 x 3-4 mm
Hoja	Forma	Ovada a elíptica. Acuminadas	Aovada a elíptica. Acuminadas
	Base	Cuneada o redondeada	
	Borde	Aserrado	Aserrado o a veces subentero
	Pubescencia	Glabras	Densamente pelosas
	Estípulas	3-5 mm dentadas, subglabras	5-9 mm dentadas, pelosas
	Peciolo	9-30mm glabro o algo pubescente	10-30 mm pubescente
	Tamaño	25-50 x 20-40 mm	28-75 x 18-49 mm
Flor	Inflorescencia	Umbeliforme o corimbiforme	
	Flores/Inflores.	3-6 flores	4-8 flores
	Pedicelo	9-20 mm	8-25 mm
	Pilosidad	Generalmente glabras	Pelosas
	Color	Blanca o rosada	
	Sépalos	5-5,5 x 2 mm	8-9 x 3-4 mm
	Pétalos	11-17 x 10-13 mm	13-29 x 10-14 mm
	Estilos	5, de 7-8 mm	
Fruto	Filamentos	9-10 mm	6-9 mm
	Forma	Pomo	
	Tamaño	18-26 x 19-23	30-100 x 35-110
	Color	Verde o rojizo	Verde, amarillo, rojizo
	Semillas	6-7	7-8

En referencia a la Península Ibérica, aunque las citas de *M. sylvestris* se centran en el tercio norte, donde predominan los climas más húmedos y frescos (Pirineos y Cordillera Cantábrica), hay referencias dispersas de manzanos fenotípicamente silvestres en el Sistema Central y en las montañas del Sureste, muy cerca de ambientes termomediterráneos (GBIF, 2016; Reim et al. 2012). Por tanto, se encuentran enclaves e individuos aislados de manzano, teóricamente silvestre, más allá de su rango de distribución. El valor de estos individuos es reconocido; en el caso de la Comunidad de Madrid, por ejemplo, el manzano silvestre está catalogado como de interés regional especial en el Catálogo regional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres (Consejería de Medio Ambiente de Madrid, 2013).

En el caso de las poblaciones más meridionales, algunos estudios sugieren que los manzanos silvestres de zonas aisladas geográficamente pertenecen a otras especies de manzano: *Malus segurensis* y *M. orospedanus* (Rivera et al., 1996). En cualquier caso, la situación del manzano silvestre en la Península Ibérica como uno de sus límites de distribución, invita a evaluar la variabilidad genética de estas poblaciones para nuevos programas de mejora o conservación.

## 2. Objetivos

Durante este primer año de trabajo de campo los objetivos fueron:

1. Estimar la distribución del manzano silvestre y los naturalizados de manzano doméstico en la zona de las Sierras de Guadarrama y de Ayllón (Madrid, Castilla-La Mancha y Castilla y León).

2. Caracterizar la diversidad morfológica de los manzanos encontrados.
3. Evaluar de manera preliminar la presencia de poblaciones y/o manzanos intermedios entre ambas especies.

### 3. Metodología

Se prospectó en las Sierras de Guadarrama y de Ayllón, pertenecientes a la Región de Identificación y Uso 20 (Alía et al., 2009), con el objeto de caracterizar individuos de manzano entre los meses de julio y noviembre de 2016. Los árboles fueron identificados con el nombre del municipio y un número correlativo. Se partió de localizaciones previas de manzano de:

- a) Pliegos de 4 herbarios diferentes: Facultad de Ciencias de la Universidad de Alcalá de Henares (AH), Escuela de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid (EMMA), Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense de Madrid (MAF) y Real Jardín Botánico-CSIC (MA).
- b) Observaciones del Inventario Forestal Nacional III y IV consultados directamente al Ministerio de Medio Ambiente.
- c) Referencias del personal que trabaja al servicio del monte en la Comunidad de Madrid y de Castilla-La Mancha y/o que conoce bien la zona de estudio.
- d) Citas más o menos precisas publicadas en GBIF (2016).

Los datos, debido a la gran dispersión de formatos de proyección y sistemas de coordenadas, antes de ser representados y verificados se transformaron al sistema de referencia ETRS89 y coordenadas UTM. Una vez, homogeneizados y eliminados los individuos erróneos, se contabilizaron como buenos y caracterizaron morfológicamente 165 individuos de manzano del conjunto de 19 prospecciones de campo llevadas a cabo durante los meses de julio a noviembre de 2016. De los individuos seleccionados, 105 fueron identificados putativamente como *M. sylvestris* y 60 como *M. domestica*. Para la identificación se aplicaron criterios descriptivos de Flora iberica (Aedo et al. 1998).

Como material de referencia para *M. domestica*, se utilizaron cultivares comerciales y variedades tradicionales de la Sierra Norte de Madrid del Banco de Germoplasma del IMIDRA, en la Finca "La Isla" (Arganda del Rey). Las variedades comerciales caracterizadas en este trabajo fueron nueve: 'Fuji Aztek', 'Fuji Kiku 8', 'Gala Schniga', 'Gala Buckeye', 'Golden Delicious', 'Golden Reinders', 'Reineta Blanca', 'Reineta Gris' y 'Verde Doncella'. Además, se caracterizaron 44 variedades tradicionales, procedentes de los trabajos realizados de una tesis doctoral anterior (Aceituno, 2010), entre las que se encuentran, por ejemplo, el pero pardo, la mailla blanca y las camuesas.

Se caracterizaron 10 hojas de cada individuo silvestre o asilvestrado y 10 hojas y frutos de cada accesión del banco de germoplasma. Se utilizaron para ello 48 descriptores morfológicos, 20 de hoja y 28 de fruto, basados en los de UPOV (2005), IPGRI (1982) y Urbina y Dalmases (2014); estos últimos autores incluyen más caracteres y amplían muchos de los descriptores de UPOV e IPGRI (Tabla 2 y

Tabla 3). Entre estos 48 descriptores, cinco responden a alguna combinación lineal entre ellos: longitud total de hoja, forma de la hoja, relación longitud de la lámina foliar y del peciolo y relación longitud y anchura del fruto (compresión del fruto).

Tabla 2. Algunas variables morfológicas de hoja medidas en los individuos identificados de *Malus sylvestris* y *Malus domestica*. En rojo, variable cualitativa, en azul, variable cuantitativa.

Variable	Descripción
Longitud	Longitud de la lámina foliar (GCMUdL).
Anchura	Anchura máximo de la lámina foliar perpendicular al nervio central (UPOV).
Plegamiento	Actitud del plegamiento de la hoja respecto al raquis (GCMUdL): 1, plana; 2, plegada; 3, ondulada; 4, torcida; 5, convexa.

Tabla 3(cont.).

Variable	Descripción
<b>Base foliar</b>	Forma de la base de la hoja (GCMUdL): 1, cuneada; 3, redondeada; 4, asimétrica; 5, cordada; 7, truncada.
<b>Forma del ápice</b>	Forma del ápice de la hoja (GCMUdL): 1, redondeada; 3, aguda; 5, mucronada; 7, acuminada; 9, cuspidada.
<b>Pecíolo</b>	Longitud del pecíolo (GCMUdL).
<b>Color pecíolo</b>	Color cualitativo del pecíolo: 1, verde; 2, púrpura en la base; 3, púrpura.
<b>Hoja/pecíolo</b>	Relación entre la longitud de la lámina foliar y la longitud del pecíolo.
<b>Color hoja</b>	Tres coordenadas cuantitativas dentro del espacio CIE L*a*b*.
<b>Estípulas</b>	Presencia y morfología de las estípulas sobre material fresco (GCMUdL): 0, sin estípulas; 1, rudimentarias; 3, filiformes cortas (<5mm); 5, filiformes largas (> 5mm); 7, foliosas cortas (<5 mm); 9, foliosas largas (>5mm)
<b>Pubescencia</b>	Presencia e intensidad de la pubescencia en el envés de la hoja sobre material fresco con la ayuda de una lupa 15x (GCMUdL): 0, totalmente glabra; 1, muy débilmente pubescente en los nervios; 3, ligeramente pubescente y/o con regiones glabras; 5, pubescente; 9, muy pubescente y flocosa
<b>Forma</b>	Relación entre la longitud de máxima anchura y la longitud de la lámina foliar. Se calcula dividiendo la diferencia entre la longitud de la lámina foliar y la longitud de máxima anchura entre la longitud de la lámina foliar. 1, ovada (superior a 55%). 2, lanceolada (entre 45 y 55%). 3, aovada (inferior a 45%)
<b>Borde</b>	Borde de la lámina foliar en su extremo superior (UPOV): 1, crenada; 2, bicrenada; 3, serrada 1; 4, serrada 2 ; 5, biserrada 1; 6, biserrada 2 convexa (biaserrada); 7, triserrada 1.

Tabla 4. Algunas variables morfológicas de fruto medidas en los individuos identificados de *Malus sylvestris* y *Malus doméstica*. En rojo, variable cualitativa; en azul, variable cuantitativa.

Variable	Descripción
<b>Longitud</b>	Longitud del fruto (UPOV).
<b>Anchura</b>	Anchura máximo del fruto (UPOV).
<b>Compresión del fruto</b>	Relación longitud/anchura del fruto (UPOV).
<b>Ceras</b>	Intensidad de la capa fina cérea en la superficie del fruto (GCMUdL): 1, débil; 2, media; 3, fuerte.
<b>Color de fondo</b>	Color de base del fruto (IPGRI).
<b>Color de chapa</b>	Color de la chapa (IPGRI).
<b>Distribución color de chapa</b>	Distribución del color de la chapa en superficie (IPGRI): 0, uniforme (no chapa); 1, difuminado; 2, difuminado y a bandas; 3, a bandas.
<b>Forma del ojo</b>	Forma de la apertura ocular del cáliz (GCMUdL).
<b>Tamaño del ojo</b>	Anchura de la apertura ocular del cáliz, sin contar los sépalos (GCMUdL).
<b>Masa</b>	Masa del fruto (GCMUdL).
<b>Cavidad calicina</b>	Profundidad del ojo de la cavidad calicina en superficie (GCMUdL).
<b>Russet en la cavidad peduncular</b>	Presencia de acorchado superficial en forma de costra o bandas (GCMUdL).
<b>Longitud de la cavidad calicina</b>	Longitud del espacio abierto dentro de la cavidad calicina (UPOV).
<b>Anchura de la cavidad calicina</b>	Anchura del espacio abierto dentro la cavidad calicina (UPOV).
<b>Longitud de la cavidad peduncular</b>	Longitud del espacio abierto de la cavidad peduncular (UPOV).
<b>Anchura de la cavidad peduncular</b>	Anchura del espacio abierto de la cavidad peduncular (UPOV).
<b>Forma transversal del fruto</b>	Forma del fruto: 16 categorías (GCMUdL).
<b>Número de semillas</b>	Número de semillas bien desarrolladas contenidas en el fruto.

Se procedió al escaneo de hoja y posterior procesado con el programa ImageJ (Rasband, 2016) para la medida de sus dimensiones, destacando su utilidad para el área foliar y redondez. Las medidas del color de cada superficie foliar se extrajeron con la ayuda de la extensión Color Histogram del programa ImageJ las medias de cada canal RGB y se convirtieron al sistema CIE L\*a\*b con una iluminancia D65 y un ángulo de visión de 2° (1931) con el paso intermedio de transformación a valores del sistema XYZ con el software R (R Core Team, 2016).

Durante el proceso de análisis estadístico se trataron las variables cualitativas sin transformar y las cualitativas convertidas en un valor numérico para poder analizarlas con las cuantitativas con el programa JMP9 (SAS Institute, 2011), siempre que ello fuera posible metodológicamente.

En primer lugar, se elaboró una matriz de correlaciones de Pearson con comparación por pares para todas las variables sin discriminar y discriminando entre especies con el objeto de visualizar si

existen correlaciones entre algunas variables, especialmente entre las de hoja y fruto. Para detectar las variables que tuvieran un carácter diferenciador entre especies se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para las variables cuantitativas continuas y tablas de contingencia para las variables cualitativas, seguido de un análisis de componentes principales (ACP).

Por último, se realizó con los árboles un análisis discriminante para comprobar la bonanza de la clasificación inicial y un análisis de agrupamiento jerárquico o *cluster* mediante el método de Ward para contrastar el origen geográfico con las relaciones obtenidas entre las variables morfológicas. Para ello, de las variables que contribuían a la separación entre especies en el análisis exploratorio, se promediaron los datos de las variables cuantitativas y se obtuvieron las modas en las variables cualitativas.

#### 4. Resultados

Se identificaron y caracterizaron morfológicamente 165 individuos de *M. sylvestris* y *M. domestica* muestreados en 19 prospecciones de campo en las Sierras de Guadarrama y Ayllón durante los meses de julio a noviembre de 2016 (Figura 2). De los manzanos obtenidos en las prospecciones se dispuso de material de hoja de todos los individuos, pero solo se encontró fruto suficiente en 55 muestras.

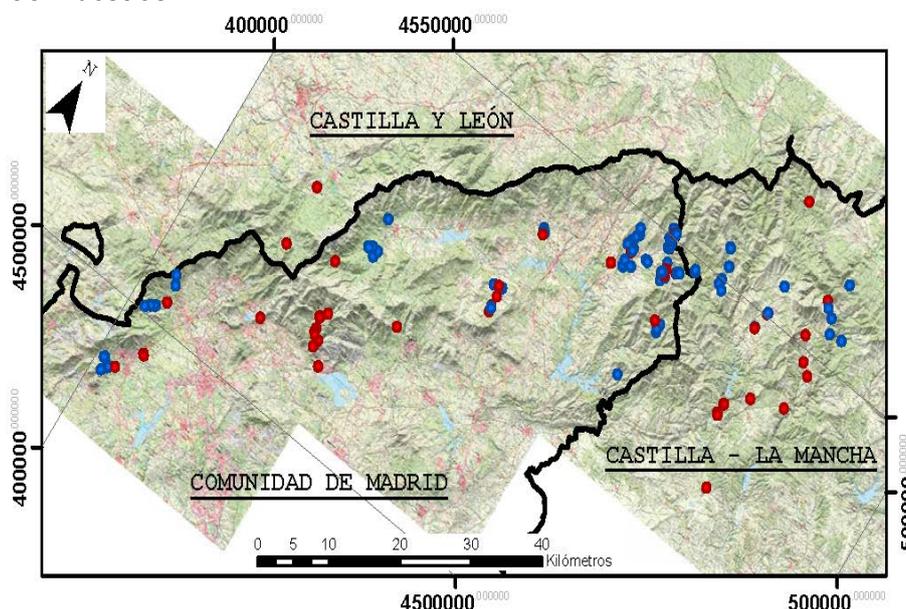


Figura 2. Distribución de los manzanos identificados. En azul, *M. sylvestris*, en naranja, *M. domestica*.

De la matriz de correlaciones de Pearson se obtuvieron un total de 67 correlaciones significativas superiores a 0,55 y 26 con valor superior a 0,75. Aparte de las causadas por combinaciones lineales entre variables, son interesantes las obtenidas entre la pubescencia y estípulas con la longitud, anchura y masa del fruto y las variables de longitud de hoja y de fruto. Dentro de cada especie no se detectan nuevas correlaciones interesantes, si bien cuantitativamente hay más correlaciones dentro del manzano comercial que en el silvestre.

Como resultado del análisis exploratorio realizado, del total de 48 variables medidas sobre los individuos, un total de 44 resultaron significativas ( $P < 0,05$ ) a la hora de discriminar entre *M. sylvestris* y *M. domestica* (Tabla 4 y Tabla 5). Sorprendentemente, todas las variables de hoja fueron significativamente discriminantes, pero no lo fueron algunas de las variables de fruto, como son longitud de pedúnculo, apertura del cáliz, *russet* en la cavidad calicina ni *russet* en las caras del fruto.

Tabla 5: Valor medio, error típico de las variables cuantitativas significativas ( $P < 0,05$ ) entre *M. sylvestris* y *M. domestica* y diferencia entre los valores medios entre *M. domestica* y *M. sylvestris*.

	<i>M. sylvestris</i>	<i>M. domestica</i>	Diferencia
<b>Variables cuantitativas de hoja</b>			
Longitud del peciolo (cm)	3,265 ± 0,0274	3,358 ± 0,0272	0,093
Longitud lámina foliar (cm)	7,181 ± 0,0591	10,028 ± 0,0586	2,847
Relación longitud lámina foliar/longitud peciolo	2,319 ± 0,0223	3,090 ± 0,0221	0,771
Anchura lámina foliar (cm)	4,256 ± 0,0334	5,587 ± 0,3317	1,331
Longitud de máxima anchura (cm)	3,353 ± 0,0358	4,622 ± 0,0355	1,269
Longitud del mucrón (cm)	0,585 ± 0,0089	0,633 ± 0,0090	0,048
Longitud total (cm)	10,436 ± 0,0762	13,387 ± 0,0757	2,951
Área foliar (cm <sup>2</sup> )	22,418 ± 0,4298	42,293 ± 0,4205	19,875
Redondez (-)	0,643 ± 0,0029	0,591 ± 0,0029	-0,052
Canal L* de color (-)	42,55 ± 0,3378	36,616 ± 0,3105	-5,934
Canal b* de color (-)	44,943 ± 0,3280	38,909 ± 0,3015	-6,034
<b>Variables cuantitativas de fruto</b>			
Longitud (mm)	30,404 ± 0,4665	52,423 ± 0,5387	21,983
Anchura (mm)	35,758 ± 0,5281	59,961 ± 0,6098	24,203
Anchura apertura ocular (mm)	3,639 ± 0,0767	6,550 ± 0,0866	2,911
Masa (g)	20,226 ± 1,9238	98,427 ± 2,2214	78,201
Longitud del pedúnculo (mm)	14,857 ± 0,3951	18,298 ± 0,4599	3,441
Longitud de la cavidad peduncular (mm)	5,923 ± 0,1947	11,828 ± 0,2255	5,905
Anchura de la cavidad peduncular (mm)	13,99 ± 0,2796	25,216 ± 0,3268	11,226
Longitud de la cavidad calicina (mm)	5,046 ± 0,1370	11,828 ± 0,2255	6,782
Anchura de la cavidad calicina (mm)	12,570 ± 0,2473	20,629 ± 0,2856	8,059
Compresión del fruto (-)	0,849 ± 0,0045	0,881 ± 0,0052	0,032

De las variables cuantitativas, cabe destacar las notables diferencias entre especies para los caracteres longitud de la lámina foliar, longitud total de la hoja, longitud y anchura del fruto, anchura de la apertura ocular, longitud y anchura de la cavidad peduncular, y longitud y anchura de la cavidad calicina.

Tabla 6: Valor mayoritario y proporción de las variables cualitativas significativas ( $P < 0,05$ ) entre *M. sylvestris* y *M. domestica*.

	<i>M. sylvestris</i>	<i>M. domestica</i>
<b>Variables cualitativas de hoja</b>		
Plegamiento	Torcida (38,78%)	Plegada (50,10%)
Color del peciolo	Púrpura (42,16%)	Púrpura (45,27%)
Borde de la hoja	Serrado-1 (37,42%)	Biserrado-1 (38,82%)
Asimetría de la base	Simétrica (76,46%)	Simétrica (86,93%)
Forma de la base	Cuneado-redondeada (37,96%)	Cuneado-redondeada (30,58%)
Forma del mucrón	Acuminado (48,95%)	Acuminado (48,40%)
Pubescencia	No pubescente (0) (46,12%)	Muy pubescente (9) (26,06%)
Estípulas	Rudimentarias (90,92%)	Rudimentarias (57,14%)
Forma	Lanceolada (57,30%)	Lanceolada (45,17%)
<b>Variables cualitativas de fruto</b>		
Ceras	Débil (70,42%)	Débil (50,00%)
Color de fondo	Verde (54,27%)	Amarillo (64,77%)
Color de chapa	Sin color (46,76%) Naranja (14,25%)	Sin color (53,37%) Amarillo (14,68%)
Distribución del color	Uniforme (48,23%) Difuminado (30,99%)	Uniforme (53,65%) Difuminado (35,11%)
Russet en la cavidad peduncular	Sí (60,20%)	No (65,82%)
Apertura de los sépalos	Parcialmente extendidos (65,21%)	Parcialmente extendidos (77,89%)
Forma en planta	Relativamente circular (44,14%)	Relativamente circular (33,93%)
Forma transversal	Globoso (32,99%)	Cónico truncado (19,43%)
Color de la carne	Amarillo (59,95%)	Amarillo (40,94%)
Cavidad calicina	Débil (33,50%)	Media (47,10%)
Lóculos	5 (99,75%)	5 (97,02%)
Apertura del corazón	Semiabierto (33,22%)	Cerrado (61,95%)
Número de semillas	1 (14,44%)	6 (16,67%)

En el caso de las variables cualitativas, cabe mencionar las notables diferencias en valores y proporciones para las variables de hoja: plegamiento, pubescencia (Figura 3), borde de la hoja, estípulas, y para las variables de fruto, color de fondo, color de la chapa, *russet* en la cavidad peduncular, cavidad calicina, forma transversal, apertura del corazón y número de semillas.

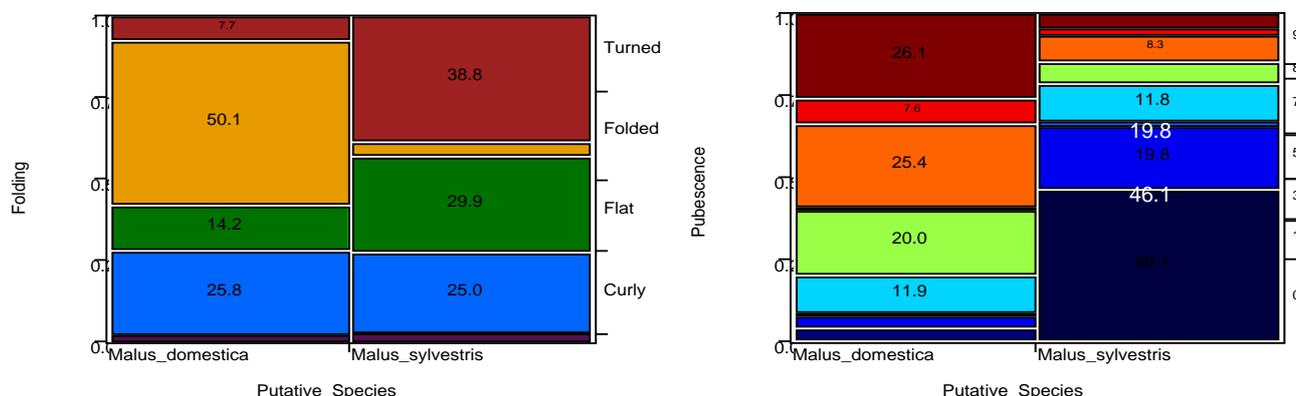


Figura 3: Ejemplo de dos variables cualitativas de hoja significativas entre especies: Plegamiento de la hoja en función de la especie (izquierda) y pubescencia en el envés de la hoja (derecha).

El gráfico de sedimentación de los valores propios asociados a cada vector del análisis de componentes principales fue distinto entre especies. En el caso del manzano doméstico, con tres componentes principales se consigue explicar el 40,09% de la variabilidad, con el 5º componente el 49,65% y con 7 el 57,86%. Por el contrario, en el manzano silvestre, las tres primeras componentes acumulan sólo un 32,13%, hasta el 5º componente se alcanza el 45,81% de dicha variabilidad y hay que llegar hasta el octavo componente para acumular el 57,25%.

Dentro de la matriz de vectores propios la importancia de las variables de fruto en número es ligeramente superior a la de hoja, si bien los pesos de estos los valores, excepto en algunos casos, no llegan al 30%. El reparto de las variables en función del órgano es más o menos equilibrado, a excepción de los dos primeros componentes, donde dominan ampliamente las variables de fruto en el primero y las variables de hoja en el segundo. Las variables más repetidas son la longitud y anchura de la hoja, longitud y anchura del fruto, masa del fruto y las variables de longitud y anchura de las cavidades calicina y peduncular. Entre especies cabe destacar que se comparten variables significativas vistas hasta ahora, y que caen casi todas dentro de los primeros componentes (Tabla 6). Estas variables son: longitud del peciolo de la hoja, longitud total de la hoja, longitud, anchura y masa del fruto, color de la chapa y distribución del color de la chapa del fruto. Entre componentes de una misma especie, destacar que los canales L y b de color repiten presencia en el componente 3 y 4 del manzano silvestre.

Tabla 7. Variables y pesos relativos de los cuatro primeros componentes principales de *M. sylvestris* y *M. domestica*. En verde, variable de hoja; en naranja, variable de fruto. Con asterisco, variable que se repite entre especies.

Componente principal 1		Componente principal 2		Componente principal 3		Componente principal 4	
<i>Malus domestica</i>							
Anchura del fruto*	0,251	Lon. del peciolo*	-0,337	Distribución color*	0,330	Color de fondo	0,316
Longitud del fruto*	0,249	Redondez de la hoja	0,303	Color de la chapa*	0,330	Lon. del mucrón	0,313
Lon. cavidad peduncular	0,246	Lon. total de la hoja*	-0,289	Color del peciolo	0,299	Color de la carne	0,287
Masa del fruto*	0,243	Estípulas	0,270	Número de semillas	0,286	Tipo de mucrón	0,272
<i>Malus sylvestris</i>							
Masa del fruto*	0,320	Lon. total de la hoja*	0,354	Longitud/anchura fruto	0,295	Canal b de color	0,400
Longitud del fruto*	0,320	Lon. lámina foliar	0,319	Canal L de color	0,282	Canal L de color	0,398
Anchura del fruto*	0,310	Lon. máx. anchura	0,317	Forma del fruto	0,269	Distr. color*	0,300
Anchura cav. peduncular	0,296	Longitud del peciolo*	0,302	Canal b de color	0,268	Color de la chapa*	-0,293

En el análisis de agrupamientos se encontraron 4 grupos. El Grupo 1, primero en separarse, responde básicamente al manzano comercial presente en el Banco de Germoplasma, algunos manzanos en campo catalogados como manzano doméstico y a un manzano marcado en campo como silvestre procedente de Montejo de la Sierra. El grupo 2 es el más grande y está integrado únicamente por manzanos silvestres de todas las zonas de estudio. El grupo 3 es un grupo muy restringido de dos manzanos marcados como domésticos en campo de la zona de Horcajuelo de la Sierra y proviene directamente de una rama del grupo 2. El grupo 4, más alejado de los dos anteriores, corresponde a una mezcla intercalada de manzanos silvestres y domésticos de lugares muy diversos. Este grupo 4 es el que presenta una estructura más anidada frente al resto. Estos cuatro grupos quedan reunidos en dos supergrupos, siendo el segundo supergrupo el conjunto de los grupos 2, 3 y 4. El segundo supergrupo, que incluye los otros tres grupos, contiene los manzanos considerados silvestres del grupo 2 y los materiales del grupo 3 y 4.

En relación a los manzanos obtenidos en prospección, la tendencia de las poblaciones bien representadas de Garganta de los Montes, Horcajuelo de la Sierra, La Hiruela, Montejo de la Sierra, Villavieja de Lozoya es de repartirse a lo largo del dendrograma, si bien con sesgos: los árboles de La Hiruela tienden hacia la derecha, los de Montejo hacia la izquierda y los de Horcajuelo en las esquinas, entre los árboles de manzano doméstico. Descendiendo hacia *clusters* de menor tamaño, no se observan nuevas similitudes claras, pero sí que los manzanos comerciales con origen varietal común forman grupos de similitud elevada (las variedades de reineta, 'Fuji', 'Gala' y 'Golden').

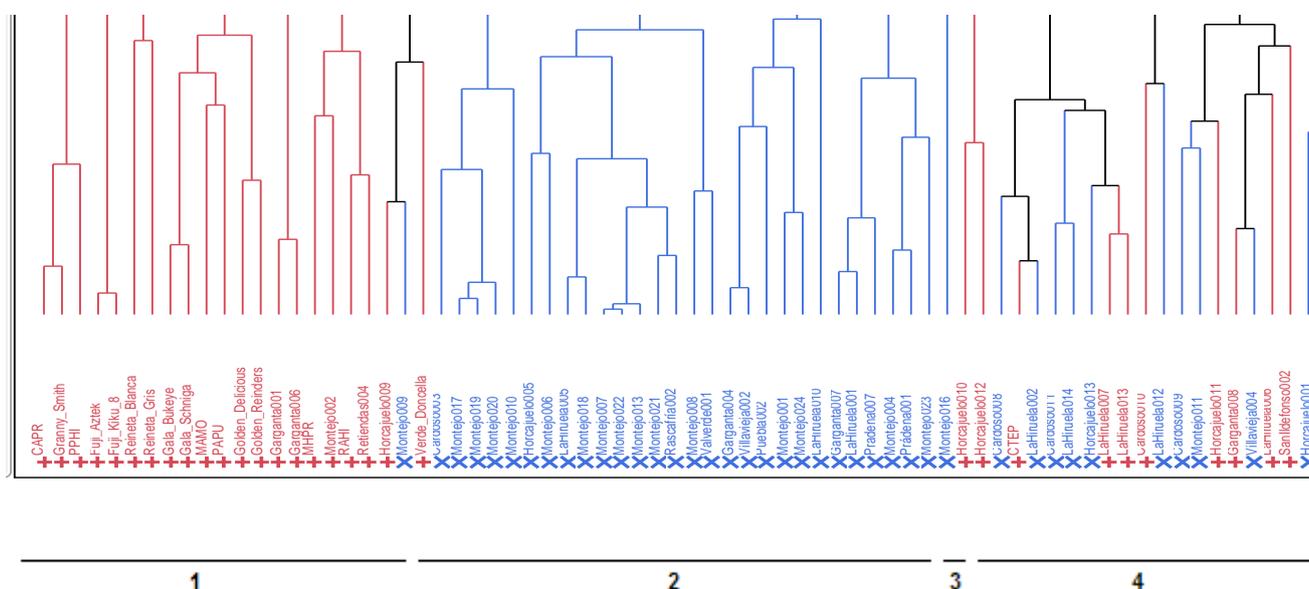


Figura 3. Dendrograma de manzano silvestre (azul) y manzano doméstico (rojo) obtenido a partir de 48 variables morfológicas, usando el método de agrupamiento de Ward.

La representación de estos grupos sobre un mapa de la zona no permite observar las asociaciones generadas por el análisis de agrupamientos de manera intuitiva, a excepción de la zona de La Hiruela, Montejo de la Sierra y Prádena del Rincón, donde sí aparece cierta segregación entre los árboles del *cluster* 2 y 3.

Con las variables significativas que separan entre especies obtenidas en el análisis exploratorio se realizó un análisis discriminante en el cual se observó un satisfactorio ajuste para el discriminante de las variables de hoja y un muy buen ajuste para el de las variables de hoja y fruto (Figura 4). Los rayos (no mostrados) de éste último discriminante se distribuyeron casi todos en el primer y cuarto cuadrante, siendo en este caso las variables de hojas las que más sobresalieron: longitud total, ancho, longitud de la lámina foliar, longitud de máxima anchura y longitud del peciolo. Las mejores variables de fruto en discriminar entre especies fueron la anchura de la cavidad peduncular, el ancho del fruto, la longitud del fruto, la longitud de la cavidad calicina y la forma

transversal del fruto.

Mientras que en el discriminante de las variables de hoja, de 207 árboles, sólo fueron predichos incorrectamente 22, en el de las variables de hoja y fruto de los 72 árboles sólo en tres no coincidió la especie original con la predicha, quedando (si bien tímidamente) desplazados hacia la región de la otra especie. Los dos *M. domestica* fueron LaHiruela007 y LaHiruela013 del grupo 4 y el *M. sylvestris* Montejo009 del grupo 1.

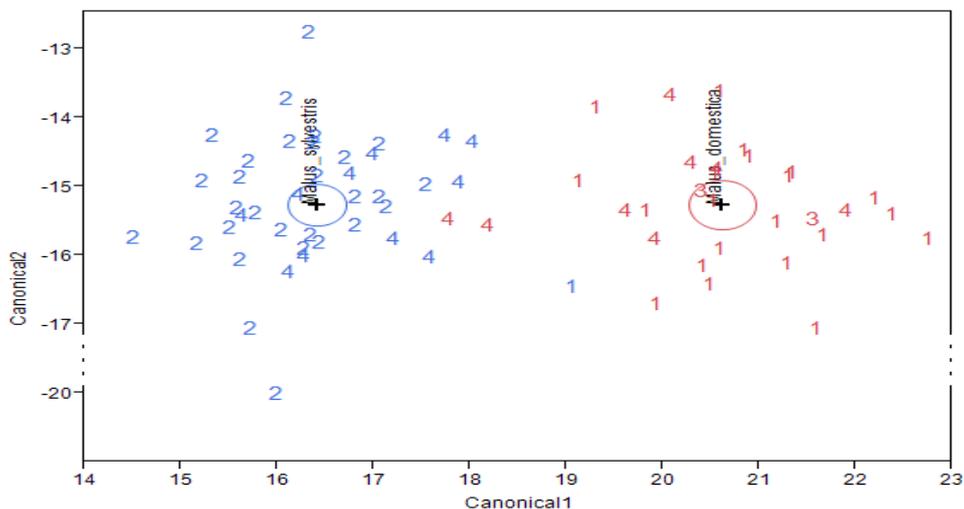


Figura 4. Discriminante con las variables de hoja y fruto seleccionadas. Los números responden al grupo del dendrograma.

## 5. Discusión

Los árboles de *M. sylvestris* hallados en las localidades estudiadas se diferencian bien de los *M. domestica*, tanto de los asilvestrados como de los cultivados en el banco de germoplasma, igual que en el caso de Reim et al. (2012). Por tanto, las descripciones morfológicas existentes son útiles para distinguir entre especies, tal y como sucede en Forte et al. (2002), dentro del propio *M. sylvestris* (Reim et al. 2012) y de *M. orientalis* (Höfer et al. 2013). Los resultados obtenidos son satisfactorios aún a falta de los descriptores de flor en la caracterización, que también suelen dar información significativa (Reim et al., 2012).

La separación entre especies es compatible con que exista una importante variabilidad morfológica (Höfer et al., 2013). Entre especies, en *M. sylvestris*, la variabilidad fenotípica resultó superior.

Las correlaciones significativas entre variables para una misma especie han sido, en proporción y en tipo de descriptores, en general bastante bajas y similares entre varios estudios (Reim et al. 2012; Höfer et al. 2013) a pesar de la dispersión entre los descriptores utilizados por cada autor: el fruto como órgano y la pubescencia de la hoja son los caracteres que más información proporcionan y los que más quedan representados en los primeros autovectores dentro del análisis de componentes principales.

En el caso de la hoja, y siguiendo a Reim et al. (2012), las proporciones de pubescencia en el reverso marcan que los *M. sylvestris* de la Sierra de Guadarrama y Ayllón son ligeramente más pubescentes, pero quedando en valores que raramente llegan a valores típicos del manzano doméstico, mientras que en Reim et al (2012). si bien hay más árboles glabros, las proporciones no descienden tan drásticamente y por tanto se encontrarían más manzanos muy pubescentes. Estos resultados se tienen que tomar con cautela porque tal y como indican, la hoja juvenil del manzano silvestre es muy flocosa. Ninguno de los trabajos repasados caracterizó las estípulas, que también

resultaron significativas para diferenciar entre especies y presentaron una correlación significativa con algunas características de fruto. Tampoco aparecen referencias en cuanto al plegamiento de la hoja, característica que también contribuyó a la diferenciación entre especies.

El tamaño y el peso del fruto, la longitud de la hoja y la presencia de vello en el reverso de la hoja han resultado ser los más significativos a la hora de diferenciar entre especies. Estos valores coinciden con los descritos por Aedo et al. (1998) en Flora ibérica con excepciones. En el caso de la longitud de hoja, donde a *M. sylvestris* para ese carácter se le da un valor de entre 2,5 y 5 cm. mientras que el encontrado en el área de estudio y en otros lugares (Höfer et al. 2013) es bastante superior, en torno a los 7 cm. En el caso del fruto, las longitudes y anchura de *M. sylvestris* también aparecen ligeramente subestimadas.

En el área de estudio la forma del fruto también ha permitido diferenciar significativamente entre especies, a diferencia de en Reim et al. (2012). Los frutos planos, globosos y oblongos están más relacionados con *M. sylvestris* y los frutos con una tendencia hacia la conicidad con *M. domestica*. Esta gran variabilidad en cuanto a la forma del fruto también queda repartida en sus diferentes categorías entre especies y si se compara con otra especie cercana, en *M. orientalis* (Höfer et al. 2013) también son las formas globosa y globosa plana las que predominan en una amplia mayoría. En Forte et al. (2002), donde se realizó un estudio entre diversas especies, las formas típicas del manzano silvestre europeo son predominantes y se han caracterizado discretamente formas como la plana, cónica y cónica estrecha. En ningún trabajo se han descrito manzanas esféricas, asimétricas o con presencia de ombligo en el pedúnculo; si bien éste se encuentra descrito en Aedo et al. (1998) como característica del género.

Dentro del fruto también destaca el número de semillas. En Höfer et al. (2013) y Reim et al. (2012) el número de semillas ha sido muy superior a lo obtenido. Esto es posible debido a que *M. sylvestris* se encuentra muy disperso en la Sierra de Guadarrama y que por tanto podría tener alguna barrera reproductiva, tal y como ocurre en otras especies autoincompatibles de la misma familia (Kamm et al. 2011).

En este trabajo, el dendrograma es similar al obtenido por Reim et al. (2012) y Höfer et al. (2013). Mientras que en Reim et al. (2012) ambas especies quedan en dos *clusters* consecutivos, en Höfer et al. (2014) y en el dendrograma obtenido para la Sierra de Guadarrama y de Ayllón los individuos quedan separados por árboles intermedios (aquí corresponde con los grupos 3 y 4). Sin embargo, a pesar de mezclarse los manzanos de una especie y otra dentro del grupo 4, en el discriminante los árboles sí se agrupan en torno a la especie predicha, excepto los dos *M. domestica*, predichos como *M. sylvestris* que serían los manzanos con mayor probabilidad de ser híbridos o presentar una expresión de caracteres que los coloca fenotípicamente más cerca de los *M. sylvestris*.

Por último, los caracteres que más interesantes resultaron en campo para discriminar entre especies, son los tamaños de hoja y fruto (de menos *-sylvestris-* a más *-domestica-*). Estípulas y pubescencia presentaron una interacción positiva y significativa: a medida que aumentaba el valor de estas variables morfológicas, también aumentaba, de manera no lineal, el de la variable de presencia de pubescencia en el envés de la hoja; sugiriendo que existen individuos de sendas especies que comparten valores de algunos caracteres que se presumen restringidos. Con estudios a nivel molecular en el cual se dilucida la estructura de las poblaciones se podrá ver si ha habido flujo entre ambas especies, tal y como se discute en Harrison y Harrison (2011) o si se trata de variaciones propias de la especie. En este estudio, con los datos morfológicos no ha sido posible encontrar una estructura clara de poblaciones, pues los cuatro *clusters* del dendrograma quedaban geográficamente confundidos. Como la resolución del estudio es muy fina, sería necesario seguir localizando individuos y realizar los estudios de ADN correspondientes.

## 6. Conclusiones

De este primer año de prospección y caracterización morfológica se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. Existe una sobresaliente variabilidad morfológica dentro y entre las especies *M. sylvestris* y *M. domestica* en el Sistema Central de la Península Ibérica.
2. Los caracteres de hoja y fruto son útiles para determinar en campo la pertenencia del individuo a una especie u otra.
3. Existen en campo árboles que presentan valores intermedios entre una especie y otra, sin poder llegar a concluirse que se trata de árboles o poblaciones híbridas.

## 7. Agradecimientos

Este estudio se está llevando a cabo bajo el proyecto de investigación “FP16-ETNOB. Prospección, caracterización, documentación etnobotánica y conservación de variedades hortofrutícolas tradicionales de la Comunidad de Madrid” financiado por el IMIDRA y en el marco de un contrato predoctoral en agroalimentación en centros públicos de Investigación Agraria y Alimentaria (FPI-INIA 2015). Agradecemos a Mario Vega, Rubén Bernal, Diego Galán e Isidoro Colmenero, entre otros, por su ayuda a la hora de localizar árboles en campo.

## 8. Referencias bibliográficas

ACEITUNO, L. 2010. Estudio Etnobotánico y Agroecológico de la Sierra Norte de Madrid. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 598 páginas. Madrid, España.

AEDO, C.; MUÑOZ, F.; NAVARRO, C. 1998. *Malus* Mill. En: ANDRÉS, C.; QUINTANAR, A.; TALAVERA, S. E. (eds.) Flora iberica, plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares Volumen 6. Páginas 438-441. Real Jardín Botánico-CSIC. Madrid, España.

ALÍA, R.; GARCÍA DEL BARRIO, J.; IGLESIAS, S.; MANCHA, J.; DE MIGUEL, J.; NICOLÁS, J. Y OTROS. 2009. Regiones de procedencia de especies forestales en España. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Madrid, España.

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE DE MADRID. 2013. Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Flora y Fauna Silvestres, y de Árboles Singulares de la Comunidad de Madrid. Consejería de Medio Ambiente de Madrid y ordenación del Territorio. 491 páginas. Madrid. España.

CORNILLE, A.; GLADIEUX, P.; SMULDERS, M; ROLDÁN-RUIZ, I.; LAURENS, F.; LE CAM, B. Y OTROS. 2012. New Insight into the History of Domesticated Apple: Secondary Contribution of the European Wild Apple to the Genome of Cultivated Varieties. *Plos One Genetics*. 1-13.

FORTE, A.; IGNATOV, A.; PONOMARENKO, V.; DOROKHOV, D.; SAVELYEV, N. 2002. Phylogeny of the *Malus* (Apple Tree) Species, inferred from the morphological traits and molecular DNA analysis. *Russ. J. Genet*. 1357-1369.

GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY (GBIF). 2016. *Malus sylvestris* Mill. 15 de julio de 2016. Disponible en: <http://www.gbif.org/species/3001509>.

HARRISON, N., HARRISON, R. (2011). On the evolutionary history of the domesticated apple. *Nature Genetics* 43, 1043-1044.

HÖFER, M.; FLACHOWSKY, H.; HANKE, M.-V.; SEMĚNOV, V.; SLĀVAS, A.; BANDURKO, I.; SOROKIN, A.; ALEXANIAN, S. 2013. Assessment of phenotypic variation of *Malus orientalis* in the North Caucasus region. *Genet Resour Evol* 60, 1463-1477.

HÖFER, M.; ALI, M.; ELDIN, S.; SELLMANN, J.; PEIL, A. 2014. Phenotypic evaluation and characterization of a collection of *Malus* species. *Genet Resour Crop Evol* 61: 943.

IPGRI. 1982. Descriptor list for apple (*Malus*). Bruselas: International Board for Plant Genetic Resources. Brussels, Belgium.

KAMM, U.; GUGERLI, F.; ROTACH, P.; EDWARDS, P.; HOLDEREGGER, R. 2011. Genetic consequences of low local tree densities – Implications for the management of naturally rare, insect pollinated species in temperate forests. *Forest Ecol. Manag.* 262. 1047–1053.

R CORE TEAM. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Disponible en: <http://R-project.org/>.

RASBAND, W. 2016. ImageJ. U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA.

REIM, S.; PROFT, A.; HEINZ, S.; HÖFER, M. 2012. Diversity of the European indigenous wild apple *Malus sylvestris* (L.) Mill. in the East Ore Mountains (Osterzgebirge), Germany: I. Morphological characterization. *Genet Resour Crop Evol* 59, 1101-1114.

RIVERA, D.; OBÓN DE CASTRO, C.; RÍOS, S.; SELMA, C.; MÉNDEZ, F.; VERDE, A.; CANO, F. 1996. Las variedades tradicionales de frutales de la Cuenca del Río Segura. Catálogo Etnobotánico (1). Frutos secos, oleaginosos, frutales de hueso, almendros y frutales de pepita. Universidad de Murcia. 360 páginas. Murcia, España.

SAS INSTITUTE. 2011. JMP9. Cary, NC.

UPOV. 2005. Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. Union for the Protection of New Varieties of Plants. Geneva, Switzerland.

THE PLANT LIST. VERSION 1.1. *Malus*. 2013. Obtenido de: [www.theplantlist.org/tpl1.1/search?q=malus](http://www.theplantlist.org/tpl1.1/search?q=malus) [Accedido el 4 de diciembre de 2016].

URBINA, V.; DALMASES, J. 2014. Guía de caracterización de las accesiones de manzano. Departament de Hortofruticultura, Botànica i Jardineria. Universitat de Lleida. Lleida, España.