

Morphological characters and identification of sub-phases during imbibition in seeds of stock (*Matthiola incana*)

Caracteres morfológicos e identificación de subfases durante la imbibición en semillas de alhelí (*Matthiola incana*)

Pérez-Jiménez, Genaro^{1*}; García-de los Santos, Gabino¹; Fuentes-Escobar, Giovanna I.²; González-Rosas, Héctor²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental San Martinito, Santa Rita Tlahuapan, Carretera Federal México-Puebla Km 56.5, CP 74100. ²Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera Mexico-Texcoco km 36.5, Texcoco, Estado de México. CP 56230

*Autor para correspondencia: perez.genaro@inifap.gob.mx

ABSTRACT

Objective: To describe morphologic traits and imbibition stages in seeds from three accessions of *Matthiola incana*.

Design/methodology/approximation: Seeds were analysed from Nieve, Rosita and Uva genotypes, which correspond to *Matthiola incana*. In the first assessment, weight and colour was determined in a thousand seeds. The area, perimeter, length (major axis), width, centric angle, elongation (length/width) and round degree were obtained by means of processing digital images. Analysis of variance was performed to the data followed by a multiple comparison of means by the Tukey procedure. For the imbibition test, fifty seeds of each genotype were immersed in water and evaluated every 24, 48, 72 and 164 h in order to know the absorption dynamic and determine the time of the imbibition sub and phases.

Results: Physical description in Nieve seeds show a moderate orange colour and thousand seeds weight 0.218 g; Rosita seeds have a moderate orange yellowish colour and thousand seeds weight 0.1902 g; Uva seeds show a colour from greyish to dark brown with a weight of 0.1272 in thousand seeds. Nieve seeds show greater morphologic dimensions than Rosita and Uva seeds, but the three genotypes show a similar trait in the form type. During the imbibition test of each genotype follow a progressive rate until stage three, where the imbibition behaviour is synchronised with the radical protrude emergency to 164 h after the test was initiated.

Study limitations/implications: Seeds show a different size, therefore great samples are difficult to handle at the imbibition moment.

Findings/conclusions: It is determined from the three accessions that seeds from *Matthiola incana* have greater morphologic traits than other species from the same genus. Two phases were identified during the phase two, the first one was known as the moment of solute explosion and the second one was known as the recovery of lost solutes.

Key words: germination, ornamental, crops.

RESUMEN

Objetivo: Describir los atributos morfológicos y etapas de imbibición en semillas de tres accesiones de *Matthiola incana*.

Diseño/metodología/aproximación: Fueron analizadas semillas de los genotipos Nieve, Rosita y Uva

Agroproductividad: Vol. 13, Núm. 4, abril. 2020. pp: 47-52.

Recibido: octubre, 2019. **Aceptado:** marzo, 2020.



correspondientes a *Matthiola incana*. En una primera evaluación se calculó el peso de mil semillas y determino el color de las mismas. A través del procesamiento de imágenes digitales se determinó el área, perímetro, longitud (eje mayor), ancho, ángulo, elongación (longitud/ancho) y el grado de redondez; datos que fueron analizados en una prueba de comparación de medias por Tukey. En la imbibición se colocaron en remojo muestras de cincuenta semillas de cada genotipo y fueron evaluadas cada 24, 48, 72 y 164 h para conocer su dinámica de absorción y poder determinar el tiempo en que transcurren las sub y fases de imbibición.

Resultados: La descripción física en semillas de Nieve muestra que son de color naranja moderado y el peso de mil semillas es de 0.218 g; en Rosita la semilla es de color amarillo anaranjado moderado y mil semillas pesan 0.1902; el color en semillas de Uva es grisáceo a café oscuro con un peso de 0.1272 g a mil semillas. En las dimensiones morfológicas Nieve muestra mayores dimensiones respecto a Rosita y Uva; pero entre los tres genotipos muestran semejanzas en el tipo de forma. Durante la prueba de imbibición cada genotipo sigue su ritmo hasta la fase tres, donde el comportamiento se sincroniza en la visión de la protuberancia radicular a las 164 h de iniciada la prueba.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Las semillas muestran diferente tamaño, por lo cual manipular muestras grandes se complica al momento de la imbibición.

Hallazgos/conclusiones: De las tres accesiones se determina que semillas correspondientes a la especie evaluada, son de mayores atributos morfológicos que otras del mismo género. En la fase dos, se identificaron dos subfases, la primera reconocida como el momento de expulsión de solutos y la segunda como recuperación a los solutos perdidos.

Palabras clave: germinación, ornamental, cultivos.

res de mayor importancia a nivel nacional e internacional (SIAP, 2018). En la actualidad, no se ha reportado información sobre características morfológicas en semillas del género *incana*, y en el limitado acervo publicado solo describen especies como *longipetal*, *anchoniifolia* (Tekin et al., 2013), *longipetala* spp. *bicornis*, *longipetala* spp. *hitra* (Tantawy et al., 2004), *arabica*, *fruticulosa*, *longipetala* spp. *Kralikii*, *longipetala* spp. *livida*, *longipetala* spp. *longipetala*, *parviflora* (Khalik et al., 2002). La germinación es un proceso complejo que inicia con la imbibición (Ma et al., 2017), tema que ha sido poco frecuentado en el estudio de semillas. La imbibición se compone de tres fases; la primera inicia cuando ocurre el primer contacto de la semilla con el agua y empieza un rápido consumo del líquido; en la segunda fase, la absorción deja de ser rápida y el consumo se mantiene estable y constante; de la tercera fase se reconoce al momento que emerge la protuberancia de la radícula, y es entonces que la imbibición termina e inicia la germinación (Bradford, 1990; Schneider y Renault, 1997). En brasicáceas como canola (*Brassica napus*) (Zhang et al., 2008), *Arabidopsis* (*Arabidopsis thaliana*) (Yamauchi et al., 2004), y rábano (*Raphanus sativus*) (Booth y Bai, 1999) se ha descrito este proceso, pero en *Matthiola* aún se desconoce el tiempo de consumo y estaciones de la imbibición. De lo anterior, el objetivo del presente estudio fue describir los atributos morfológicos y obtener información sobre la etapa de imbibición en tres genotipos de la *Matthiola incana*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron semillas de las accesiones: Nieve, Rosita y Uva del ciclo de recolecta otoño-invierno 2018. El

INTRODUCCIÓN

Las características de las semillas se relacionan con el grado de domesticación que han sufrido por selección, natural, ambiental e inducida (Smýkal et al., 2018), siendo los caracteres de mayor interés el tamaño, peso (Souza y Fagundes, 2014), color y la forma (Bassiri y Kheradnam, 1976). La caracterización física constituye una labor importante en el estudio de la calidad de semillas. Factores como el tamaño pequeño y alta similitud morfológica a simple vista entre muestras, son algunos obstáculos que impiden hacer una medición precisa de semillas (García y Estrada, 1999). En la actualidad, diversos estudios se han apoyado en el procesamiento de imágenes digitales en software especializados (Jamil et al., 2017; Saucedo et al., 2017), técnica que ofrece ventajas como el mínimo tiempo y personal de trabajo, con la capacidad para procesar grandes volúmenes (Sandeep y Durga, 2013) con alta precisión en múltiples variables (García y Estrada, 1999).

Matthiola incana (Brassicaceae) es una especie comúnmente utilizada como flor de corte (Denis et al., 2012) (Figura 1). Se posiciona dentro de las diez flo-



Figura 1. Flores de alhelí (*Matthiola incana*).

experimento se realizó en el Laboratorio de Embriogénesis del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo (19° 27' 46" N y 98° 54' 17" O) (Colpos) Estado de México. Las variables evaluadas en los tres genotipos fueron:

Determinación de color: Tres repeticiones de muestras de mil semillas fueron puestas en contraste a las cartas de la *Royal Horticultural Society* (RHS) (2018), se buscó la carta que mejor similitud mostraba a las muestras y se anotó el color.

Peso de mil semillas: Se formaron ocho repeticiones de cien semillas; se calculó el peso por repetición en una balanza digital (ADAM PW 254, Capacidad de 200 g y precisión de 0.0001 g). Los valores obtenidos se adaptaron a mil semillas como lo establece la International Seed Testing Association (2010).

Procesamiento de imágenes: En la pantalla del escáner EPSON STYLUS CX5600[®], se capturaron imágenes a color (Color 24 bits, 400 ppp) de diez muestras de cien semillas, mismas que fueron procesadas con el software *ImageJ* donde se calculó el área, perímetro, longitud (eje mayor), ancho, ángulo, elongación (longitud/ancho) y el grado de redondez de las semillas (Zayas et al., 1985). Se

realizó un análisis de varianza y cuando se observaron diferencias entre muestras de utilizó la prueba de comparación de medias por Tukey ($\alpha=0.05$).

Absorción de agua

Se formaron cuatro muestras de cincuenta semillas, de las que se obtuvo el peso en seco, para después ser depositadas en mini charolas de plástico con un volumen de 3 mL de agua destilada. Después de una hora se extrajeron las semillas, se secaron con papel (Sanitas[®]) y se tomó lectura de la ganancia en peso (g). En cada medición se incorporaba el volumen inicial de agua destilada (3 mL). El procedimiento se repitió de manera continua por 8 h; y después la lectura fue cada 24, 48, 72 y 164 h. El experimento se mantuvo a una temperatura de 24 °C±2 con fotoperiodo constante de 24 h. Para calcular el volumen de agua consumida (VAC) se modificó la fórmula propuesta List (2014), quedando de la siguiente manera:

$$VAC(mL) = \frac{a(g) - b(g)}{c(g\ mL^{-1})}$$

Donde: volumen de agua consumida (VAC), se obtiene por la diferencia del peso de la muestra sometida a

imbibición (a), menos el peso inicial de las semillas en seco (b); entre la densidad del agua a temperatura que se maneja el experimento (c). Por cada genotipo se graficó la curva de imbibición.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultado de la comparación a contraste de las muestras de semilla en las cartas de *RHS* (2018) se muestra que Uva es de una pigmentación más oscura, Nieve de color claro y Rosita de intensidad tenue en su testa (Cuadro 1). En el peso de mil semillas para los tres genotipos, se obtuvo que Nieve (0.2186 g) fue más pesada que Rosita (0.1902 g) y Uva (0.1272 g). De lo anterior Duarte *et al.* (2017), mencionan que el peso de una semilla se correlaciona directamente al contenido de reservas que contiene, característica que se mantiene en influencia el origen e interacción con agentes bióticos y abióticos (Raya *et al.*, 2012).

Del análisis de varianza de las características morfológicas de las semillas analizadas por procesamiento de imágenes se obtuvieron diferencias significativas en área, perímetro, largo, ancho y forma. De la comparación múltiple de medias se muestra que semillas de Nieve son grandes (5.28 mm) de perímetro extenso (9 mm) en contraste a las de Rosita y Uva (Cuadro 2). Los valores obtenidos en largo y ancho en muestras de Rosita y Uva describen a las semillas de forma orbicular; misma forma presente en la especie *longipetala* spp. *hirta*, pero diferente *arabica*, *fruticulosa*, *parviflora* y sub especies *bicoloris*, *kralikii*, *lívida*, *longipetala*, que son de forma oblonga (Khalik y Van der Maesen, 2002).

Los resultados muestran que Nieve, Rosita y Uva en contraste a lo reportado para las especies *arabica*, *fruticulosa*,

Cuadro 1. Color, forma, peso de mil semillas y diferencia al peso más grande de semillas de los genotipos Nieve, Rosita y Uva.

Genotipo	Imagen	Color	Forma	*PMS (g)	†DVA (mg)
Nieve		Naranja moderado	Orbicular	0.2186	-----
Rosita		Amarillo anaranjado moderado	Orbicular	0.1902	-284
Uva		Grisáceo café obscuro	Orbicular	0.1272	-914

*PMS: Peso de mil semillas; †DVA: Diferencia al valor más alto.

parviflora, y las subespecies *longipetala* (*bicoloris*, *hirta*, *kralikii*, *lívida*, *longipetala*) (Khalik y Van der Maesen, 2002; Tekin *et al.*, 2013), indican que semillas de *Matthiola incana* poseen mayor dimensión en sus caracteres morfológicos (Figura 1).

Dinámica de imbibición por consumo de agua

El consumo de agua por las semillas en las primeras 6 h fue rápido, correspondiendo este comportamiento a la fase I (Figura 2). Tiempo similar observaron algunos autores en semillas de trigo (*Triticum aestivum* L.) (Abenavoli *et al.*, 2006) y maíz (*Zea mays* L.) (Yu-qin y Song-quan, 2008), pero diferente por una hora más a semillas de canola (*B. napus*) (Zhang *et al.*, 2008). Robert *et al.* (2008) menciona que el rápido consumo de agua se atribuye a una diferencia de presiones del potencial osmótico de la semilla con el agua, afectando directamente el tamaño y forma de la semilla.

La dinámica de absorción después de seis horas no aumento y el peso de las semillas disminuyo en los tres genotipos, esto por fuga de solutos. La curva para Nieve y

Cuadro 2. Comparación múltiple de medias en atributos morfológicos de tres genotipos de alhelí (*Matthiola incana*).

Genotipo	Características morfológicas									
	Área (mm ²)		Perímetro (mm)		Largo (mm)		Ancho (mm)		Forma	
	\bar{x}	C.V.	\bar{x}	C.V.	\bar{x}	C.V.	\bar{x}	C.V.	\bar{x}	C.V.
Nieve	5.29 a	31.08	9.00 a	15.74	2.88 a	15.81	2.29 a	17.02	0.80 b	9.2
Uva	4.08 b	15.62	7.86 b	10.22	2.47 b	8.85	2.09 b	10.43	0.83 a	10.88
Rosita	3.16 c	60.08	6.32 c	51.38	1.99 c	51.16	1.61 c	51.47	0.79 b	11.56
DMS*	0.248		0.34		0.109		0.090		0.0143	

Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey<0.05); \bar{x} : Media; CV: Coeficiente de variación; Gen: Genotipo; DMS: Diferencia mínima significativa.

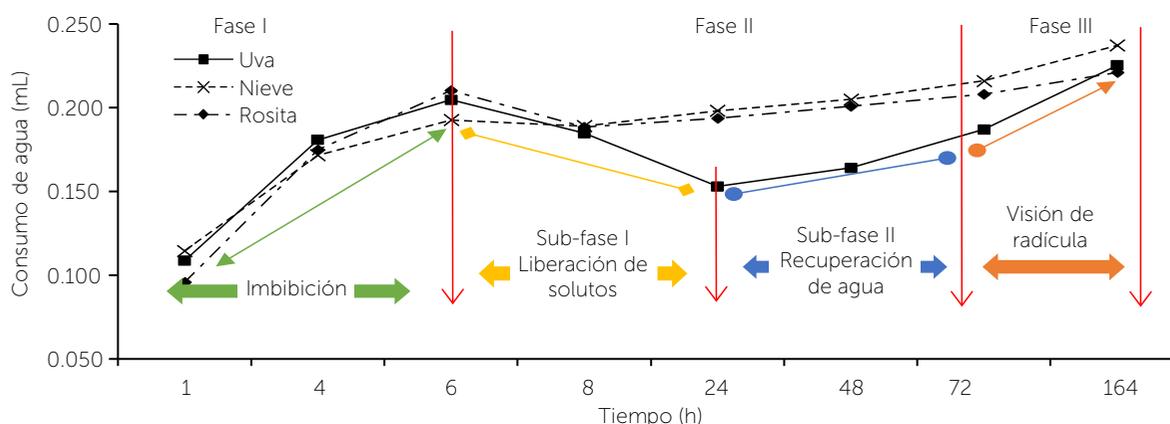


Figura 2. Dinámica de absorción de agua por fases de imbibición y división de propuesta de integración de dos subfases en fase II de los genotipos Rosita, Nieve y Uva de *Matthiola incana*.

Rosita mostró después de cuatro horas una reactivación al consumo. Mientras que en Uva el comportamiento se mantuvo por 18 h, tiempo en que perdió 0.030 mL. Durante la imbibición, el fenómeno de expulsión de solutos también ha sido descrita en semillas de rábano (*B. rapifolius*) por Murphy y Noland (1982). Tal comportamiento se relaciona con el color de la semilla, ya que semillas de testa oscura liberan taninos y compuestos oxidativos que afectan la germinación (Rahman y McVetty, 2011; Gairola et al., 2018). De lo anterior, Bradford (1990) menciona que semillas de testa clara son más rápidas en imbibición, tal como se observa en el comportamiento de Rosita y Nieve en comparación a Uva. Superada la liberación de solutos por las semillas, se reinicia el consumo de agua de forma estable. Hecho que sugiere dos eventos como subfases de la fase II, donde la primera corresponde a la expulsión de solutos con una duración de dos horas para Nieve y Rosita, y dieciocho para Uva. La segunda, subfase surge como respuesta a una reactivación al consumo estable de agua en los tres genotipos. El tiempo observado en la fase I y II, concuerda con lo reportado por Bewley (1997) y Cláudio et al. (2011) quienes mencionan que en la imbibición, la fase dos se mantiene diez veces más en tiempo que la fase I. La fase tres o pre-germinación en Nieve, Rosita y Uva se observó a las 164 h con la visión de la protuberancia de la radícula en las semillas. Es entonces que la etapa de imbibición se da por concluida e inicia el desarrollo de la plántula.

CONCLUSIÓN

Los caracteres morfológicos de los genotipos Nieve, Rosita y Uva mostraron diferencias en peso de mil semillas, área, perímetro y color, pero semejantes en forma (orbicular). El periodo de imbibición tarda 162 h para los tres genotipos. Se identifica-

ron dos subfases en la fase dos, reconociendo a la primera como de expulsión de solutos y la segunda como de reactivación del consumo de agua. El tiempo en que cada fase se completa fue diferente para cada genotipo.

LITERATURA CITADA

- Abenavoli, M. R., Cacco, G., Sorgonà, A., Marabottini, R., Paolacci, A. R., Ciaffi, M. and Badiani, M. (2006). The inhibitory effects of coumarin on the germination of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum* cv. Simeto) seeds. *J. of Chemical Ecology*. 32: 489–506. <https://doi.org/10.1007/s10886-005-9011-x>
- Bassiri, A. and Kheradnam, M. 1976. Relationships between seed color and viability, germination and seedling growth of wild safflower ecotypes. *Can. J. Plant Sci.* 59: 911–917.
- Bewley, J. D. 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*. 9: 1055–1066.
- Booth, D. T. and Bai, Y. 1999. Imbibition temperature affects on seedling vigor: In crops and shrubs. *J. of Range Management*. <https://doi.org/10.2307/4003783>
- Bradford, K. J. 1990. A water relations analysis of seed germination rates. *Plant Physiol.* 94: 840–849. <https://doi.org/10.1104/pp.94.2.840>
- Cláudio, A. D., Oliveira, O. A., Amaral, E. A. da S. and Davide, A. C. 2011. Improvement to the physical quality and imbibition pattern in seeds of candeia (*Eremanthus incanus* (Less) Less.). *Cerne*. 17: 321–326.
- Denis, R. P. B., Hermida, M. A. y Huesca, M. J. 2012. El altar de muertos: origen y significado en México. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana*. 35: 1–7.
- Duarte, E. R., Manguelón, V., Kupperts, G., Rocha, P. y Niella, F. 2017. Tamaño y viabilidad de semillas: implicancias en la evolución y conservación de *Phaius tankervilleae* (Orchidaceae). *Caldasia*, 39: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v39n2.62184>
- Gairola, S., Shabana, H. A., Mahmoud, T. and Santo, A. 2018. Effects of seed colour heterogeneity on germination behaviour of the desert plant *Lotononis platycarpa* (Fabaceae). *Nordic J. of Bot.* 36: <https://doi.org/10.1111/njb.01617>
- García, de los S. G. y Estrada, G. J. A. 1999. Caracterización de frijol de la variedad bayomex mediante descriptores agrónomos y análisis de imágenes de morfología de semillas. *Rev. Fitotecnia Mexicana*. 22: 63–74.

- International Seed Testing Association (ISTA). 2010. Reglas del ISTA. Septiembre de 2010. Publicado en línea en: http://www.analisisdesemillas.com.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=15&Itemid=31
- Jamil, M., Ali, A., Ghafoor, A., Akbar, K. F., Napar, A. A., Huma Naveed, N. and Mujeeb-Kazi, A. A. 2017. Digital image analysis of seed shape influenced by heat stress in diverse bread wheat germplasm. *Pak. J. Bot.* 49: 1279–1284.
- Khalik, K. A. and Van der Maesen, L. J. G. 2002. Seed morphology of some tribes of Brassicaceae (implications for taxonomy and species identification for the flora of Egypt). *Blumea: J. of Plant Taxonomy and Plant Geography.* 47: 363–383.
- List, M. H. 2014. Caracterización agronómica, nutricional y molecular de *Vicia faba* L. Montecillo, Texcoco. Edo de México: Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad - Genética.
- Long, R. L., Williams, K., Griffiths, E. M., Flematti, G. R., Merritt, D. J., Stevens, J. C. and Dixon, K. W. 2010. Prior hydration of *Brassica tournefortii* seeds reduces the stimulatory effect of karrikinolide on germination and increases seed sensitivity to abscisic acid. *Ann. of Bot.* 105: 1063–1070. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq061>
- Ma, Z., Bykova, N. V. and Igamberdiev, A. U. 2017. Cell signaling mechanisms and metabolic regulation of germination and dormancy in barley seeds. *Crop J.* 5: 459–477.
- Méndez, J. R. N., Merazo, J. F. P. y Montaño, N. J. M. 2008. Relación entre la tasa de imbibición y el porcentaje de germinación en semillas de maíz (*Zea mays* L.), caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) y quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Mill.). *Rev. Científica UDO Agrícola.* 8: 61–66.
- Murphy, J. B. and Noland, T. L. 1982. Temperature effects on seed imbibition and leakage mediated by viscosity and membranes. *Plant Physiol.* 69: 428–431.
- Mwami, B., Nguluu, S., Kimiti, J. M. and Kimatu, J. N. 2017. Effects of water imbibition of selected bean varieties on germination effects of water imbibition of selected bean varieties on germination. *Int. J. of Agri. Research and Review.* Vol.5(1):pp 579 – 587.
- Nakayama, N. y Komatsu, S. 2008. Water uptake by seeds in yellow-seeded Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars with contrasting imbibition behaviors. *Plant Prod. Sci.* 11: 415–422. <https://doi.org/10.1626/pps.11.415>
- Rahman, M. and McVetty, P. 2011. A review of *Brassica* seed color. *Canadian J. of Plant Sci.* 91: 437–446. <https://doi.org/10.4141/cjps10124>
- Raya, P. J. C., Aguirre, M. C. L., Medina, O. J. G., Ramírez, P. J. G., Andrio, E. E., Castellanos, S. A. y Covarrubias, P. J. 2012. Calidad física y fisiológica de semilla en función de la densidad de población en dos híbridos de maíz. *Rev. Mex. de Ciencias Agri.* 3: 633–641.
- Robert, C., Noriega, A., Tocino, Á. and Cervantes, E. 2008. Morphological analysis of seed shape in *Arabidopsis thaliana* reveals altered polarity in mutants of the ethylene signaling pathway. *J. of Plant Physiol.* 165: 911–919.
- Royal Horticultural Society (RHS). 2018. The royal horticultural society color chart. The Royal Horticultural Society, London.
- Sandeep, V. V. and Durga, K. K. 2013. Seed image analysis: it's applications in seed science research. *Int. Res. J. of Agri. Sci.* 1: 30–36.
- Sauceda, A. C. P., Villaseñor, M. E. H., Lugo, G. A. G., Partida, R. L., González, H. V. y Reyes, O. A. 2017. Tamaño y número de granos de trigo analizados mediante procesamiento de imagen digital. *Rev. Mex. de Ciencias Agri.* 8: 517–529.
- Schneider, A. and Renault, P. 1997. Effects of coating on seed imbibition: I. Model estimates of water transport coefficient. *Crop Sci.* 37: 1841–1849.
- Smýkal, P., Nelson, M. N., Berger, J. D. and von Wettberg, E. J. B. 2018. The impact of genetic changes during crop domestication. *Agronomy.* 8: 1–22.
- SIAP. 2018. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (Consulta: septiembre 2018). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Souza, M. L. and Fagundes, M. 2014. Seed size as key factor in germination and seedling development of *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae). *American J. of Plant Sci.* 2566–2573. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.517270>
- Tantawy, M. E., Khalifa, S. F., Hassan, S. A. and Al-Rabaii, G. T. 2004. Seed exomorphic characters of some Brassicaceae (LM and SEM Study). *International J. of Agric. and Biol.* 6: 821–830.
- Tekin, M., Yilmaz, G. and Martin, E. 2013. Morphological, anatomical and palynological studies on endemic *Matthiola anchoniifolia* Hub. -Mor. (Brassicaceae). *Notulae Scientia Biologicae.* 5: 163–168.
- Yamauchi, Y., Ogawa, M., Kuwahara, A., Hanada, A., Kamiya, Y. and Yamaguchi, S. 2004. Activation of gibberellin biosynthesis and response pathways by low temperature during imbibition of *Arabidopsis thaliana* seeds. *The Plant Cell.* 16: 367–378. <https://doi.org/10.1105/tpc.018143>
- Yu-qin, M. and Song-quan, S. 2008. Early morphological and physiological events occurring during germination of maize seeds. *Agricultural Sci. in China.* 7: 950–957.
- Zayas, I., Pomeranz, Y. and Lai, F. 1985. Discrimination between Arthur and Arkan wheats by image analysis. *Cereal Chem.* 62: 478–480.
- Zhang, X. K., Chen, J., Chen, L., Wang, H. Z. and Li, J. N. 2008. Imbibition behavior and flooding tolerance of rapeseed seed (*Brassica napus* L.) with different testa color. *Genetic Resources and Crop Evolution.* 55: 1175–1184.