

MORFOMETRÍA, GERMINACIÓN Y COMPOSICIÓN MINERAL DE SEMILLAS DE *Lupinus* SILVESTRES

Maricela Pablo-Pérez¹, Luz del C. Lagunes-Espinoza¹, Javier López-Upton²,
Jesús Ramos-Juárez¹ y Emilio M. Aranda-Ibáñez¹

RESUMEN

Semillas del género *Lupinus* son utilizadas en alimentación humana y animal por su elevado contenido en nutrientes y representan un recurso agrícola valioso pero sub-explotado con amplia distribución en el continente americano. El objetivo de este estudio fue conocer las características morfológicas, germinación y composición mineral de las semillas de *L. campestris*, *L. exaltatus*, *L. hintonii* y *L. montanus* del estado de Puebla, México. Se recolectaron muestras masales de semillas de cada especie para determinar color, forma, largo, ancho, grosor, peso de 100 semillas (P100), porcentajes de testa, cotiledón y embrión, la cinética de imbibición, el porcentaje de germinación con y sin escarificación mecánica, y el contenido de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn y Zn. Las especies presentaron semillas pequeñas (P100 de 1,33±0,014 a 1,80±0,002 g) con excepción de *L. hintonii* (35,51±0,087 g). La baja absorción de agua y bajo porcentaje de germinación de las semillas de *L. campestris* fue asociado a la elevada proporción de testa (33,21±0,02 %). La escarificación mecánica mejoró la germinación en todas las especies, sobresaliendo *L. exaltatus* (91.6 %). Los contenidos de macronutrientes fueron altos para N, P y K, pero bajos para Ca y Mg. Entre los micronutrientes, los niveles de Fe y Zn fueron altos, pero bajos para Mn. *L. campestris* presentó el mayor contenido de Mn (5,34 mg·kg⁻¹) y *L. hintonii* el menor (3,3 mg·kg⁻¹). La identificación de las propiedades físicas y químicas de estas semillas ayudará a reconocer su potencial para su aprovechamiento y mejora.

Palabras clave adicionales: Leguminosa, composición química, propiedades fisicoquímicas

ABSTRACT

Morphometry, germination, and mineral composition of wild *Lupinus* seeds

Lupinus seeds are used as human and animal food due to their high nutrient content and represent a valuable agricultural resource, although under-exploited, with wide distribution in the Americas. The aim of this study was to determine the morphological and mineral composition, as well as germination, of *L. campestris*, *L. exaltatus*, *L. hintonii* and *L. montanus* seeds from Puebla State, Mexico. Bulk seed samples of each species were collected to determine color, shape, length, width, thickness, weight of 100 seeds (P100), percentages of seed coat, cotyledon and embryo, imbibition kinetics, germination percentage with and without mechanical scarification, and the contents of N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn and Zn. Species under study showed diversity in morphology seed (color, shape, proportion of seed coat and P100). Seeds were small (P100 from 1.33±0.014 to 1.8±0.002 g) except for *L. hintonii* (35.51±0.087 g). The low water absorption and low germination percentage of *L. campestris* seeds were associated with its high proportion of seed coat (33.21±0.02 %). Mechanical scarification improved germination in all species, excelling *L. exaltatus* (91.6 %). The contents of macronutrients were high for N, P and K, but low for Ca and Mg. Among micronutrients, the contents of Fe and Zn were high, but Mn level was low. *L. campestris* had the highest Mn content (5.34 mg·kg⁻¹) and *L. hintonii* the lowest (3.3 mg·kg⁻¹). The identification of these physical and chemical properties will help recognizing the potential of these seeds for development and improvement.

Additional key words: Legume, mineral composition, physical and chemical properties

INTRODUCCIÓN

Semillas del género *Lupinus*, incluido en la familia Fabaceae, han sido utilizadas desde hace décadas en alimentación humana y animal en Europa (Kojhadová et al., 2011) y en la región andina (Jacobsen y Sherwood, 2006) por su

elevado contenido en nutrientes; representan un recurso valioso sub-explotado desde el punto de vista agrícola y nutricional (Sujak et al., 2006). México es considerado un sitio de alta diversidad de éste género (Planchuelo, 1994), cuyas especies se distribuyen en todo el país (Bermúdez-Torres et al., 2000), con predominancia en la Faja

Recibido: Diciembre 10, 2012

Aceptado: Junio 3, 2013

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, Tabasco, México. e-mail: lagunes@colpos.mx

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, estado de México, México

Volcánica Transmexicana (McVaugh, 1987), donde se les conoce con el nombre de mazorquilla, alfalfa, flor de San Juan y flor de San Pedro (McVaugh, 1987; Lagunes-Espinoza et al., 2012). Estudios en *L. campestris* Cham. & Schldl. y *L. exaltatus* Zucc., especies silvestres mexicanas, revelan su potencial alimenticio (Jiménez-Martínez et al., 2003; Ruiz-López et al., 2006) para su domesticación y desarrollo agronómico.

Las semillas de *Lupinus* difieren en tamaño y propiedades físicas, lo que influye sobre el uso tecnológico de las mismas (Andrejko y Grochowicz, 2006) y en el manejo agronómico (Huyghe, 1993). Desde el punto de vista tecnológico, el aprovechamiento de los lupinos se ha visto limitado debido a que poseen alcaloides quinolizidínicos, que les confieren cierto grado de toxicidad y de astringencia (Jacobsen y Sherwood, 2006; Ruiz-López et al., 2006). Además presentan un elevado contenido de fibra en la testa que reduce su valor energético. En semillas de *L. albus* L., *L. angustifolius* L. y *L. luteus* L. la testa contiene cerca del 90 % de la fibra (Grochowicz y Andrejko, 2001); la eliminación de la testa mejora el valor nutricional de la semilla aunque incrementa los costos del procesamiento (Clements et al., 2004). Pero la testa también tiene implicaciones en el manejo agronómico del cultivo, generalmente los lupinos que presentan una testa dura requieren de tratamientos para inducir germinación. En *L. angustifolius* la testa es impermeable al agua cuando el contenido de humedad en la semilla desciende entre 10 y 12 % (Clements et al., 2005) y en *L. montanus* H.B.K. se requiere de la aplicación de ácidos fuertes para el ablandamiento de la testa e inducir germinación (Acosta-Percástegui y Rodríguez, 2005). El

tamaño de la semilla influye en el crecimiento de la plántula y en la densidad de siembra; semillas más pesadas muestran un mayor porcentaje de germinación (Huyghe, 1993; Lobos et al., 2008).

Las características físicas y químicas mencionadas pueden variar de acuerdo con el ambiente donde se desarrollan las plantas, principalmente el contenido de minerales (Bhardwaj et al., 1998). La información relacionada con las características físicas de la semilla y la germinación de lupinos silvestres presentes en México es limitada, lo que hace necesario incrementar el conocimiento al respecto para aplicar métodos agronómicos para su mejora y aprovechamiento. Por ello, el objetivo de este trabajo fue conocer la morfometría, composición mineral y germinación de semillas de *Lupinus campestris*, *Lupinus exaltatus*, *Lupinus hintonii* C.P. Smith y *Lupinus montanus*, especies silvestres del estado de Puebla, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron lotes masales de semillas de *L. campestris*, *L. exaltatus*, *L. montanus* y *L. hintonii* de la Región de los Valles y Libres de Serdán en el estado de Puebla, México, recolectados en agosto de 2011 y 2012, a altitudes superiores a 2800 msnm (Cuadro 1). Las semillas del lote 2011 fueron secadas a temperatura ambiente y almacenadas durante aproximadamente tres meses a 4 °C en envases de plástico para el análisis morfométrico y de germinación. Una porción de las semillas del año 2012 fueron molidas en molino Wiley a través de una criba de 20 mallas; la harina fue conservada en envases plásticos a 4 °C para el análisis químico.

Cuadro 1. Localización geográfica de los sitios de recolecta de especies de *Lupinus* en la Región de los Valles de Libres y Serdán, Puebla, México

Especie	Localidad (municipio)	Ubicación	Altitud (msnm)
<i>L. campestris</i>	Tlachichuca	19°03' N; 97°23' W	2866
<i>L. exaltatus</i>	Chalchicomula de Sesma	19°00' N; 97°22' W	3066
<i>L. montanus</i>	Tlachichuca	19°04' N; 97°19' W	3442
<i>L. hintonii</i>	Chalchicomula de Sesma	19°04' N; 97°19' W	3424

En 100 semillas por especie se determinó el color con una carta Munsell para plantas, y la forma y patrón de manchas de acuerdo a la guía de descriptores de lupinos (CIRF, 1981); se midieron la longitud y grosor de cada semilla utilizando un

vernier. El peso seco de 100 semillas se obtuvo por especie y por triplicado en balanza analítica después del secado a 70 °C durante 72 h. Grupos triplicados de 10 semillas, tomadas al azar por especie, se utilizaron para calcular los porcentajes

de cotiledón, testa y embrión. El porcentaje de humedad se determinó a partir de semillas sometidas a 105 °C durante 4 h.

La capacidad de hidratación de las semillas se determinó mediante una curva de imbibición. Para ello grupos triplicados de 10 semillas por especie se colocaron en vasos de precipitado, a los que se les adicionó agua destilada en relación 1:10 en peso y se mantuvieron a temperatura ambiente (≈ 26 °C) durante el periodo de imbibición. Se tomaron los pesos frescos de cada repetición por especie a las 2, 3, 6, 12, 24, 36, 48 y 72 h.

La calidad de la semilla se evaluó mediante una prueba de germinación estándar (Moreno, 1996), realizada por triplicado con grupos de 15 semillas para *L. campestris* y 20 semillas para *L. exaltatus* y *L. montanus*. *L. hintonii* no se incluyó en esta prueba debido a que sus semillas presentaron problemas de contaminación aún cuando se lavaron y desinfectaron en forma similar a las semillas de las otras especies. La prueba de germinación se realizó con escarificación mecánica de la testa (incisión en la testa) y sin escarificación mecánica. Las semillas fueron previamente desinfectadas con solución de hipoclorito de sodio al 1 %, lavadas tres veces con agua destilada a 60 °C y puestas a germinar en cajas Petri en papel filtro estéril. El porcentaje de germinación (PG) fue evaluado bajo fotoperiodo de 14/10 h luz/oscuridad, con régimen de temperaturas día/noche de 20/15 °C en cámara bioclimática Lumistell ICP-19. Las semillas fueron consideradas germinadas cuando la radícula superó una longitud de 2mm. El conteo se realizó a diario.

La composición mineral se realizó a partir de la harina obtenida de semillas completas, secadas en estufa a 55 °C durante 12 h. Se determinó N por método microkjeldahl, P por método colorimétrico, S por método turbidimétrico y K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn y Zn por digestión húmeda y espectrofotometría de absorción atómica usando un Espectrofotómetro Perkin Elmer-Aanalyst 700.

Los experimentos se realizaron bajo un diseño completamente al azar. Los resultados se analizaron utilizando estadística descriptiva y los datos se presentan por sus valores medios y su dispersión. Los resultados de las pruebas de imbibición y germinación se presentan en forma gráfica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas de las semillas: Las semillas de las cuatro especies silvestres de *Lupinus* presentaron variación en el color predominante y la forma. El color predominante estuvo representado principalmente por el patrón de las manchas (veteado) en *L. campestris*, *L. exaltatus* y *L. montanus*, que varió de marrón a negro, según el grado de cubrimiento de la semilla. Semillas de *L. hintonii* no presentaron patrón de manchas y el color predominante fue el amarillo (Cuadro 2; Figura 1). Se observó también variación en el color del veteado intra especie (Figura 1). Las semillas de *L. campestris* presentaron variaciones de marrón (91 %) a marrón amarillento (9 %); las de *L. exaltatus* de marrón (90 %) a marrón muy pálido (10 %); las de *L. hintonii* de amarillo (44 %), amarillo rojizo (34 %), amarillo pálido (18 %) y amarillo fuerte (4 %); y las de *L. montanus* de marrón muy oscuro (3 %), marrón oscuro (4 %) a negro (93 %). La forma varió de oval, cuboide y aplanada oval según la especie (Cuadro 2). La variabilidad intra especie para color de la testa tiene implicaciones taxonómicas y de calidad nutricional; por ejemplo, en *L. polyphyllus*, la variación en color de la testa y forma de la semilla sugiere hibridación entre diferentes especies del mismo género, y variación en el contenido de alcaloides (Aniszewski et al., 2001). La variación en éstas características deberá de estudiarse en las especies evaluadas, sobre todo en *L. campestris* y *L. exaltatus* donde posibles hibridaciones darían lugar a fenotipos muy parecidos en campo que dificultarían su identificación. Además, existe la necesidad de disponer de genotipos con bajo contenido de alcaloides.

El porcentaje de humedad en las semillas varió de 6,1 (*L. campestris*) a 8,4 % (*L. hintonii*) (Cuadro 2). Estos valores son inferiores al 14 % señalado por Clements et al. (2005) como el requerido por las semillas de *L. angustifolius* para germinar.

El peso de 100 semillas por especie varió de 1,33 \pm 0,014 a 35,51 \pm 0,087 g (Cuadro 2). Las semillas de *L. hintonii* con el mayor peso (35,51 \pm 0,087 g); mientras que las de *L. exaltatus* con el menor (1,33 \pm 0,014 g). La forma y el peso de 100 semillas de *L. campestris*, *L. exaltatus*, *L. montanus* son similares a la forma y peso de *L.*

bilineatus Benht (forma ovoide, peso de 1,5 g) reportado por Martínez et al. (2008). Por su parte, *L. hintonii* posee características morfométricas similares (color, tamaño y peso) a las especies domesticadas (Ortega-David et al., 2010). El conocimiento de la morfometría y el tamaño de la semilla son útiles para la selección de mallas y

máquinas para eliminación de testa (Reichert et al., 1984), para su siembra (Huyghe, 1993) y comercialización. Por ejemplo, las semillas grandes de *L. albus* presentan un mayor valor comercial que semillas pequeñas para su consumo en fresco, debido a la relación positiva entre peso de semillas y ganancia en volumen (Lobos et al., 2008).

Cuadro 2. Características físicas de las semillas de especies silvestres de *Lupinus* del estado de Puebla, México (Media \pm SD)

Especie	Color principal	Lustre	Patrón de Manchas	Forma	Largo (cm)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Humedad (%)	Peso 100 semillas (g)
<i>L. campestris</i>	Marrón	Brillante	Veteada	Oval	0,42 \pm 0,04	0,30 \pm 0,03	0,20 \pm 0,03	6,1 \pm 2,7	1,6 \pm 0,002
<i>L. exaltatus</i>	Marrón	Brillante	Veteada	Cuboide	0,40 \pm 0,02	0,29 \pm 0,02	0,19 \pm 0,02	6,2 \pm 0,5	1,3 \pm 0,014
<i>L. montanus</i>	Negro	Mate	Veteada	Oval	0,40 \pm 0,01	0,30 \pm 5,02	0,28 \pm 0,04	7,1 \pm 0,4	1,8 \pm 0,002
<i>L. hintonii</i>	Amarillo-rojizo	Mate	Ninguna	Oval, plana-oval	1,06 \pm 0,11	1,02 \pm 0,13	0,70 \pm 0,11	8,4 \pm 2,4	35,5 \pm 0,087



Figura 1. Semillas de especies silvestres de *Lupinus* del estado de Puebla, México. a) *L. campestris*, b) *L. exaltatus*, c) *L. montanus*, d) *L. hintonii*

Respecto a la distribución del peso de los componentes de las semillas, los cotiledones variaron de 55,0 a 77,9 %, la testa 17,0 a 33,2 %, el embrión de 4,9 a 15,4 % (Cuadro 3). Las semillas de *L. hintonii* presentaron el mayor porcentaje de cotiledón (77,9 %) y el menor las de

L. campestris (55,0 %). El mayor porcentaje de testa se observó en semillas de *L. campestris* (33,2 %) y el menor en las de *L. hintonii* (17,1 %). Los porcentajes de testa y embrión de estas especies se encuentran dentro del rango reportado por Sipsa (2008) para semillas de *Lupinus* (75 % de cotiledón y 25 % de testa), con excepción de *L. campestris*. Los elevados porcentajes de testa en semillas de *L. campestris* podrían tener efectos negativos en la calidad de la semilla y en su germinación (Clements et al., 2004); sin embargo, estudios sobre la testa de *L. angustifolius* indican la exitosa incorporación de ésta en alimentos enriquecidos con fibra (Súchý et al., 2008; Sipsa, 2008). Además, dado que en la testa de leguminosas se concentra la mayor proporción de compuestos antinutricionales, el descascarillado deberá de considerarse para la reducción de tales compuestos (Tharanathan y Mahadevamma, 2003; Ghavidel y Praskash, 2007).

Cuadro 3. Porcentaje de testa, cotiledón y embrión en semillas de *Lupinus* silvestres del estado de Puebla, México (Media \pm SD)

Especie	Testa	Cotiledón	Embrión
<i>L. campestris</i>	33,21 \pm 0,02	55,09 \pm 0,26	11,69 \pm 0,01
<i>L. exaltatus</i>	21,34 \pm 0,01	71,50 \pm 0,19	7,16 \pm 0,01
<i>L. montanus</i>	24,0 \pm 0,05	60,53 \pm 0,01	15,47 \pm 0,48
<i>L. hintonii</i>	17,07 \pm 0,03	77,97 \pm 0,03	4,95 \pm 0,02

Propiedades fisicoquímicas: Como era de esperarse, la cantidad de agua absorbida por las semillas de lupino se incrementó con el tiempo de remojo hasta determinado límite (Figura 2). El límite máximo de hidratación se presentó a las 12

h, siendo de 13 % para *L. montanus*, 7,1 % para *L. exaltatus*, 8,6 % para *L. campestris* y 14 % para *L. hintonii*. Entre los factores que pueden contribuir a una mayor imbibición de agua en *L. montanus* se encuentra tal vez su menor grosor de testa (Sefa-

Dedeh y Stanley, 1979). La semilla de *L. campestris*, la cual mostró el mayor grosor de testa (Cuadro 3), presentó uno de los más bajos porcentajes de imbibición (Figura 2). En el caso de *L. exaltatus*, aun cuando la proporción de testa es baja, otras características de las mismas como la dureza dada por contenidos de humedad de la semilla inferiores a 10 % (Clements et al., 2005) pudieran estar limitando la absorción de agua. Ha sido observado que factores como alta humedad relativa y temperatura durante el almacenamiento de la semilla incrementan la dureza y la capacidad de imbibición de la misma, reduciendo los compuestos fenólicos (Mujica et al., 2012), aunque en el caso de las semillas en estudio, éstas fueron almacenadas por un corto tiempo y a 4°C.

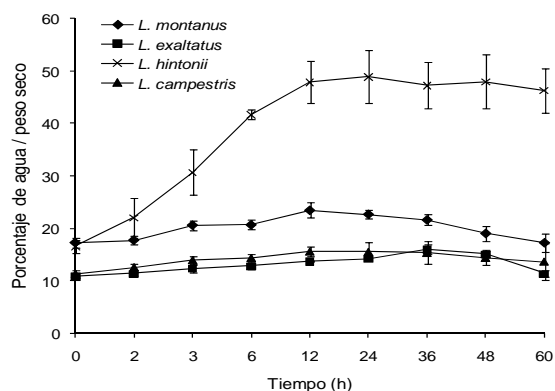


Figura 2. Cinética de absorción de agua de semillas de *Lupinus silvestres* del estado de Puebla, México

Calidad de semilla: Las semillas de los lupinos silvestres sin escarificación mostraron un bajo porcentaje de germinación con un rango de 4,2 (*L. campestris*) a 27,1 % (*L. exaltatus*). Al aplicar el tratamiento de escarificación, la germinación incrementó a 48 % en *L. montanus* y 91,6 % en *L. exaltatus* (Figura 3). Se observó una reducción en el tiempo total de germinación (12 días) con respecto al tratamiento sin escarificación (29 días). Es notable la diferencia en el porcentaje de germinación que se tiene entre semillas escarificadas y sin escarificar ya que prácticamente se duplicó en *L. montanus* y *L. campestris* o triplicó en *L. exaltatus*. Esto indica que las semillas de las diferentes especies de *Lupinus silvestres* estudiadas tienen testas duras o poco permeables, lo que influye en la latencia que presentan y limita su desarrollo agronómico. *L.*

exaltatus presentó en los dos tratamientos (con y sin escarificación) la mayor capacidad de germinación entre las especies, lo que puede facilitar su proceso de domesticación. El uso de escarificación mecánica en semillas de lupino, aunque laborioso, ha demostrado ser efectivo para incrementar el porcentaje de germinación hasta 90 % en *L. montanus* (Hernández et al., 2008) y 100 % en *L. varius* (Karazugel et al., 2004). Métodos alternativos para debilitar la testa y permitir la imbibición deben ser probados para estudios agronómicos de las especies en estudio.

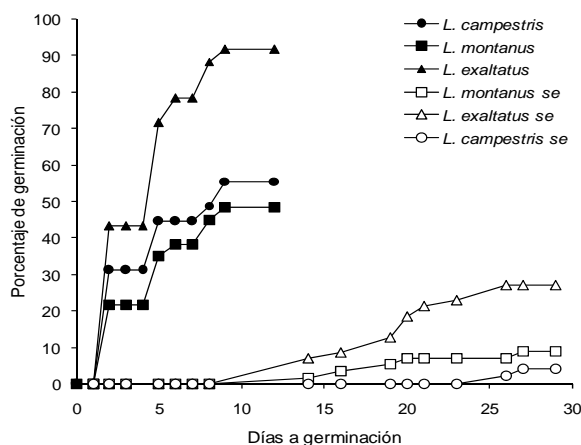


Figura 3. Germinación de semillas de *Lupinus silvestres* del estado de Puebla, México; sin y con tratamiento de escarificación. *se*: sin escarificación

Composición química: Las semillas de *Lupinus* estudiadas contienen elevados niveles de macronutrientes como N, P y K, y de micronutrientes como el hierro y cinc, pero bajos niveles de calcio y magnesio. Los contenidos de N, P y K son altos si se comparan a los de otras leguminosas de grano y similares a los de soya (Nacer et al., 2010). Las semillas de *L. montanus* y *L. campestris* mostraron los mayores contenidos de N y P, *L. hintonii* y *L. montanus* de K, y *L. exaltatus* de Ca (Cuadro 4). Las semillas mejoradas de lupino, como las de *L. mutabilis*, presentan contenido mineral similar al de estas especies silvestres (Ortega-David et al., 2010). Respecto al contenido de micronutrientes, las semillas presentaron un alto contenido hierro que varió de 49,3 a 81,3 mg·kg⁻¹ (Cuadro 4) y de cinc de 38,2 a 46,9 mg·kg⁻¹. *L. hintonii* presentó el menor contenido de Zn (38,2 mg·kg⁻¹) y de Fe (49,3 mg·kg⁻¹) de todas las especies. Los

contenidos de Fe son similares a los observados en semillas de diversas variedades de lenteja ($86 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), frijol ($60\text{-}66 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) y haba ($77\text{-}82 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), pero superiores a los del chícharo ($18\text{-}25$) (Quinteros, 2002; Cabrera et al., 2003). Así mismo, los contenidos de Fe son mayores a los mostrados por Ortega-David et al. (2010) en la testa ($58 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) y cotiledones ($46 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en semillas de *L. mutabilis*. A nivel mundial las deficiencias más comunes de micronutrientes en la dieta de las personas son para Fe, Zn y yodo, y cerca del 60 % de la población en el mundo

presenta deficiencias de Fe (Yang et al., 2007). En este sentido, las semillas de lupino podrían ayudar a reducir estas deficiencias (previa reducción de los compuestos antinutricionales) debido a sus altos contenidos en este micronutriente. Las especies estudiadas presentan diferencias en el contenido de Mn en sus semillas. *L. campestris* ($5,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) con el mayor y *L. hintonii* ($3,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) con el menor. Estos contenidos, según Crosbie et al. (1993), son inferiores a los requeridos en semillas de *L. angustifolius* para una adecuada germinación ($>10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Cuadro 4. Composición mineral de semillas de especies silvestres de *Lupinus* del estado de Puebla, México (Media \pm SD)

Elemento	<i>L. campestris</i>	<i>L. exaltatus</i>	<i>L. montanus</i>	<i>L. hintonii</i>
		%		
N	$6,61 \pm 0,11$	$6,29 \pm 1,10$	$6,98 \pm 0,24$	$5,22 \pm 0,09$
P	$0,63 \pm 0,01$	$0,56 \pm 0,01$	$0,65 \pm 0,01$	$0,54 \pm 0,01$
K	$0,98 \pm 0,02$	$0,88 \pm 0,02$	$1,12 \pm 0,02$	$1,71 \pm 0,02$
Ca	$0,12 \pm 0,015$	$0,16 \pm 0,01$	$0,08 \pm 0,015$	$0,10 \pm 0,01$
Mg	$0,26 \pm 0,01$	$0,23 \pm 0,01$	$0,30 \pm 0,01$	$0,26 \pm 0,01$
S	$0,27 \pm 0,04$	$0,15 \pm 0,09$	$0,21 \pm 0,04$	$0,21 \pm 0,01$
		$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$		
Fe	$70,74 \pm 1,64$	$81,32 \pm 1,50$	$73,7 \pm 4,56$	$49,34 \pm 2,10$
Zn	$46,72 \pm 0,48$	$46,97 \pm 0,41$	$46,87 \pm 0,08$	$38,18 \pm 0,59$
Cu	$9,33 \pm 0,01$	$7,44 \pm 0,04$	$8,97 \pm 0,11$	$6,77 \pm 0,15$
Mn	$5,34 \pm 0,10$	$4,32 \pm 0,18$	$3,93 \pm 0,03$	$3,35 \pm 0,07$

CONCLUSIONES

Las semillas de las especies silvestres de lupino estudiadas presentaron diversidad en su tamaño, forma y color, en el porcentaje de testa y peso de semillas. La cinética de imbibición mostró que la testa es una barrera para la absorción de agua, principalmente en *L. campestris*, que se reflejó en la baja germinación cuando no se escarificó la semilla, lo que tiene implicaciones para su domesticación. La escarificación mecánica promovió la germinación de manera diferencial entre las especies y *L. exaltatus* alcanzó el 90 % de germinación en respuesta a la escarificación física. Esta especie presenta porcentajes de testa intermedios entre las especies evaluadas.

Las semillas de *Lupinus* silvestres contienen elevados niveles de macronutrientes como N, P y K y de micronutrientes como Fe y Zn que pueden ser aprovechados en la industria alimenticia; también presentan bajos niveles de Ca y Mg, así como contenidos de Mn inferiores a $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT: Proyecto 181428) y a la Línea Prioritaria de Investigación Conservación y Mejoramiento de Recursos Genéticos del Colegio de Postgraduados por el apoyo económico para la realización del presente estudio.

LITERATURA CITADA

1. Acosta-Percástegui, J. y A.D. Rodríguez T. 2005. Factors affecting germination and pregerminative treatments of *Lupinus montanus* seeds. *Interciencia* 30(9): 576-579.
2. Andrejko, D. y J. Grochowicz. 2006. Effect of the moisture content on compression energy and strength characteristic of lupine briquettes. *Journal of Food Engineering* 83(1): 116-120.
3. Aniszewski, T., M.H. Kupari y A.J. Leinonen. 2001. Seed number, seed size and seed

- diversity in Washington lupin (*Lupinus polyphyllus* Lind.). *Annals of Botany* 87: 77-82.
4. Bermúdez-Torres, K., N. Robledo-Quintos, J. Martínez-Hernández, A. Tei y M. Wink. 2000. Biodiversity of the genus *Lupinus* in Mexico. *In: E. van Santen, M. Wink, S. Weissman y P. Roemer* (eds.). *Lupin an Ancient Crop for the New Millennium*. International Lupin Association. Canterbury, New Zealand. pp. 294-296.
 5. Bhardwaj, H.L., A. Hamama, A. y C. Merrick, L. 1998. Genotypic and environmental effects on lupine seed composition. *Plant Foods for Human Nutrition* 53: 1-13.
 6. Cabrera, C., F. Lloris, R. Giménez, M. Olalla y M.C. López. 2003. Mineral content in legumes and nuts: contribution to the Spanish dietary intake. *The Science of the Total Environment* 308: 1-14.
 7. CIRF (Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos). 1981. *Descriptores de Lupinos*. International Board for Plant Genetic Resources (CIRF/IBPGR). Roma. 26 p.
 8. Clements, J.C., A.V. Zvyagin, K.K. Silva, T. Wanner, D.D. Sampson y W.A. Cowling. 2004. Optical coherence tomography as a novel tool for non-destructive measurement of the hull thickness of lupin seeds. *Plant Breeding* 123: 266-270.
 9. Clements, J.C., M. Dracup, B.J. Buirchell y C.G. Smith. 2005. Variation for seed coat and pod wall percentage and other traits in a germplasm collection and historical cultivars of lupins. *Australian Journal of Agricultural Research* 56(1): 75-83
 10. Crosbie, J., N. Longnecker, F. Davies y A. Robson. 1993. Effects of seed manganese concentration on lupin emergence. *Plant and Soil* 155/156: 449-452.
 11. Ghavidel, R.A. y J. Praskash. 2007. The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, *in vitro* iron and calcium bioavailability and *in vitro* starch and protein digestibility of some legume seeds. *LWT (Food Science and Technology)* 40: 1292-1299.
 12. Grochowicz, J. y D. Andrejko. 2001. The role of physical properties of lupine seeds in the hulling process. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities* 4(2): 803.
 13. Hernández, F.E., R.K. Rivera, O.J. Ramos, F.C. Salinas, M. Rodríguez y K. Bermúdez. 2008. Effect of scarification treatments on germination of *Lupinus montanus* HBK seeds. *In: J.A. Palta y J.B. Berger* (eds.). *Lupins for Health and Wealth*. International Lupin Association. Canterbury, New Zealand. pp. 405-409.
 14. Huyghe, C. 1993. Growth of white lupin seedlings during the rosette stage as affected by seed size. *Agronomie* 13: 145-153.
 15. Jacobsen, S.E. y A. Sherwood. 2006. El Tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. *Botánica Económica de los Andes Centrales* 28: 458-482.
 16. Jiménez-Martínez, C., H. Hernández-Sánchez y G. Dávila-Ortiz. 2003. Production of a yogurth-like product from *Lupinus campestris* seeds. *Journal of the Food and Agriculture* 83: 515-522.
 17. Karaguzel O., S. Cakmakci, V. Ortacesme y B. Aydinoglu. 2004. Influence of seed coat treatments on germination and early seedling growth of *Lupinus varius* L. *Pakistan Journal of Botany* 36(1): 65-74.
 18. Kojhadová Z., J. Karovičova y Š. Schmidt. 2011. Lupin composition and possible use in bakery-A review. *Czech Journal Food Science* 29(3): 203-211.
 19. Lagunes-Espinoza, L.C., J. López-Upton, E. García-López, J. Jasso-Mata, A. Delgado-Alvarado y G. Garcia-de Los Santos. 2012. Diversidad morfológica y concentración de proteína de *Lupinus* spp. en la región Centro-Oriental del Estado de Puebla, México. *Acta Botánica Mexicana* 99: 73-90.
 20. Lobos, J., H. Miranda y M. Mera. 2008. Weight and volume gain by hydrated grains of bitter albus lupins grown in Chile. *In: J.A. Palta y J.B. Berger* (eds.). *Lupins for Health and Wealth*. International Lupin Association. Canterbury, New Zealand, pp. 105-107.
 21. Martínez, J.M., D.A. Rodríguez-Trejo, E. Guizar-Nolazco y R. Bonilla-Beas. 2008. Escarificación artificial y natural de la semilla de *Lupinus bilineatus* Benth. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 14(2): 73-79.

22. McVaugh, R. 1987. *Lupinus*. In: W. Anderson (ed.). Flora Novo-Galiciana. Leguminosae. The University of Michigan Press. Ann Arbor, MI. pp. 580-599.
23. Moreno M.E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México. 393 p.
24. Mujica, M.V., M. Granito y N. Soto. 2012. Variación de los compuestos fenólicos de *Phaseolus vulgaris* L. durante el almacenamiento y su relación con el tiempo de cocción. *Bioagro* 24(3): 163-174.
25. Nacer, B., H. Arnold B., A. Gillen M., H.K. Abbas., R.M. Zablotowicz., A. Mengistu y R. Paris L. 2010. Soybean seed protein, oil, fatty acids, and mineral composition as influenced by soybean-corn rotation. *Agricultural Sciences* 1(3): 102-109.
26. Ortega-David, E., A. Rodríguez, A. David y A. Zamora-Burano. 2010. Caracterización de semillas de lupino (*Lupinus mutabilis*) sembrado en los Andes de Colombia. *Acta Agronómica* 59: 111-118.
27. Planchuelo, A.M. 1994. Wild lupin distribution and its implications as germplasm resources. In: J.M. Neves y M.L. Beirao. (eds.). *Advances in Lupin Research*. International Lupin Association. Canterbury, New Zealand. pp. 65-69.
28. Quinteros, A. 2002. Contenidos de calcio, magnesio, hierro, cinc y fósforo en legumbres crudas y sometidas a distintos procesos de cocción. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria* 2(1): 97-102.
29. Reichert, R.D., B.D. Ooman y C.G. Young. 1984. Factors affecting the efficiency of abrasive type dehulling of grain legumes investigated with a new batch dehuller. *Journal of Food Science* 49: 267-272.
30. Ruíz-López, M.A., M.R. Rodríguez y S. Navarro. 2006. Evaluación químico-nutricional de *Lupinus exaltatus* Zucc. del Nevado de Colima, México, como fuente potencial de forraje. *Interciencia* 31(10): 758-761.
31. Sefa-Dedeh, S. y D.W. Stanley. 1979. The relationships of microstructure of cowpeas to water absorption and dehulling properties. *Cereal Chemistry* 56(4): 379-386.
32. Sipsa, S. 2008. Lupin products-concepts and reality. In: J.A. Palta y J.B. Berger (eds.). *Lupins for Health and Wealth*. International Lupin Association. Canterbury, New Zealand, pp. 122-128.
33. Súčhý, P., E. Straková, L. Kroupa y V. Vacerek. 2008. The fatty acid content of oil from seeds of some lupin varieties. In: J. A. Palta y J.B. Berger (eds.). *Lupins for Health and Wealth*. International Lupin Association. Canterbury, New Zealand. pp. 188-192.
34. Sujak, A., A. Kotlarz y W. Strobel. 2006. Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. *Food Chemistry* 98: 711-719.
35. Tharanathan, R.N. y S. Mahadevamma. 2003. Grain legumes a boom to human nutrition. *Trends in Food Science and Technology* 14: 507-518.
36. Yang, X.E., W.R. Chen y Y. Feng. 2007. Improving human micronutrient nutrition through biofortification in the soil-plant system: China as a case study. *Environmental Geochemistry and Health* 29(5): 413-428.