

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ESPECIES SILVESTRES DEL GÉNERO *Lupinus* DEL ESTADO DE PUEBLA, MÉXICO

CHEMICAL COMPOSITION OF WILD SPECIES OF THE GENUS *Lupinus* FROM STATE OF PUEBLA, MÉXICO

Maricela Pablo-Pérez¹, Luz C. Lagunes-Espinoza^{1*}, Javier López-Upton²,
Emilio M. Aranda-Ibáñez¹ y Jesús Ramos-Juárez¹

¹Campus Tabasco, Colegio de Postgraduados. Periférico Carlos A. Molina s/n. 86500, H. Cárdenas, Tabasco, México. ²Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carr. México-Texcoco, Texcoco. 56230, Estado de México, México.

*Autor para correspondencia (lagunes@colpos.mx)

RESUMEN

En el Eje Neovolcánico Transversal Mexicano abundan diversas especies del género *Lupinus*, cuyas semillas presentan altos contenidos proteicos que pudieran ser aprovechados en alimentación humana y animal. Plantas en floración y fructificación de *Lupinus campestris*, *L. exaltatus*, *L. hintonii* y *L. montanus* fueron recolectadas en los Valles de Serdán y Libres del estado de Puebla, México, durante mayo y agosto de 2011, entre 2486 y 3442 msnm, para análisis químico proximal, alcaloides totales (AT), polifenoles totales (PT) y taninos condensados (TC) en diversos órganos de la planta. Las semillas presentaron el mayor porcentaje de proteína cruda (PC) (32.5 a 43.5 g/100 g); de extracto etéreo (EE) (6.5 a 7.5 g/100 g), los menores de fibra detergente neutro (FDN) (16.7 a 24.7 g/100 g) y de fibra detergente ácido (FDA) (4.4 a 7.9 g/100 g), comparado con el de hoja + tallo (PC: 22.2 a 25.5 g/100 g; EE: 0.1 a 1.7 g/100 g; FDN: 38.2 a 44.1 g/100 g, FDA: 21.7 a 30.1 g/100 g), respectivamente. Los pericarpios (vainas sin semilla) presentaron un menor contenido de PC (10.9 a 22.8 g/100 g) y EE (0.1 a 0.6 g/100 g), pero mayor FDN (54.4 a 68.4 g/100 g) y FDA (34.0 a 47.1 g/100 g). Los AT en semilla fueron de 2.4 a 5.4 g/100 g (*L. hintonii* con el mayor contenido), los PT de 221 a 554 mg/100 g, y los TC de 0.0 a 22.7 mg kg⁻¹ (*L. exaltatus* y *L. campestris* no presentaron taninos). En el follaje, los AT variaron de 1.2 a 3.3 g/100 g, PT de 556 a 813 mg/100 g y TC de 66.85 a 99.7 mg kg⁻¹. La semilla y el follaje de las especies de *Lupinus* son fuente de proteína y polifenoles, y requerirán de la reducción del nivel de alcaloides vía procesos tecnológicos o mejoramiento genético para obtener variedades aptas para uso en alimentación.

Palabras clave: *Lupinus* sp., leguminosa, alcaloides, proteína, polifenoles, recursos genéticos.

SUMMARY

Species of the genus *Lupinus* are abundant in the Mexican Transverse Neovolcanic Axis and their seeds have high protein content that can be utilized in human and animal nutrition. Flowering and fruiting plants of *Lupinus campestris*, *L. exaltatus*, *L. hintonii* and *L. montanus* were collected in the Serdan and Libres Valley state of Puebla, México, during May and August 2011 at 2486 - 3442 masl, for proximate analysis, total alkaloids (TA), total polyphenols (TP) and condensed tannins (CT) in various plant organs. The seeds had the highest percentage of crude protein (CP) (32.5 to 43.5 g/100 g), ether extract (EE) (6.5 to 7.5 g/100 g), and the lowest content of neutral detergent fiber (NDF) (16.7 to 24.7 g/100 g) and acid detergent fiber (FDA) (4.4 to 7.9 g/100 g), compared to the leaves + stems (PC: 22.2 to 25.5 g/100 g; FDN: 38.2 to 44.1 g/100

g; FDA: 21.7 to 30.1 g/100 g). In pod walls lower PC content (10.9 to 22.8 g/100 g) and EE (0.1 to 0.6 g/100 g), but higher NDF (54.4 to 68.4 g/100 g) and FDA (34.0 to 47.1 g/100 g) were observed. In the seeds TA were from 2.4 to 5.4 g/100 g (*L. hintonii* with the highest content), PT of 221 to 554 mg/100 g, and CT from 0.0 to 22.7 mg kg⁻¹ (*L. exaltatus* and *L. campestris* seeds without tannins). In the foliage, TA ranged from 1.2 to 3.3 g/100 g, PT from 556 to 813 mg/100 g and CT of 66.85 to 99.71 mg kg⁻¹. The seeds and foliage of wild *Lupinus* species are a source of protein and polyphenols. These will require reducing level of alkaloids via technological processes or breeding varieties suitable for use in food.

Index words: *Lupinus* sp., legume, alkaloids, protein, polyphenols, genetic resources.

INTRODUCCIÓN

Los requerimientos nutricionales de los alimentos para los diversos sistemas de producción animal son cada vez mayores. En estos sistemas se busca que las fuentes de proteína y energía demandadas para complementar las dietas alimenticias sean abundantes, económicas e inocuas (Jezierny *et al.*, 2010). Una opción puede ser utilizar recursos fitogenéticos nativos como fuente de nutrientes a nivel local, para reducir los costos de cultivo y transporte y la huella de carbono. Las fabáceas del género *Lupinus* son una alternativa proteica, ya que las diversas especies en el mundo contienen de 30 a 40 g/100 g de materia seca (Khattab *et al.*, 2009; Kohajdová *et al.*, 2011).

La principal limitante del uso de los *Lupinus* silvestres es su alto contenido de alcaloides quinolizidínicos (1.5 a 5 g/100 g) (Sujak *et al.*, 2006). Los efectos tóxicos de estos alcaloides no son acumulativos, ya que son excretados rápidamente por el riñón, siempre que la cantidad total no exceda 0.02 % (Múzquiz *et al.*, 2011). Los alcaloides más abundantes son lupanina, 13 α -hidroxilupanina e hidroxiafilidina (Przybylak *et al.*, 2005), aunque pueden variar entre especies. En plantas que crecen en México como *L. montanus* H.B.K. y *L. aschenbornii* Schauer, el mayoritario

es esparteína (Bermúdez-Torres *et al.*, 2009); y en *L. mexicanus* Cerv. ex Lag., la 3 β -hidroxilupanina (Ruíz-López *et al.*, 2010). A nivel mundial se cultivan diferentes variedades mejoradas de *L. albus* L., *L. angustifolius* L., *L. luteus* L. y *L. mutabilis* Lindl., que tienen un reducido nivel de alcaloides (< 0.03 g/100 g), y se usan en la alimentación humana y animal (Jezierny *et al.*, 2010).

En México, las especies silvestres de lupino se distribuyen desde Baja California hasta Chiapas, con mayor concentración en la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico Transversal (Ruíz-López *et al.*, 2000). Muy pocas de esas especies han sido estudiadas para conocer su potencial nutricional y no han sido domesticadas. Además, las especies del género crecen en ambientes poco favorables, como son los suelos ácidos, donde otras fabáceas no podrían adaptarse, y son capaces de fijar altas concentraciones de N₂ atmosférico (Barrientos *et al.*, 2002).

Estudios previos en el país demuestran que la proteína de la semilla de *L. campestris* y *L. montanus* presenta alta degradabilidad ruminal (Pablo-Pérez *et al.*, 2014) y digestibilidad por lo que puede ser utilizada como complemento en la alimentación previa eliminación de alcaloides por medios físicos (Jiménez-Martínez *et al.*, 2003a, 2003b; Güemes-Vera *et al.*, 2012). En los Valles de Serdán y Libres en el estado de Puebla, crecen al menos cinco especies de *Lupinus* en los ecosistemas forestales, incluidas *L. campestris* y *L. montanus* (Lagunes-Espinoza *et al.*, 2012).

Su potencial de domesticación debe valorarse para su cultivo extensivo en la zona, o bien en sistemas agrosilvícolas en virtud de su posible uso como alimento animal, humano o de abono verde. Para esto, los estudios de bioprospección son básicos ya que permiten conocer las características nutricionales y potencial de uso de las especies silvestres. El objetivo del presente estudio fue determinar la composición química del follaje y las semillas de *L. campestris* Cham. & Schltdl., *L. exaltatus* Zucc., *L. hintonii* C.P. Smith y *L. montanus*, especies silvestres del estado de Puebla, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectó material vegetativo durante la etapa de floración (hoja + tallo) y frutos secos de *L. campestris*, *L. exaltatus*, *L. hintonii* y *L. montanus* en la región de los Valles de Serdán y Libres del estado de Puebla, México (18° 52' 50.6" y 19° 04' 42" N y 97° 23' 03" y 97° 19' 17" O). La recolecta se hizo durante mayo y agosto del 2011, entre 2886 a 3442 msnm (Figura 1). Los frutos secos fueron separados en semillas y pericarpios (vainas sin semillas), y se deshidrataron a 50 °C en estufa de aire forzado marca ShellLab® modelo CE3F (Sheldom Manufacturing Inc., USA) durante

72 h, para molerse separadamente en molino Wiley (Arthur H. Thomas Company, USA) a través de una criba de 1 mm de diámetro.

Las muestras se almacenaron a 4 °C hasta análisis de proteína cruda (N x 6.25), extracto etéreo y cenizas de acuerdo con AOAC (2000); fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) por Van-Soest *et al.* (1991); lignina con ácido sulfúrico al 72 % (ANKON Technology, 2005), determinada solo en hoja + tallo de cada especie. La proporción hoja:tallo se determinó en una submuestra de material vegetativo que primero fue separada en sus componentes, luego secada y pesada.

Previo al análisis de alcaloides totales, polifenoles totales y taninos condensados, las muestras fueron tratadas con éter de petróleo para eliminar la grasa (Múzquiz *et al.*, 1993). Para ello, tres muestras de 0.5 g se homogenizaron con 10 mL de éter de petróleo, incubadas en baño de agua a 40 °C por 30 min y centrifugadas a 4500 xg a 25 °C por 5 min, en centrifuga marca Sigma® modelo 3-16k (Sigma, Alemania). El sobrenadante se decantó y el proceso se repitió tres veces. El residuo final se colocó en campana de extracción por 24 h hasta la evaporación completa del éter de petróleo.

Alcaloides totales

La extracción se hizo con la técnica de Múzquiz *et al.* (1993). Las muestras de tallo + hoja, de pericarpios o de semillas desengrasadas se homogenizaron con 5 mL de ácido tricloroacético al 0.5 %, centrifugadas a 4500 xg a 25 °C por 15 min, y el sobrenadante se separó. La extracción se repitió dos veces. El decantado se alcalinizó con 1 mL de NaOH 10 M, se agitó suavemente y se dejó reposar por 1 min. Se realizaron tres extracciones con 5 mL de diclorometano. El decantado se evaporó a temperatura ambiente hasta sequedad. Por diferencia de peso se calculó el contenido de alcaloides totales (Ruíz-López *et al.*, 2006).

Polifenoles totales

Se homogenizaron tres muestras molidas de 0.5 g de tallo + hoja, de pericarpios o de semillas con 5 mL de metanol a 80 % por 1 min, luego incubadas en baño de agua a 50 °C por 30 min y centrifugadas a 5000 xg a 25 °C por 10 min, y el sobrenadante se decantó. El proceso se repitió tres veces. El decantado se redujo a 40 °C en un baño de agua hasta un volumen de 2.5 mL (Gallegos-Infante *et al.*, 2010). Para la cuantificación, a 0.5 mL del decantado reducido se agregaron 6 mL de agua destilada y 100 μ L de reactivo de Folin-Ciocalteu (marca Sigma) con agitación de 1 min, 2 mL de carbonato de sodio (Na₂CO₃) a 15 % y 1.4 mL de agua destilada, para un volumen final de 10 mL. La mezcla

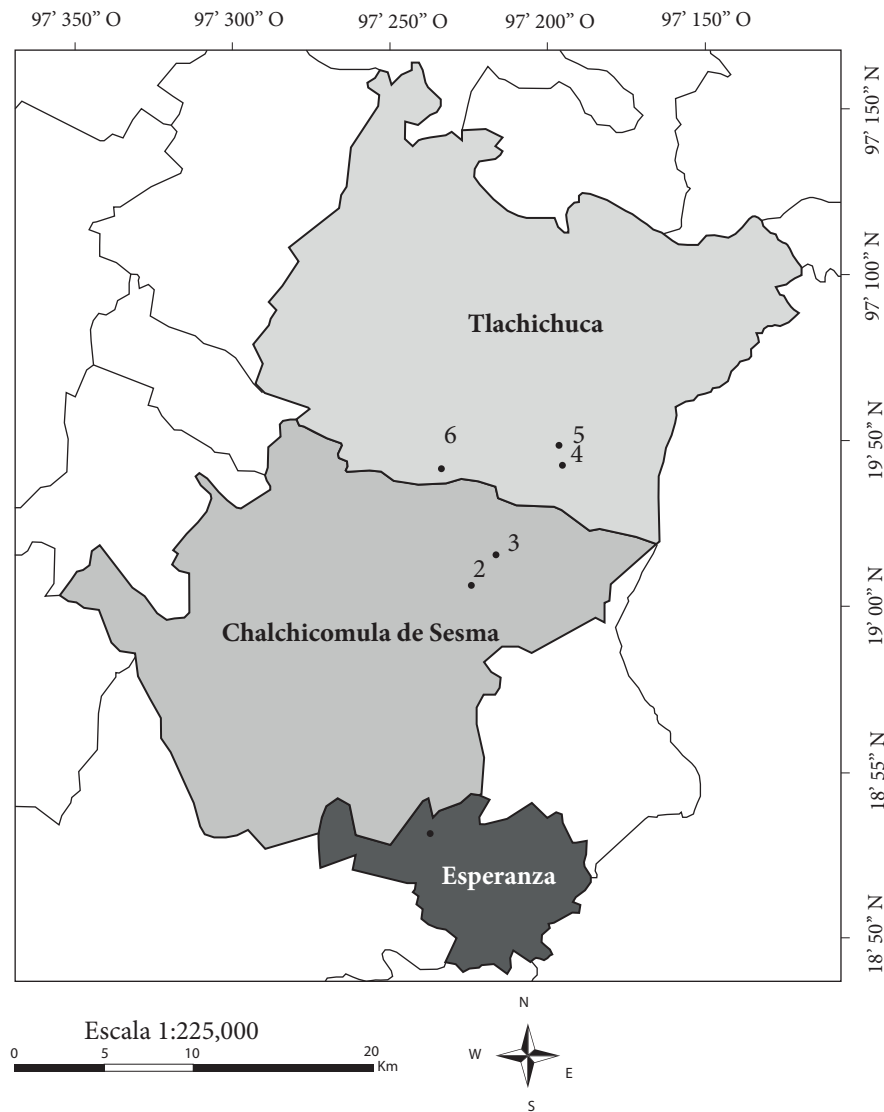


Figura 1. Localización de los sitios de recolecta de *Lupinus silvestris* en la región de los Valles de Serdán y Libres del estado de Puebla, México. *L. campestris*: 6; *L. exaltatus*: 2; *L. hintonii*: 3 y 4; *L. montanus*: 5.

se agitó vigorosamente y se dejó reposar por 1 h en oscuridad y temperatura ambiente ($\pm 27\text{ }^\circ\text{C}$) (Makkar *et al.*, 1993). La absorbancia se leyó a 760 nm en espectrofotómetro UV-Visible marca Thermo Electron Corporation modelo Génesis 10UV® (Thermo Electron Corporation, USA). Para la curva de calibración se utilizó como estándar ácido gálico, y la ecuación utilizada fue $Y = 0.0026X - 0.009$ ($R^2 = 0.9979$). Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico equivalentes/100 g.

Taninos condensados

Se homogenizaron tres muestras de 250 mg cada una con 10 mL de solución de ácido ascórbico a 0.1 % en acetona-agua (70:30 v/v), centrifugados a 9000 xg por 15 min y el

sobrenadante se decantó. El proceso se repitió tres veces. El volumen de los tres decantados fue combinado con 15 mL de éter dietílico, agitado vigorosamente y dejado en reposo por 5 min, y luego se decantó la fase inferior. Ésta fue evaporada en baño de agua a 38 °C por 3 h para eliminar los residuos del solvente, se diluyó a 25 mL con agua destilada y se almacenó en frascos color ámbar a 4 °C (Terrill *et al.*, 1992).

Para la cuantificación, a 1 mL del decantado diluido se agregaron 6 mL de solución de butanol-HCl (95:5). La mezcla fue homogenizada por 1 min e incubada en baño de agua a 95 °C por 75 min. La absorbancia se leyó a 550 nm en un espectrofotómetro UV-Visible marca Thermo Electron Corporation modelo Génesis 10UV® (Thermo

Electron Corporation, USA). Se utilizó como estándar una solución de catequina. La ecuación utilizada fue $Y = 0.0014X - 0.0069$ ($R^2 = 0.9645$). Los resultados se expresaron en mg de catequina equivalente/kg.

Los datos de composición química fueron sometidos a análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones, con el programa SAS® (SAS Institute, 2010). La comparación de medias entre especies de *Lupinus* se hizo por Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las semillas de las especies de *Lupinus* presentaron mayor contenido de proteína, extracto etéreo y alcaloides totales en comparación con los contenidos observados en hoja + tallo y pericarpios (Cuadro 1). El mayor contenido de cenizas se observó en hoja + tallo; y de FDN y FDA en pericarpios. El contenido de proteína de las semillas varió de 32.5 a 43.5 g/100 g entre especies, donde *L. montanus* presentó el mayor contenido. Se han observado también contenidos de proteína altos en semillas de *Lupinus* silvestres de otras regiones de México (Ruíz-López *et al.*, 2006; Jiménez-Martínez *et al.*, 2009; Güemes-Vera *et al.*, 2012) y en las especies mejoradas *L. albus*, *L. angustifolius*, *L. luteus* y *L. mutabilis* (30 a 44 g/100 g) (Sujak *et al.*, 2006). El contenido proteico de las semillas de lupino en estudio es similar al de la semilla de soya (*Glycine max* (L.)) Merr. (40.5 a 50 g/100 g) (Kohajdová *et al.*, 2011).

En hoja + tallo el contenido de proteína fluctuó de 22.2 a 25.5 g/100 g, mientras que en los pericarpios de 10.9 a 22.8 g/100 g. Los contenidos proteicos de hoja + tallo son relevantes en el estado de madurez de las plantas recolectadas (en floración), dada la relación inversa entre la edad de la planta y el contenido de proteína. Estos contenidos son superiores a los observados en el forraje de *L. albus* (Bhardwaj *et al.*, 2010), de *Medicago sativa* L. (16 a 20.5 g/100 g) y de *Arachis pintoi* Krapov. & W.C. Greg (12.5 a 19 g/100 g), y semejantes al de *Gliricidia sepium* Jacq. Kunth ex Walp. (23 g/100 g) (Delgado *et al.*, 2007; Martens *et al.*, 2012).

El contenido de extracto etéreo en semillas varió de 6.5 a 7.5 g/100 g (Cuadro 1). Valores bajos si se les compara con el de 19 g/100 g de las semillas de soya (De Luna-Jiménez, 2007). El contenido es también bajo en comparación a especies mejoradas de *Lupinus* como *L. albus* (7.1 a 11.5 g/100 g) (Jezierny *et al.*, 2010) y *L. mutabilis* (13.9 g/100 g) (Ortega-David *et al.*, 2010), pero similar al de otras especies de *Lupinus* silvestres de México (Ruíz-López *et al.*, 2006; Güemes-Vera *et al.*, 2012) y a *L. angustifolius* (6.8 g/100 g) y *L. luteus* (5.5 g/100 g) (Sujak *et al.*, 2006). En hoja + tallo y en pericarpios el contenido de extracto etéreo disminuyó notablemente con relación al observado en las semillas, que variaron de 0.1 a 1.7 g/100 g y de 0.1 a 0.6 g/100 g, respectivamente. Desde el punto de vista nutritivo estos resultados confirman que las semillas de lupino presentan potencial energético que puede ser aprovechado en alimentación, previa eliminación de alcaloides.

Cuadro 1. Composición química (promedio \pm desviación estándar) de hoja + tallo, pericarpio y semilla de cuatro especies de *Lupinus* de la región de los Valles de Serdán y Libres del estado de Puebla, México.

Componente	Especie	H	PC	EE	CEN	FDN	FDA	ELN
		(g/100 g)						
Hoja + tallo	<i>L. campestris</i>	81.0 \pm 2.18 a	25.5 \pm 0.39 a	0.1 \pm 0.03 c	10.6 \pm 0.33 a	38.2 \pm 0.22 c	21.7 \pm 0.21 c	25.3 \pm 0.63 c
	<i>L. exaltatus</i>	82.6 \pm 0.38 a	25.3 \pm 0.19 a	1.7 \pm 0.08 a	9.4 \pm 0.00 b	43.2 \pm 0.07 b	27.6 \pm 0.04 b	34.1 \pm 0.50 a
	<i>L. hintonii</i>	82.1 \pm 1.13 a	22.2 \pm 0.04 b	0.2 \pm 0.0 b	5.9 \pm 0.09 c	42.9 \pm 0.69 b	26.3 \pm 0.05 b	28.6 \pm 0.31 b
	<i>L. montanus</i>	81.6 \pm 3.18 a	22.6 \pm 0.47 b	0.4 \pm 0.03 b	9.4 \pm 0.38 b	44.1 \pm 0.24 a	30.1 \pm 0.23 a	23.4 \pm 1.14 d
Pericarpio [†]	<i>L. campestris</i>	84.9 \pm 10.0 a	22.8 \pm 0.02 a	0.6 \pm 0.01 a	5.4 \pm 0.20 b	54.4 \pm 0.65 d	34.0 \pm 0.04 c	16.7 \pm 0.44 b
	<i>L. exaltatus</i>	86.8 \pm 3.33 a	18.3 \pm 0.41 b	0.1 \pm 0.09 a	6.5 \pm 0.19 a	57.0 \pm 0.78 c	34.6 \pm 0.25 c	17.8 \pm 0.91 b
	<i>L. hintonii</i>	86.3 \pm 2.26 a	10.9 \pm 0.24 d	0.1 \pm 0.02 a	4.8 \pm 0.12 c	68.4 \pm 0.80 a	47.1 \pm 0.67 a	15.6 \pm 0.14 b
	<i>L. montanus</i>	79.6 \pm 1.52 ab	14.6 \pm 0.02 c	0.4 \pm 0.23 a	5.5 \pm 0.00 b	63.9 \pm 0.14 b	39.3 \pm 0.5 b	15.3 \pm 0.59 b
Semilla	<i>L. campestris</i>	85.8 \pm 11.9 ab	40.5 \pm 2.88 a	7.5 \pm 0.83 a	4.4 \pm 0.05 b	16.7 \pm 0.01 c	5.0 \pm 0.18 b	39.3 \pm 0.17 a
	<i>L. exaltatus</i>	72.8 \pm 10.7 b	38.5 \pm 2.88 ab	6.5 \pm 0.68 a	5.2 \pm 0.04 ab	24.7 \pm 0.92 a	4.4 \pm 0.28 b	22.9 \pm 5.18 b
	<i>L. hintonii</i>	90.5 \pm 6.36 a	32.5 \pm 0.57 c	7.0 \pm 0.24 a	6.3 \pm 0.09 a	18.4 \pm 0.02 c	7.9 \pm 0.14 a	24.4 \pm 1.58 b
	<i>L. montanus</i>	78.5 \pm 8.95 ab	43.5 \pm 1.52 a	7.1 \pm 0.76 a	4.3 \pm 0.05 b	21.6 \pm 0.53 b	4.8 \pm 0.19 b	28.3 \pm 3.89 b

[†]Pericarpio = vainas sin semilla; H = humedad; PC = proteína cruda; EE = grasa; CEN = minerales; FDN = fibra detergente neutro; FDA = fibra detergente ácido; ELN = extracto libre de nitrógeno, calculado como 100-(PC+EE+CEN+FDN). Medias con letras iguales sobre una columna por componente no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

El rango de variación entre especies para el contenido de cenizas en las semillas fue de 4.3 a 6.3 g/100 g, con el mayor contenido en *L. hintonii* (Cuadro 1). Estos valores son altos comparados con los de otras fabáceas comestibles (Han y Baik, 2008), otros lupinos silvestres mexicanos (Ruíz-López *et al.*, 2006) y especies mejoradas (Sujak *et al.*, 2006; León-Marrou *et al.*, 2011). En hoja + tallo los valores fueron superiores (5.9 a 10.6 g/100 g); *L. campestris* tuvo el mayor contenido, comparable al encontrado en hojas de *L. exaltatus* del Nevado de Colima (Ruíz-López *et al.*, 2006).

En pericarpio el rango de variación entre especies del contenido de cenizas fue semejante al observado en semillas, de 4.8 a 6.5 g/100 g. Tal variabilidad en cenizas entre las especies estudiadas y otras silvestres de lupino de México (Ruíz-López *et al.*, 2006; Güemes-Vera *et al.*, 2012), podría deberse al efecto del contenido nutrimental de los suelos donde se desarrollan estas plantas (Martínez-Villaluenga *et al.*, 2006).

Los contenidos de FDN de las semillas de *Lupinus* (16.7 a 24.7 g/100 g) (Cuadro 1) se encuentran dentro del intervalo de las semillas de *L. angustifolius* y *L. luteus* (22 a 26 g/100 g), pero son superiores a los de las semillas de *Lathyrus sativus* L. (10.18 to 13.55 %) (Jezierny *et al.*, 2010; Karadag y Yavuz, 2010). Los contenidos de FDN en hoja + tallo, al igual que en otras fabáceas (Delgado *et al.*, 2007; Martens *et al.*, 2012), fluctuaron de 38.2 a 43.4 g/100 g. Entre los órganos estudiados, los pericarpios presentaron los mayores contenidos de fibra (54.4 a 68.4 g/100 g). Para FDA, que indica el contenido de celulosa, lignina y sílice en la fracción de fibra, las semillas mostraron un rango de 4.4 a 7.9 g/100 g, hoja + tallo de 21.7 a 30.1 g/100 g, y pericarpio de 34.0 a 47.1 g/100 g. No existen reportes sobre contenidos de fibra en pericarpio que permitan realizar comparaciones.

En general, de los lupinos en estudio *L. campestris* presentó los menores contenidos de FDA en las semillas, hoja + tallo y pericarpio.

La lignina es un componente de la fibra que no tiene valor energético para el animal, incluso restringe la digestibilidad de otros componentes de la fibra (Tacon y Metian, 2008). En fabáceas los valores de lignina se encuentran entre 8.3 a 13.3 g/100 g (Delgado *et al.*, 2007). En hoja + tallo los valores entre especies fluctuaron entre 12.5 y 13.9 g/100 g y en pericarpio entre 9.1 y 12.1 g/100 g (Cuadro 2). Los contenidos de lignina más altos en hoja + tallo pueden deberse a una mayor proporción de tallos que de hojas en la composición de los lupinos, principalmente en *L. montanus* (Cuadro 3).

Los alcaloides son metabolitos secundarios cuya concentración puede constituir una limitante para el consumo de los alimentos que los contienen (Múzquiz *et al.*, 2011). En el género *Lupinus* éstos se encuentran en abundancia (Wink, 2003; Ruiz-López *et al.*, 2010). El rango de variación en el contenido de alcaloides totales en semilla estuvo entre 2.4 a 5.3 g/100 g. *L. hintonii* presentó el mayor contenido ($P \leq 0.05$), y su valor se encuentra en el rango superior reportado por Múzquiz *et al.* (1994) y Kurlovich *et al.* (2003). Por esto, la reducción de alcaloides para uso de esta especie en alimentación animal sería complicado y cara.

Sin embargo, estos alcaloides podrían aprovecharse en otra forma, como en el fitocontrol de hongos y bacterias (Bermúdez-Torres *et al.*, 2009). El contenido de alcaloides totales de *L. campestris*, *L. exaltatus* y *L. montanus* es similar al de las mismas especies en otras regiones del país (2.1 a 2.7 g/100 g) (Jiménez-Martínez *et al.*, 2003b; Zamora-Natera *et al.*, 2009; Ruíz-López *et al.*, 2010). En hoja +

Cuadro 2. Contenido de lignina (g/100 g), alcaloides totales (g/100 g) y polifenoles totales (mg/100 g) en diferentes órganos (promedio \pm desviación estándar) de cuatro especies de *Lupinus* de la región de los Valles de Serdán y Libres del estado de Puebla, México.

Componente		<i>L. campestris</i>	<i>L. exaltatus</i>	<i>L. hintonii</i>	<i>L. montanus</i>
Hoja + tallo	LIG	12.5 \pm 0.62 a	12.9 \pm 0.23 a	13.0 \pm 0.25 a	13.9 \pm 0.42 a
	AT	1.4 \pm 0.20 c	2.1 \pm 0.00 b	3.3 \pm 0.01 a	1.2 \pm 0.04 c
	PT	556 \pm 0.92 b	630 \pm 1.92 b	813 \pm 8.88 a	656 \pm 48.5 b
Pericarpio [†]	LIG	12.1 \pm 0.85 a	9.1 \pm 0.01 b	9.2 \pm 0.26 b	11.8 \pm 1.70 a
	ALC	2.6 \pm 0.01 b	2.6 \pm 0.19 b	5.8 \pm 0.07 a	2.4 \pm 0.18 b
	PT	444 \pm 28.00 b	362 \pm 18.0 b	590 \pm 18.0 a	467 \pm 9.00 b
Semilla	ALC	2.6 \pm 0.07 b	2.6 \pm 0.00 b	5.3 \pm 0.07 a	2.4 \pm 0.19 b
	PT	314 \pm 4.00 b	221 \pm 9.00 b	554 \pm 52.0 a	328 \pm 6.00 b

Medias con letras iguales sobre una línea no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). [†]Pericarpio = vainas sin semilla; LIG = lignina; AT = alcaloides totales; PT = polifenoles totales.

Cuadro 3. Proporción de hoja:tallo (promedio \pm desviación estándar) durante la etapa de floración en especies silvestres de *Lupinus* de la región de los Valles de Serdán y Libres del estado de Puebla, México.

Especie	Proporción hoja:tallo
<i>L. campestris</i>	1.07 \pm 0.39
<i>L. exaltatus</i>	0.98 \pm 0.22
<i>L. hintonii</i>	0.73 \pm 0.21
<i>L. montanus</i>	0.37 \pm 0.07

tallo el contenido de alcaloides varió entre 1.2 a 3.3 g/100 g; nuevamente, el valor más alto correspondió a *L. hintonii* que superó ($P \leq 0.05$) a *L. campestris* y *L. montanus*. Estos contenidos son similares a lo observado previamente en el follaje de *L. exaltatus* (Ruíz-López *et al.*, 2006) durante la etapa de floración, y que varían según la etapa fenológica. Durante la fructificación los contenidos son inferiores: en hojas (0.61 g/100 g) y en tallos (0.31 g/100 g) (Zamora-Natera *et al.*, 2009).

En pericarpio la variación de este contenido fue de 2.4 a 5.8 g/100 g. El mayor contenido de alcaloides en semillas y pericarpios de los *Lupinus* en estudio, respecto al de las hojas, puede ser porque desde las hojas jóvenes en donde se sintetizan, se transportan vía floema a otros órganos como frutos y semillas, donde constituyen un mecanismo de defensa contra depredadores (Lee *et al.*, 2007).

Otro grupo de metabolitos secundarios encontrados en plantas son los polifenoles, que parecen estar involucrados en mecanismos de defensa contra insectos, hongos, bacterias y virus, además de interactuar con las proteínas (Bartolomé *et al.*, 2000). Entre las especies evaluadas, la mayor concentración de polifenoles totales se encuentra en hoja + tallo (556 a 813 mg/100 g MS), seguida de la del pericarpio (362 a 590 mg/100 g MS) y semilla (221 a 554 mg/100 g MS) (Cuadro 2). *L. hintonii* presentó el mayor contenido de polifenoles totales ($P \leq 0.05$). Los taninos condensados (TC) se encuentran en concentraciones inferiores a 60 g kg⁻¹ en todas las especies en estudio, incluso las semillas de *L. exaltatus* y *L. campestris* no presentaron taninos condensados

(Cuadro 4). Esto indica que en caso de consumirse por animales, el metabolismo de los microorganismos ruminales no se verá afectado y en consecuencia estos metabolitos no serían los que provocarían intoxicación en el animal (López *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

Las especies *L. montanus*, *L. campestris* y *L. exaltatus* sobresalen por sus altos contenidos de proteína y grasa, bajos en fibra detergente neutro en semilla y en hoja + tallo. Sin embargo, sus altos contenidos de alcaloides en los diferentes órganos de estos lupinos parecen ser la principal limitante para su aprovechamiento en alimentación, por lo que se deberán de buscar alternativas tecnológicas para reducir la concentración de estos metabolitos en la planta sin afectar su función como mecanismo de defensa ante patógenos y predadores.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Línea Prioritaria de Investigación 6 Conservación y Mejoramiento de Recursos Genéticos del Colegio de Postgraduados, por el apoyo económico para la realización del presente estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- ANKON Technology (2005) Method 8 Determining Acid Detergent Lignin in beakers. Wet Chemistry Procedures. Ankom Technology, USA. <http://www.ankom.com>
- AOAC, Association of Official Analytical Methods (2000) Official Methods of Analysis of the AOAC. 16th ed. Off. Agric. Chem., Washington, D.C., U.S.A.
- Barrientos D. L., A. Montenegro B. e I. Pino N. (2002) Evaluación de la fijación simbiótica de nitrógeno de *Lupinus albus* y *L. angustifolius* en un andisol vilcun del sur de Chile. *Terra* 20:39-44.
- Bartolomé B., I. Estrella and T. Hernández M. (2000) Interaction of low molecular weight phenolics with protein (BSA). *Food Chemistry and Toxicology* 65:617-621.
- Bermúdez-Torres K., J. Martínez H., R. Figueroa B., M. Wink and L. Legal (2009) Activity of quinolizidine alkaloids from three Mexican *Lupinus* against the lepidopteran crop pest *Spodoptera frugiperda*. *BioControl* 54:459-466.
- Bhardwaj H. L., D. E. Starner and E. van-Santen (2010) Preliminary evaluation of white lupin (*Lupinus albus* L.) as a forage crop in the mid-atlantic region of the United States of America. *Journal of Agricultural Sciences* 2:13-17.

Cuadro 4. Concentración de taninos condensados (promedio \pm desviación estándar) de diferentes especies de *Lupinus* de la región de los Valles de Serdán y Libres del estado de Puebla, México.

Componente	<i>L. campestris</i>	<i>L. exaltatus</i>	<i>L. hintonii</i>	<i>L. montanus</i>
	(mg kg ⁻¹)			
Semilla	0	0	22.71 \pm 32.1	12.71 \pm 17.9
Hoja + tallo	84.0 \pm 18.2	99.71 \pm 4.0	66.85 \pm 2.0	85.42 \pm 12.1
Pericarpio	52.57 \pm 6.1	115.42 \pm 2.0	142.57 \pm 64.6	54.00 \pm 0.0

- Delgado D. C., O. La O. y B. Chongo (2007) Composición bromatológica y degradabilidad ruminal *in situ* de leguminosas tropicales herbáceas con perspectiva de uso en los sistemas productivos ganaderos. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 41:343-346.
- De Luna-Jiménez A. (2007) Composición y procesamiento de la soya para consumo humano. *Investigación y Ciencia* 37:35-44.
- Gallegos-Infante J. A., N. E. Rocha-Guzmán, R. F. González-Laredo and J. Pulido-Alonso (2010) Effect of processing on the antioxidant properties of extracts from Mexican barley (*Hordeum vulgare*) cultivar. *Food Chemistry* 119:903-906.
- Güemes-Vera N., J. Martínez-Herrera, J. F. Hernández-Chavez, J. Yanez-Fernandez and A. Totosaus (2012) Comparison of chemical composition and protein digestibility, carotenoids, tannins and alkaloids content of wild *Lupinus* varieties flour. *Pakistan Journal of Nutrition* 11:676-682.
- Han H. and B. K. Baik (2008) Antioxidant activity and phenolic content of lentils (*Lens culinaris*), chickpeas (*Cicer arietinum*), peas (*Pisum sativum*) and soybeans (*Glycine max*), and their quantitative change during processing. *International Journal of Food Science and Technology* 43:1971-1978.
- Jezierny D., R. Mosenthin and E. Bauer (2010) The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology* 157:111-128.
- Jiménez-Martínez C., H. Hernández-Sánchez and G. Dávila-Ortiz (2003a) Production of a yogurt-like product from *Lupinus campestris* seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83:515-522.
- Jiménez-Martínez C., G. Loarca-Piña and G. Dávila-Ortiz (2003b) Antimutagenic activity of phenolic compounds, oligosaccharides and quinolizidinic alkaloids from *Lupinus campestris* seeds. *Food Additives and Contaminants* 20:940-948.
- Jiménez-Martínez C., R. Campos-Gentiola, M. E. Sánchez-Espíndola, A. Jiménez-Aparicio, G. Gutiérrez-López and G. Dávila-Ortiz (2009) Microstructural changes in *Lupinus campestris* seed in response to three thermal debittering treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89:2399-2404.
- Karadag Y. and M. Yavuz (2010) Seed yields and biochemical compounds of grasspea (*Lathyrus sativus* L.) lines grown in semi-arid regions of Turkey. *African Journal of Biotechnology* 9:8343-8348.
- Khatab R. Y., S. D. Arntfield and C. Nyachoti (2009) Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments, Part 1: Protein quality evaluation. *LWT-Food Science and Technology* 42:1107-1112.
- Kohajdová Z., J. Karovičová and Š. Schmidt (2011) Lupin composition and possible use in Bakery-A review. *Czech Journal Food Science* 29:203-211.
- Kurlovich B. S., J. Heiñanen, L. T. Kartusova, I. Benken, Z. V. Chmel'eva and M. L. Bernatskaya (2003) Diversity of lupin (*Lupinus* L.) based on biochemical composition. *Plant Genetic Resources Newsletter* 134:42-57.
- 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.
- Lee M., J. S. Pate, D. J. Harris and C. A. Atkins (2007) Synthesis, transport and accumulation of quinolizidine alkaloids in *Lupinus albus* L. and *L. angustifolius* L. *Journal of Experimental Botany* 58:935-946.
- León-Marrou M. E., M. Y. Villacorta-González y S. E. Pagador F. (2011) Composición química de "oca" (*Oxalis tuberosa*), "arracacha" (*Arracacia xanthorrhiza*) y "tarwi" (*Lupinus mutabilis*): Formulación de una mezcla base para productos alimenticios. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 2:239-252.
- López J., I. Tejada, C. Vásquez, J. de D. Garza and A. Shimada (2004) Condensed tannins in humid tropical fodder crops and their *in vitro* biological activity: Part 1. *Journal of the Science Food and Agriculture* 84:291-294.
- Martens S. D., T. T. Tiemann, J. Bindelle, M. Peters and C. E. Lascano (2012) Alternative plant protein sources for pigs and chickens in the tropics-nutritional value and constraints: a review. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics* 113:101-123.
- Makkar H. P. S., M. Blummel, N. K. Borowy and K. Becker (1993) Gravimetric determination of tannins and their correlations with chemical and protein precipitation methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 61:161-165.
- Martínez-Villaluenga C., J. Frias and C. Vidal-Valverde (2006) Functional lupin seeds (*Lupinus albus* L. and *Lupinus luteus* L.) after extraction of α -galactosides. *Food Chemistry* 98:291-299.
- Múzquiz M., C. Burbano, C. Cuadrado and C. de la Cuadra (1993) Determination of thermoresistant antinutritional factors in legumes. I. Alkaloids. *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal* 8:351-361.
- Múzquiz M. E., C. de la Cuadra, C. Cuadrado, C. Burbano and R. Calvo (1994) Herbicide-like effect of *Lupinus* alkaloids. *Industrial Crops and Products* 2:173-280.
- Múzquiz M., E. Guillamon, C. Burbano, H. Pascual, B. Cabellos, C. Cuadrado and M. M. Pedrosa (2011) Chemical composition of a new *Lupinus* species found in Spain, *Lupinus mariae-josephi* H. Pascual (Fabaceae). *Spanish Journal of Agricultural Research* 9:1233-1244.
- 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.
- Pablo-Pérez M., L. C. Lagunes-Espinoza, J. Ramos-Juárez, J. López-Upton, E. M. Aranda-Ibáñez and L. Vargas-Villamil (2014) Ruminal degradation of aerial biomass and seeds of wild species of *Lupinus*. *Ciencia e Investigación Agraria* 41:5-12.
- Przybylak J. K., D. Ciessiolka, W. Wysocka, P. M. García-López, M. A. Ruíz-López, W. Wysocki and K. Gulewicz (2005) Alkaloid profiles of Mexican wild lupin and an effect of alkaloid preparation from *Lupinus exaltatus* seeds on growth and yield of paprika (*Capsicum annum* L.). *Industrial Crops Products* 21:1-7.
- Ruiz-López M. A., P. M. García-López, H. Castañeda-Vazquez, J. F. Zamora N., P. Garzón de la Mora, J. Bañuelos Pineda, C. Burbano, M. M. Pedrosa, C. Cuadrado and M. Múzquiz (2000) Chemical composition and antinutrient content of three *Lupinus* species from Jalisco, Mexico. *Journal of Food Composition and Analysis* 13:193-199.
- Ruiz-López M. A., M. R. Rodríguez y S. Navarro P. (2006) Evaluación químico-nutricional de *Lupinus exaltatus* Zucc., del Nevado de Colima, México, como fuente potencial de forraje. *Interciencia* 31:758-761.
- Ruiz-López M. A., P. M. García-López, R. Rodríguez-Macias, J. F. Zamora-Natera, M. L. Isaac-Virgen and M. Múzquiz (2010) Mexican wild lupines as a source of quinolizidine alkaloids of economic potential. *Polibotánica* 29:159-164.
- SAS Institute (2010) User's Guide: Statistics, version 9.3. SAS Inst. Inc., Cary, North Carolina, USA.
- Sujak A., A. Kotlarz and W. Strobel (2006) Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. *Food Chemistry* 98:711-719.
- Tacon A. G. J. and M. Metian (2008) Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. *Aquaculture* 285:146-158.
- Terrill T. H., A. M. Rowan, G. D. Douglas and T. N. Barry (1992) Determination of extractable and bound condensed tannin concentrations in forage plants, protein concentrates meals and cereal grains. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 58:321-329.
- van Soest P. J., J. Robertson and B. Lewis (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74:3583-3597.
- Wink M. (2003) Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. *Phytochemistry* 64:3-19.
- Zamora-Natera J. F., P. García-López, M. A. Ruíz-López, E. Salcedo P. y R. Rodríguez-Macias (2009) Composición y concentración de alcaloides en *Lupinus exaltatus* Zucc. durante su crecimiento y desarrollo. *Interciencia* 34:672-676.