

# COMPOSICIÓN Y CONCENTRACIÓN DE ALCALOIDES EN *Lupinus*

## *exaltatus* Zucc. DURANTE SU CRECIMIENTO Y DESARROLLO

Francisco Zamora-Natera, Pedro García-López, Mario Ruiz-López, Ramón Rodríguez-Macias y Eduardo Salcedo-Pérez

### RESUMEN

Por sus características nutricionales *Lupinus exaltatus* es considerado una fuente alternativa de alimento para animales en zonas templadas, pero la presencia de alcaloides quinolizidínicos limita su consumo. Se determinó la composición y concentración de alcaloides en hojas, tallos, flores y frutos inmaduros de *L. exaltatus* durante cinco etapas fenológicas para proponer alternativas de uso y manejo de esta especie como forraje. Se estableció un cultivo en macetas y en cada etapa fenológica se tomaron seis plantas que se separaron en sus diferentes órganos, para ser deshidratados y analizar su composición y contenido de alcaloides por cromatografía de gases capilar-espectrometría de masas (CG-EM). En cada etapa y órganos se identificaron los alcaloides quinolizidínicos lupanina, 3- $\beta$ -hidroxilupanina, afillina, epiaphilina, dehidro-oxoesparteína y  $\alpha$ -isolupanina. Aun-

que el perfil permaneció constante, la concentración de alcaloides totales en los diferentes órganos fluctuó significativamente (0,31-2,1%) en función de las etapas de crecimiento. Tras cinco etapas de crecimiento y desarrollo el menor contenido promedio de alcaloides se encontró en tallos (0,63%) mientras que en frutos inmaduros (vainas verdes) se encontró el más alto (1,95%). La lupanina resultó ser el compuesto individual mayoritario en tallos y frutos. Aunque no se detectaron alcaloides potencialmente tóxicos y teratogénicos (esparteína citisina, anagirina y amodendrina), los resultados indican que el mayor riesgo de intoxicación del ganado por consumo de *L. exaltatus* podría ocurrir en las etapas de formación de vainas y fructificación, debido a la alta concentración de alcaloides totales y mayor abundancia de lupanina en frutos inmaduros.

### Introducción

El género *Lupinus*, con más de 300 especies descritas, forma un grupo importante dentro de la familia Leguminosae, tribu Genisteae. Doce especies son originarias de Europa y África, mientras que el resto se encuentran distribuidas en América, desde Alaska hasta Argentina (Planchuelo, 1994). Algunas especies del género, tales como *Lupinus angustifolius*, *L. albus*, *L. luteus* y *L. mutabilis*, han sido cultivadas en diferentes partes del mundo debido a que el follaje y principalmente las semillas representan una fuente importante de proteínas cuyos valores varían de 30 a 40% en base seca según la especie, variedad y condiciones ambientales.

Un estudio basado en revisiones de herbario indicó que en México el número de especies del género *Lupinus* es ~111 (Bermúdez *et al.*, 2000), que se distribuyen desde Baja California a Chiapas a lo largo de las cadenas montañosas, con una mayor diversidad en la Faja Volcánica Transmexicana. Entre estas, *L. exaltatus* Zucc. es una especie anual o bianual que crece en claros de bosques de coníferas, a orillas de caminos y zonas de cultivo a 1800-2200msnm. Se distribuye en los estados de Jalisco, Morelos, Puebla, Estado de México, Michoacán, Colima y Guanajuato (Mc Vaugh, 1987; Dunn, 2001).

En la región sur del estado de Jalisco, es común encontrar esta especie en los meses más fríos

(<0° C) del año, época cuando escasean plantas silvestres con potencial forrajero. Aunque no hay antecedentes sobre la utilización de esta planta como forraje, pobladores de la región indican que el ganado la consume ocasionalmente.

Estudios sobre su composición química indican que *L. exaltatus* presenta valores de proteína de 23,5% en el follaje, similares o superiores a los que se han encontrado en otras leguminosas silvestres y cultivadas con importancia forrajera (Ruiz *et al.*, 2006). Sin embargo, al igual que muchas otras leguminosas los lupinos sintetizan y almacenan en sus tejidos sustancias antinutricionales o tóxicas (Muzquiz *et al.*, 1993). En particular, las especies del género *Lupinus* sintetizan y

almacenan alcaloides quinolizidínicos, los cuales son tóxicos y confieren a la planta un sabor amargo. Aunque pueden acumularse en todos los órganos de la planta, las semillas se caracterizan por ser los principales sitios de almacenamiento (Wink, *et al.*, 1995).

Si bien en México no se tienen reportes sobre intoxicación del ganado que ocasionalmente consume estas especies, en EEUU y Canadá se documentó hace ya tiempo que la ingestión de lupinos silvestres ha resultado en pérdidas de ovejas por envenenamiento y que los alcaloides quinolizidínicos se relacionan con dicha intoxicación, la cual consiste en falla respiratoria, convulsiones y coma, que provocan finalmente la muerte (Kingsbury, 1964; Kinghorn, 1980).

### PALABRAS CLAVE / Alcaloides Quinolizidínicos / Forraje / Leguminosas / Lupanina / *Lupinus exaltatus* /

Recibido: 21/11/2008. Modificado: 14/09/2009. Aceptado: 16/09/2009.

**Juan Francisco Zamora-Natera.** Ingeniero Agrónomo, Universidad de Guadalajara (UdG), Mérxico. Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Mérxico Doctor en Ciencias Agrícolas, Colegio de Posgraduados (COLPOS), Mérxico. Profesor-Investigador, UdG, Mérxico. Dirección: Cen-

tro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, UdG, Carretera Guadalajara-Nogales- Km 15.5, las Agujas, Nextipac, Zapopan Jalisco. C.P. 45101, Mérxico. e-mail:jfzamora@cucba.udg.mx

**Pedro García-López.** Médico Veterinario Zootecnista, UdG, Mérxico. M.Sc. en Nutrición

Animal, University of Delaware, EEUU. Profesor-Investigador, UdG, Mérxico.

**Mario A. Ruiz-López.** Licenciado en Biología y Maestría en Nutrición Animal, UdG, Mérxico. Doctor en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de Mérxico. Profesor-Investigador, UdG, Mérxico.

**Eduardo Salcedo-Pérez.** Ingeniero Agrónomo, UdG, Mérxico. Doctor en Ciencias Agrícolas, Colegio de Posgraduados, Mérxico. Profesor-Investigador, UdG, Mérxico.

**Ramón Rodríguez-Macias.** Ingeniero Agrónomo, UdG, Mérxico. Doctor en Ciencias Agrícolas, COLPOS. Profesor-Investigador, UdG, Mérxico.

## ALKALOID COMPOSITION AND CONCENTRATION IN *Lupinus exaltatus* Zucc. DURING ITS GROWTH AND DEVELOPMENT

Francisco Zamora-Natera, Pedro García-López, Mario Ruiz-López, Ramón Rodríguez-Macías and Eduardo Salcedo-Pérez

### SUMMARY

Due to its nutritional characteristics, *Lupinus exaltatus* is considered as an alternative source of animal feed in temperate regions. However, the presence of quinolizidine alkaloids in different plant organs limits its consumption. The composition and concentration of alkaloids in leaves, stems, flowers, and immature fruits of *L. exaltatus* was determined in five different phenological stages with the final purpose of suggesting alternatives for its management and use as forage. Plants were sowed in pots and at each phenological stage six plants were harvested and separated in roots, stems, leaves, flowers, and immature pods that were air dried to constant weight. Each organ was analyzed for alkaloid composition and content by capillary gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). In each phenological stage and in all organs the alkaloid profile was char-

acterized by the presence of six major alkaloids: epiaphylline, aphylline,  $\alpha$ -isolupanine, lupanine, dehydro-oxosparteine and 3- $\beta$ -hydroxylupanine. Although the alkaloid profile was constant, the total concentration in the different organs showed a significant variation (0.31-2.1%) in the different phenological stages. In general, after the five growth stages the stems showed the lowest average total alkaloid concentration (0.63%) whereas immature pods had the highest total alkaloids (1.95%). Lupanine was the major alkaloid in stems and fruits. Although alkaloids with the highest toxicity (sparteine, anagyrine and ammodendrine) were not detected, the results indicate that the major risk for intoxication could occur during pod growth and seed ripening, due to high total alkaloid content and larger abundance of lupanine in immature fruits.

## COMPOSIÇÃO E CONCENTRAÇÃO DE ALCALOIDES EM *Lupinus exaltatus* Zucc. DURANTE SEU CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO

Francisco Zamora-Natera, Pedro García-López, Mario Ruiz-López, Ramón Rodríguez-Macías e Eduardo Salcedo-Pérez

### RESUMO

Por suas características nutricionais *Lupinus exaltatus* é considerado uma fonte alternativa de alimento para animais em regiões temperadas, mas a presença de alcalóides quinolizidínicos limita seu consumo. Determinou-se a composição e concentração de alcalóides em folhas, caules, flores e frutos imaturos de *L. exaltatus* durante cinco etapas fenológicas para propor alternativas de uso e manejo desta espécie como forragem. Estabeleceu-se um cultivo em vasos e em cada etapa fenológica foram colhidas seis plantas e separadas em seus diferentes órgãos, para serem desidratados e para analisar sua composição e conteúdo de alcalóides por cromatografia de gases capilar-espectrometria de massas (CG-EM). Em cada etapa e órgãos foram identificados os alcalóides quinolizidínicos lupanina, 3- $\beta$ -hidroxi lupanina, afillina, epiaphilina, dehidro-oxosparteína e

$\alpha$ -isolupanina. Ainda que o perfil tenha permanecido constante, a concentração de alcalóides totais nos diferentes órgãos flutuou significativamente (0,31-2,1%) em função das etapas de crescimento. Depois de cinco etapas de crescimento e desenvolvimento o menor conteúdo médio de alcalóides foi encontrado em caules (0,63%) enquanto que em frutos imaturos (vagens verdes) se encontrou o mais alto (1,95%). A lupanina resultou ser o composto individual maioritário em caules e frutos. Ainda que não se detectaram alcalóides potencialmente tóxicos e teratogênicos (esparteína, citisina, anagrina e amodendrina), os resultados indicam que o maior risco de intoxicação do gado por consumo de *L. exaltatus* poderia ocorrer nas etapas de formação de vagens e frutificação, devido a alta concentração de alcalóides totais e maior abundância de lupanina em frutos imaturos.

También ha sido reportado que la ingestión de forraje de *L. caudatus*, *L. laxiflorus* y *L. leucophyllus* por bovinos durante la gestación provoca defectos congénitos en los becerros al nacer (enfermedad del becerro encorvado), malformaciones congénitas que están relacionadas con los alcaloides anagrina y amodendrina (Keller y Panter, 1989; Gardner y Panter, 1993). Un análisis de alcaloides en semillas de *L. exaltatus* indicó la ausencia de los alcaloides teratogénicos mencionados; sin embargo, se detectaron concentraciones altas de lupanina, un alcaloide generalmente abundante y potencialmente tóxico en esta especie

(Ruiz y Sotelo, 2001; Przybylak et al., 2005).

Con el propósito de determinar la etapa de crecimiento en que los lupinos silvestres acumulan los niveles más bajos de alcaloides para aprovechar su forraje sin riesgo de intoxicación se ha sugerido realizar estudios para conocer la dinámica de transporte y acumulación de estos compuestos y en particular aquellos con efectos teratogénicos durante las diferentes etapas fenológicas en las especies de *Lupinus* con potencial forrajero. El presente estudio se llevó a cabo a fin de determinar la composición y contenido de alcaloides totales en diferentes órganos de *L.*

*exaltatus* durante su crecimiento y desarrollo.

### Materiales y Métodos

#### Siembra y cultivo

Se estableció un cultivo de *Lupinus exaltatus* Zucc. en macetas durante el periodo octubre-abril 2004-2005 en el Colegio de Posgraduados, Montecillos, Estado de México. Las semillas utilizadas para la siembra fueron recolectadas en marzo de 2003 de poblaciones silvestres localizadas en el municipio de Ciudad Guzmán, Jalisco. También se recolectaron y procesaron ejemplares de herbario para su determinación taxonómica en

el Herbario IBUG de la Universidad de Guadalajara. Las semillas fueron escarificadas manualmente mediante una pequeña ruptura en la cutícula y se sembraron el 4/10/2004 en charolas de germinación. Después de que las plántulas desarrollaron la segunda hoja verdadera (25 días de la siembra) se trasladaron en macetas de 45cm de altura y 30cm de diámetro.

El sustrato para la germinación y crecimiento de las plantas mostró pH 5,6; conductividad eléctrica 0,58dS·m<sup>-1</sup>; materia orgánica 4,2%; N<sub>2</sub> total 0,24%; y concentración de P 20,86ppm. Se realizaron riegos a capacidad de campo aproximadamente cada 15 días durante las etapas

TABLA I  
FECHAS, ETAPAS FENOLÓGICAS Y ÓRGANOS COSECHADOS  
DE *Lupinus exaltatus* DURANTE SU CRECIMIENTO

Fecha de muestreo	Órganos cosechados	Etapas fenológicas	Características morfológicas
1: 10/01/2005	Hojas, tallos	Antes de floración	Tallos cortos (de 4-6 nudos visibles)
2: 05/02/2005	Hojas, tallos	Inicio de floración	Tallo principal con flores
3: 28/02/2005	Hojas, tallos, flores	Floración	Todos los tallos secundarios con flores
4: 26/03/2005	Hojas, tallos, flores, frutos	Desarrollo de vainas	Tallos con frutos inmaduros y algunos con flores
5: 21/04/2005	Hojas, tallos, flores, frutos	Fructificación	Frutos con semillas maduras y algunos frutos inmaduros

iniciales del desarrollo, mientras que en las etapas posteriores (inicio de floración hasta fructificación) el riego se realizó cada ocho días. Las malezas se eliminaron manualmente. Los datos correspondientes a la temperatura registrada durante el crecimiento se obtuvieron de la estación Meteorológica del Colegio de Postgraduados.

En la Tabla I se muestran las características principales que correspondieron a los muestreos realizados durante las diferentes etapas del crecimiento de *L. exaltatus*. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con seis repeticiones, considerando como unidad experimental una planta por maceta.

#### Obtención del material vegetal

Se tomó al azar seis plantas completas, a las cuales se les separaron los diferentes órganos: tallos, hojas, flores y frutos inmaduros, según la etapa fenológica. Cada órgano por separado se secó en una estufa con circulación de aire forzado a 50°C hasta peso constante. Después de registrar el contenido de materia seca en cada órgano y cada muestreo durante las etapas de cultivo, se prepararon harinas de los diferentes órganos en un molino de cuchillas y se almacenaron bajo refrigeración para el posterior análisis de alcaloides por cromatografía de gases.

#### Extracción de alcaloides

La extracción de alcaloides se realizó siguiendo la técnica descrita por Muzquiz *et al.*, (1993). De cada órgano por separado se homogenizó 500mg de harina con 5ml de ácido tricloroacético al 5% durante 1min. La mez-

cla fue centrifugada por 15min a 2400g y se decantó el sobrenadante. La extracción se repitió dos veces y el volumen de los tres sobrenadantes se transfirió a embudos para su alcalinización con 0,8ml de NaOH 10M. Los alcaloides se extrajeron con diclorometano (3x15ml). Los extractos crudos se concentraron en un rotavapor a 40°C hasta sequedad. El residuo se disolvió en 1ml de metanol y se paso por filtros Millipore de 0,45µm.

#### Análisis de alcaloides

Después de filtrar el extracto se tomaron 0,5ml y se mezclaron con 0,5ml de metanol. Para realizar la cromatografía de gases capilar-espectrometría de masas se inyectó 1µl de la mezcla a un cromatógrafo de gases capilar (PerkinElmer Autosystem 1XL) con columna capilar SPB-1 (30m x 0,25mm d.i.), acoplado a un espectrómetro de masas (PerkinElmer Turbomass Gold). El gas acarreador fue He con un flujo de 1ml·min<sup>-1</sup>. Las temperaturas del inyector y del detector fueron de 240°C y 300°C, respectivamente. El programa de temperatura fue 180°C 2min, isotérmica, 180-300°C a 5°C/min, 300°C 10 min, isotérmica. La abundancia relativa de alcaloides se calculó considerando las áreas de los picos del cromatograma, mientras que la identificación de los alcaloides se llevó a cabo comparando los espectros de masas obtenidos con los de la

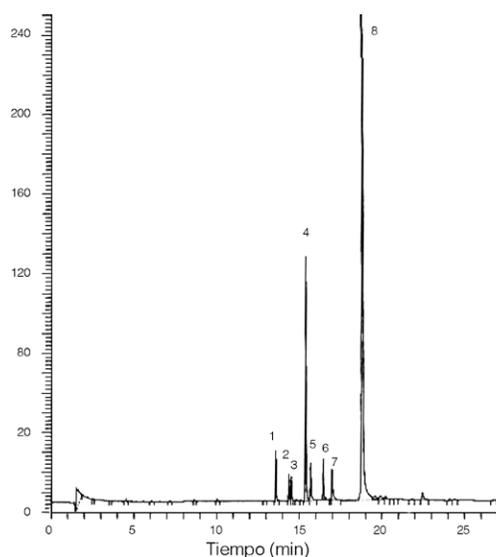


Figura 1. Perfil cromatográfico de alcaloides en hojas de *Lupinus exaltatus*. 1: epiafilina, 2: α-isolupanina, 3: no identificado, 4: lupanina, 5: afilina, 6: dehidro-oxoesparteína, 7: 3-β-hidroxilupanina, y 8: estándar interno.

biblioteca del software y con los reportados en la literatura (Meissner y Wink, 1992).

#### Resultados y Discusión

El perfil de alcaloides obtenido por cromatografía de gases en los diferentes órganos mostró la presencia de siete alcaloides quinolizidínicos en *L. exaltatus* (Figura 1). Al comparar los espectros de masas obtenidos con los de la base de datos del programa y los presentes en la bibliografía (Meissner y Wink, 1992) se identificaron los alcaloides lupanina, 3-β-hidroxilupanina, afilina, epiafilina, dehidro-oxoesparteína y α-isolupanina en raíces, tallos, hojas, flores y frutos inmaduros de *L. exaltatus* durante su crecimiento y desarrollo; así mismo se encontró un alcaloide desconocido que no

corresponde a ninguno de los alcaloides previamente identificados en esta especie.

El patrón de fragmentación de los alcaloides identificados se muestra en la Figura 2. Estos alcaloides también fueron identificados anteriormente en semillas de *L. exaltatus* y otras especies que crecen de manera silvestre en el estado de Jalisco, México, encontrándose además

otros alcaloides como epiafilina y multiflorina en concentraciones <0,05% con respecto al contenido total de alcaloides (Przybylak *et al.*, 2005). Cabe destacar que el análisis realizado en todos los órganos de *L. exaltatus* indicó la ausencia de los alcaloides teratogénicos, anagirina y amodendrina, compuestos relacionados con malformaciones congénitas en bovinos. Resultados similares fueron reportados en semillas de *L. mexicanus* y *L. hintonii* (Bermúdez *et al.*, 2002; Przybylak *et al.*, 2005). Al igual que en otras especies de América, no se detectaron los alcaloides con alta

toxicidad como la esparteína y citisina (Wink *et al.*, 1995). La ausencia de los alcaloides teratogénicos anagirina y amodendrina, así como de los alcaloides tóxicos esparteína y citisina en *L. exaltatus* indica que esta especie tiene posibilidades de ser utilizada como planta forrajera. Tal y como se ha reportado en otras especies silvestres y cultivadas, *L. exaltatus* presentó lupanina en todos los órganos analizados. Aunque este compuesto también es tóxico, su grado de toxicidad es menor al reportado con esparteína en monogástricos (Yovo *et al.*, 1984; Ruiz y Sotelo, 2001; Przybylak *et al.*, 2005).

En relación a la etapa fenológica, el perfil de alcaloides en *L. exaltatus* fue similar en todos los órganos estudiados. Tendencias similares se han

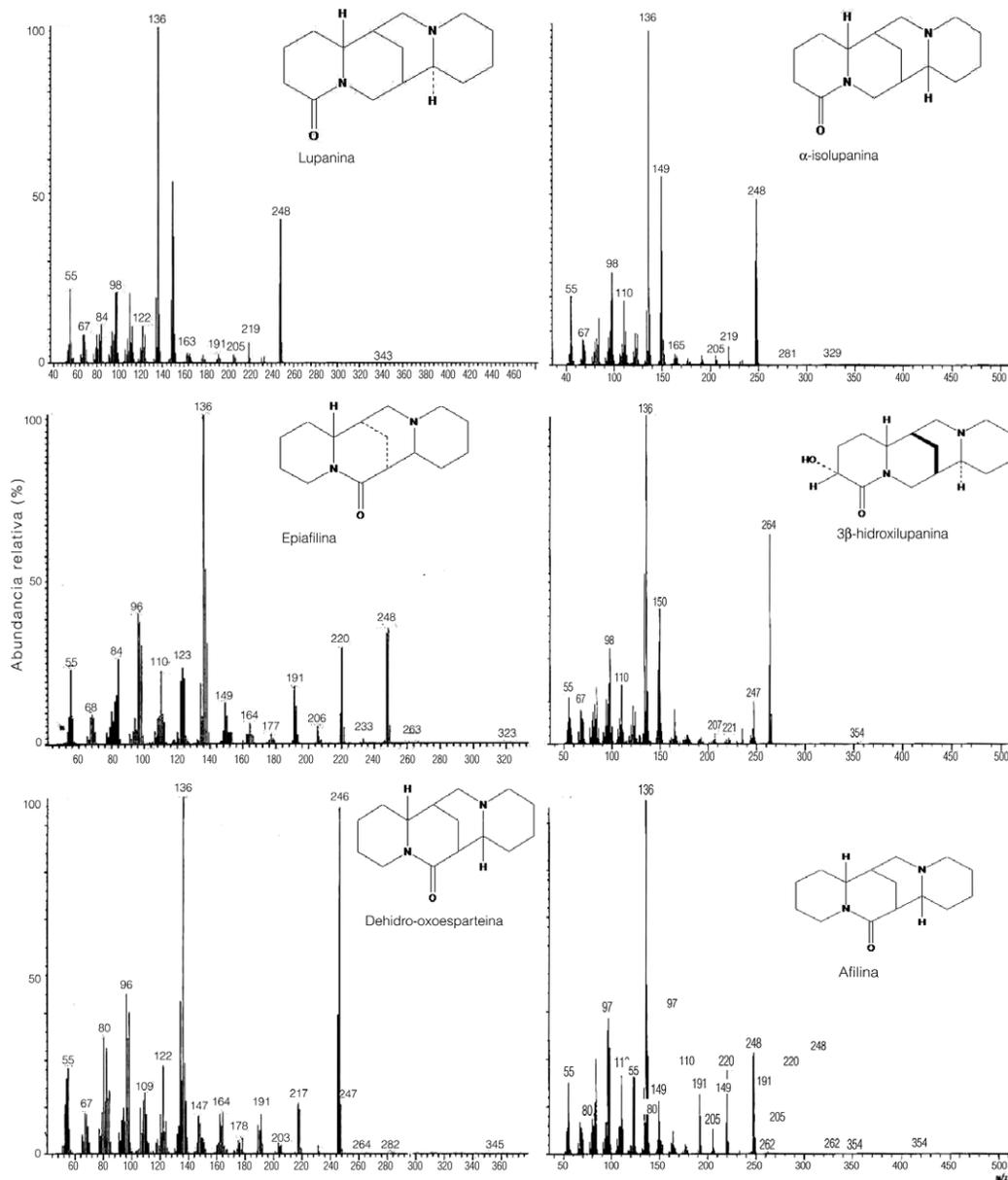


Figura 2. Espectros de masas que muestran el patrón de fragmentación de los alcaloides quinolizidínicos identificados en *L. exaltatus*.

encontrado en otras especies de *Lupinus* del norte y sur de EEUU al analizar la composición de alcaloides en diferentes órganos de la planta, observándose pequeñas variaciones en el perfil de alcaloides cuando los órganos de las mismas especies fueron colectados en diferentes localidades y en diferentes años (Kinghorn *et al.*, 1980). El perfil constante de los alcaloides en *L. exaltatus* en los diferentes órganos durante sus etapas fenológicas puede facilitar su manejo y aprovechamiento como forraje, siempre y cuando se

considere también el contenido de alcaloides totales y la abundancia relativa de los mismos.

Aunque el perfil de alcaloides en *L. exaltatus* permaneció constante durante el crecimiento, el contenido de alcaloides totales mostró variación entre órganos en relación a las etapas fenológicas (Tabla II). El contenido de alcaloides totales varió de 0,31% (tallos en la etapa de fructificación) hasta 2,1% (frutos). El menor contenido de alcaloides totales (promedio de cinco etapas fenológicas) se encontró en los tallos

(0,63%), con una variación de 0,31 a 0,91% y con una tendencia a disminuir la con-

centración conforme la planta completó su ciclo biológico (fructificación).

El contenido de alcaloides totales promedio en las hojas y flores fue de 1,12 y 1,06%, respectivamente, y aunque estos valores no son significativamente diferentes, son superiores en 95% con respecto al contenido de alcaloides encontrado en los tallos. Concentraciones similares de alcaloides en tallos, hojas y flores colectados en diferentes años fueron reportadas por Lee *et al.* (2007) en *L. leucophyllus*. El contenido de alcaloides en hojas no varió significativamente en las diferentes etapas de crecimiento con excepción de la etapa de fructificación, donde se observó una disminución significativa de alcaloides con respecto a las hojas de las etapas anteriores. La escasa variación del contenido de alcaloides en las hojas de *L. exaltatus* durante su crecimiento se debe probablemente a que la función principal de estos órganos es la biosíntesis constante de estos compuestos y en menor grado a una función de almacenamiento (Wink, 1986). La disminución de alcaloides en hojas y principalmente en tallos de *L. exaltatus* en las últimas etapas del crecimiento ha sido reportada también en *L. albus* y *L. mutabilis* debido a que los alcaloides almacenados en los órganos que están por alcanzar la senescencia son retransferidos a los frutos y semillas, por ser compuestos metabólicamente activos (Williams y Harrison, 1983).

TABLA II  
CONTENIDO DE ALCALOIDES EN ÓRGANOS VEGETATIVOS Y REPRODUCTIVOS DE *L. exaltatus* DURANTE SU CRECIMIENTO

Etapas de crecimiento	Tallos	Hojas	Flores	Frutos	Promedio
% en base seca					
Antes de floración	0,91 a	0,93 b	—	—	0,92 a
Inicio de floración	0,87 a	1,5 a	—	—	1,18 a
Floración	0,56 b	1,4 a	0,92 a	—	0,96 a
Desarrollo de vainas	0,48 b	1,2 a	1,2 a	1,8 a	1,17 a
Fructificación	0,31 c	0,61 c	—	2,1 a	1,0 a
Promedio	0,63	1,12	1,06	1,95	

Promedios con diferente letra en cada columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

El mayor contenido promedio de alcaloides se encontró en los frutos (1,95%), lo cual coincide con lo reportado por otros investigadores (Williams y Harrison, 1983; Lee *et al.*, 2007) que han señalado que los frutos y particularmente las semillas son los órganos que almacenan mayor contenido de alcaloides. En estas etapas más del 50% de los alcaloides distribuidos en toda planta se almacenan en frutos y semillas. Se ha documentado que el alto contenido de alcaloides en las semillas representa una fuente de nitrógeno de reserva para su utilización durante la germinación y una función de protección química contra patógenos y herbívoros ya que las semillas son responsables de la reproducción o regeneración natural de la especie (Wink, 1988; Aniszewski *et al.*, 2001).

En la Tabla III se hace notar que en los frutos, la lupanina se encuentra en mayor abundancia relativa (52,82%) con respecto al contenido total de alcaloides, mientras que en las hojas y flores el alcaloide mayoritario resultó ser epiafilina con 26,56 y 37,7% respectivamente.

Por lo tanto, aunque los frutos y las semillas son considerados órganos de alto valor nutricional existe riesgo de intoxicación al utilizar *L. exaltatus* como forraje en las etapas de desarrollo de vainas y fructificación debido al alto contenido de alcaloides totales y mayor abundancia de lupanina en estas estructuras reproductivas. Otro inconveniente que puede limitar su utilización en esta etapa fenológica es el alto grado de lignificación que presentan los tallos, así como la

TABLA III  
ABUNDANCIA RELATIVA DE ALCALOIDES INDIVIDUALES CON RESPECTO AL CONTENIDO TOTAL EN LOS DIFERENTES ÓRGANOS DE *Lupinus exaltatus* DURANTE SU CRECIMIENTO\*

Alcaloides	Tallos	Hojas	Flores	Frutos
		(%)		
Epiafilina	15,04	26,56	37,76	13,7
$\alpha$ -isolupanina	11,5	9,34	7,47	6,13
AD	6,79	12,0	8,48	6,51
Lupanina	33,11	13,27	23,84	52,82
Afilina	9,02	7,89	12,56	8,22
Dehydro-oxosparteína	10,93	24,1	4,81	9,96
3- $\beta$ -hidroxilupanina	12,28	5,6	4,52	2,48

\* Promedio de cinco etapas de crecimiento.  
AD: alcaloide desconocido.

escasa biomasa foliar debido a que da inicio la senescencia y abscisión de hojas después de la floración.

Por el contrario, las plantas en etapa de floración presentan tallos poco lignificados con baja concentración de alcaloides totales y abundante área foliar, con escaso contenido de lupanina. El uso de *L. exaltatus* en esta etapa de crecimiento tiene una mayor posibilidad de ser empleado como forraje en la alimentación del ganado debido al menor riesgo de intoxicación. Otra alternativa para reducir los riesgos de intoxicación sería ensilar *L. exaltatus* en etapa de floración en mezcla con gramíneas, ya que ello no solo permitirá conservar y utilizar el forraje en épocas de mayor necesidad de alimento para el ganado, sino que además brinda la posibilidad de hacer un aprovechamiento adecuado de recursos naturales.

#### REFERENCIAS

Aniszewski T, Ciesiolka D, Gulewicz K (2001) Equilibrium between basic nitrogen compounds in lupin seeds with differentiated alkaloid content. *Phytochemistry*. 57: 43-50.

Bermúdez TK, Robledo QN, Martínez HJ, Andreas J, Wink M (2000) Biodiversity of the genus *Lupinus* in Mexico. En van Santen E, Wink M, Weissmann S, Römer P (Eds.) *Lupin, an Ancient Crop for*

the Millennium. Proc. 9th Int. Lupin Conference. Klink/Murritz, 20-24/06/1999. International Lupin Association. Canterbury, New Zealand. pp. 294-296.

Bermúdez T K, Robledo QN, Barrera NL, Wink M (2001) Alkaloid profiles of leaves and seeds of *Lupinus hintonii* C. P. Smith. *Z. Naturforsch.* 57c: 243-247.

Bermúdez TK, Robledo QN, Barrera NL, Wink M (2002) Alkaloid profiles of leaves and seeds of *Lupinus hintonii* C. P. Smith. *Z. Naturforsch.* 57c: 243-247.

Dunn DB (2001) *Lupinus*. En Calderón G, Rzedowski J (Eds.) *Flora Fanerogámica del Valle de México*. 2ª ed. Instituto de Ecología. Pátzcuaro, México. pp 326-333.

Gardner DR, Panter KE (1993) Comparison of blood plasma alkaloid levels in cattle, sheep, and goats fed *Lupinus caudatus*. Amodendrine and related piperidine alkaloid levels in the blood plasma of cattle, sheep, and goats fed *Lupinus formosus*. *J. Nat. Tox.* 2: 1-11.

Kinghorn AD, Selim MA, Smolenski SJ (1980) Alkaloid distribution in some new world *Lupinus* species. *Phytochemistry* 19: 1705-1710.

Kingsbury JM (1964) *Poisonous Plants of the United States and Canada*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ, EEUU. pp. 333-341.

Keeler RF, Panter KE (1989) Piperidine alkaloid composition and relation to crooked calf disease inducing potential of *Lupinus formosus* *Teratology* 40: 423-432.

Lee ST, Ralphs MH, Panter KE, Cook D, Gardner DL (2007) Alkaloid profiles, concentration, and pools in Velvet lupine (*Lupinus leucophyllus*) over the growing. *J. Chem. Ecol.* 33: 75-84.

Meissner C, Wink M (1992) GC/MS-Analyse von alkaloiden nordamerikanischer. En Wink M (Ed.) *Lupinen. Forschung, Anbau und Verwertung*. Heidelberg, Alemania. pp. 91-129.

McVaugh R (1987) *Lupinus*. En *Flora Novogaliciana. A Descriptive Account of the Vascular Plants of Western Mexico*. Vol. 5. *Leguminosae*.

University of Michigan Press. Ann Arbor, MI, EEUU. pp. 580-599.

Muzquiz M, Burbano C, Cuadrado C, De la Cuadra C (1993) Determinación de factores antinutritivos termorresistentes en leguminosas I: Alcaloides. *Inv. Agraria. Prod. Prot. Veg.* 8: 351-361.

Planchuelo AM (1994) Wild lupin distribution and its implications as germoplasm resources. En Martins NJM, Beirao da Costa ML (Eds.) *Advances in Lupin Research*. Proc. VII<sup>th</sup> Int. Lupin Conference. Evora, Portugal (18-23/04/1993). International Lupin Association. Canterbury, New Zealand. pp. 65-69.

Przybylak JK, Ciesiolka D, Wysocka W, López P, Ruiz MA, Wysocki W, Gulewicz K (2005) Alkaloids profiles of Mexican wild lupin and effect of alkaloid preparation from *Lupinus exaltatus* seeds on growth and yield of paprika (*Capsicum annum* L.). *Indust. Crops Prod.* 21: 1-7.

Ruiz MA, Sotelo A (2001) Chemical composition, nutritive value, and toxicology evaluation of Mexican wild lupin. *J. Agric. Food Chem.* 49: 5336-5339.

Ruiz LM, Macias RR, Pérez NS (2006) Evaluación químico-nutricional de *Lupinus exaltatus* Zucc, del Nevado de Colima México, como fuente potencial de forraje. *Interciencia* 31: 758-761.

Williams W, Harrison JEM (1983) Alkaloid concentration during development in three *Lupinus* species and the expression of genes for alkaloid biosynthesis in seedling. *Phytochemistry* 22: 85-90.

Wink M (1986) Storage of quinolizidine alkaloids in epidermal tissues. *Z. Naturforsch.* 41c: 375-380.

Wink M (1988) Plant breeding: Importance of plant secondary metabolites for protection against pathogens and herbivores. *Theor. Appl. Genet.* 75: 225-233.

Wink M, Meißner C, Witte L (1995) Patterns of quinolizidine alkaloids in 56 species of the genus *Lupinus*. *Phytochemistry* 38: 139-153

Yovo K, Huguet F, Pothier J, Duran M, Breteau M, Narcisse G (1984) Comparative pharmacological study of spartheine and its ketonic derivative lupanine from seeds of *Lupinus albus*. *Planta Med.* 5: 420-424.