



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

**Aprovechamiento del forraje de
Lupinus rotundiflorus (Fabaceae)
mediante ensilaje y el efecto de su
inclusión en dietas para ovinos**

**Tesis
para obtener el grado de**

**Doctor en Ciencias en Biosistemática,
Ecología y Manejo de Recursos Naturales y
Agrícolas**

**Presenta
José María Herrera Velazco**

Zapopan, Jalisco

15 de mayo de 2011



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

**Aprovechamiento del forraje de
Lupinus rotundiflorus (Fabaceae)
mediante ensilaje y el efecto de su
inclusión en dietas para ovinos**

Tesis

para obtener el grado de

**Doctor en Ciencias en Biosistemática,
Ecología y Manejo de Recursos Naturales y
Agrícolas**

Presenta

José María Herrera Velazco

DIRECTOR

Dr. Ramón Rodríguez Macías

CO-DIRECTOR

María de Lourdes Isaac Virgen

Zapopan, Jalisco

15 de mayo de 2011

CONTENIDO	Páginas
CONTENIDO	i
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. Introducción	1
II. Antecedentes	3
2.1. Situación Alimentaria en México	3
2.2. Origen e Importancia de las Leguminosas en la Alimentación	3
2.3. Principales Usos de Leguminosas	5
2.4. Producción Mundial de Leguminosas	6
2.5. Genero <i>Lupinus</i>	8
2.6. Centros de Distribución	9
2.7. Distribución del Genero <i>Lupinus</i> en México	11
2.8. Características Morfológicas de los Lupinos	12
2.9. Ubicación taxonómica <i>Lupinus rotundiflorus</i> (Fabáceas)	13
2.10 Morfología y Distribución de <i>L. rotundiflorus</i>	13
2.11. Mejoramiento Genético de los Lupinos	14
2.12. Usos de los Lupinos	14
2.13. Valor Nutritivo de los Lupinos	14
2.13.1. Valor Nutritivo del Forraje de Lupino Mejorado	16
2.13.2. Valor Nutritivo del Forraje de Lupino Silvestre	17
2.14. Alcaloides de Lupinos	17
2.14.1. Efectos Toxicológicos de los Alcaloides en los Lupinos	19
2.14.2. Alcaloides de <i>Lupinus</i> dentro de un Contexto Ecológico	20
2.15. Importancia de los Lupinos en la Alimentación Animal	20
2.16. Respuestas en la Producción del Ganado Mediante el Consumo de las Semillas de los Lupinos	20
2.16.1. Cerdos	20
2.16.2. Aves	21
2.16.3. Peces	21

2.16.4. Humanos	22
2.16.5. Rumiantes	22
2.17. Forraje de Lupinos	23
2.17.1. Conservación del Forraje	23
2.17.2. Henificación	24
2.17.3. Henolaje	24
2.17.4. Ensilaje	24
2.17.5. Ventajas del Ensilaje	28
2.17.6. Ensilados de Lupinos	28
2.17.7. Calidad del Ensilado	29
2.17.8. Uso de Ensilados en la Producción de Rumiantes	30
2.18. Principales Países Productores de Ovinos	31
2.19. Regiones Agroecológicas-Ganaderas de la República Mexicana	31
2.20. Producción Pecuaria en México	31
2.21. Producción Ovina	33
III. Planteamiento del Problema	34
IV. Justificación	35
V. Hipótesis	36
VI. Objetivos	37
6.1. Objetivo General	37
6.2. Objetivos Particulares	37
VII. Materiales y Métodos	38
7.1. Ubicación del Experimento	39
7.2. Material Vegetal	39
7.3. Preparación de Microsilos	39
7.4. Tratamientos y Diseño Experimental	40
7.5. Variables en Estudio	40
7.6. Elaboración de Silos a Nivel Piloto	41
7.7 Desempeño Productivo en Ovinos	42
7.7.1. Elaboración de Dietas	42
7.7.2 Evaluación Productiva de Dietas	42
7.8. Alcaloides Totales	43
7.9. Análisis Estadístico	43

7.9.1 Microsilos	43
7.9.2 Prueba de Desempeño Productivo	43
VIII. Resultados y Discusión	44
8.1. Análisis Sensorial de Ensilados	44
8.2 Composición Química	44
8.2.1 Forraje de <i>Lupinus rotundiflorus</i> y Rastrojo de Maíz	44
8.2.2. Propiedades Químicas de los Ensilados	45
8.2.2.1. Materia Seca	46
8.2.2.2 Proteína Cruda	48
8.2.2.3 Extracto Etereo	50
8.2.2.4 Cenizas	52
8.2.2.5 FDN	54
8.2.2.6 FDA	57
8.3 Características Fermentativas	60
8.3.1 Potencial de Hidrogeno (pH)	60
8.3.2 Nitrógeno N-NH ₃ / N total	62
8.3.3 Acido Láctico	65
8.3.4 Acido Acetico	67
8.3.4 Acidos Propionico y Butirico	69
8.4. Alcaloides Totales (AT)	70
8.5. Caracterización del Ensilado Utilizado para la Alimentación de los Borregos	72
8.6. Prueba de Comportamiento en Ovinos	73
8.6.1 Consumo de Alimento por Día (kg/animal/día)	73
8.6.2 Peso Corporal de los Ovinos (kg/animal)	74
8.6.3 Ganancia de Peso	76
8.6.4 Conversión Alimenticia	77
8.7. Alcaloides en Sangre	80
IX. Conclusiones	82
X. Literatura Citada	83
XI. Anexos	97
A. Cromatogramas AGV'S	97

INDICE DE CUADROS	Páginas
Cuadro 1. Principales usos de leguminosas	6
Cuadro 2. Composición del ensilado de <i>L. rotundiflorus</i> a nivel piloto.	41
Cuadro 3. Composición de las dietas en los diferentes niveles de inclusión del ensilaje de <i>Lupinus rotundiflorus</i> (%).	42
Cuadro 4. Composición química proximal y fracciones de fibra de la planta de <i>Lupinus rotundiflorus</i> y el rastrojo de maíz.	45
Cuadro 5. materia seca en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i> .	47
Cuadro 6. Ecuación de regresión materia seca en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i> .	47
Cuadro 7. Proteína cruda en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i> .	49
Cuadro 8. Ecuación de regresión proteína cruda microsilos de <i>L. rotundiflorus</i>	50
Cuadro 9. Extracto etéreo en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i> .	51
Cuadro 10. Ecuación de regresión extracto etereo microsilos de <i>L. rotundiflorus</i>	51
Cuadro 11. Cenizas en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i>	53
Cuadro12. Ecuación de regresión cenizas microsilos de <i>L. rotundiflorus</i>	53
Cuadro 13. FDN en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i> .	56
Cuadro 14 Ecuación de regresión FDN microsilos de <i>L. rotundiflorus</i>	56
Cuadro 15. FDA en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i> .	59
Cuadro 16. Ecuación de regresión FDA microsilos de <i>L. rotundiflorus</i>	59
Cuadro 17. pH en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i> .	61
Cuadro 18. Ecuación de regresión pH en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i>	62
Cuadro 19. % N-NH ₃ /N total en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i> .	64
Cuadro 20. Ecuación de regresión N-NH ₃ /N total en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i>	64
Cuadro 21. Ácido láctico en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i> .	66
Cuadro 22. Ecuación de regresión ácido láctico en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i>	67
Cuadro 23. Ácido acético en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i> .	68

Cuadro 24. Ecuación de regresión ácido acético en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i> .	69
Cuadro 25. Alcaloides totales en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i> .	71
Cuadro 26. Ecuación de regresión alcaloides totales en microsilos de <i>L. rotundiflorus</i>	72
Cuadro 27. Composición química del ensilado de <i>L. rotundiflorus</i> a escala piloto	73
Cuadro 28. Consumo de alimento por día.	74
Cuadro 29. Peso corporal de los borregos.	75
Cuadro 30. Efecto de la suplementación de la dieta con el ensilaje de <i>L. rotundiflorus</i> sobre la ganancia de peso en ovinos	76
Cuadro 31. Conversión alimenticia.	78
Cuadro 32. Efecto en los resultados productivos por la inclusión del ensilado de <i>Lupinus rotundiflorus</i> en la dieta de borregos.	79

INDICE DE FIGURAS	Paginas
Figura 1. Principales países productores de leguminosas en el mundo.	7
Figura 2. Producción mundial de lupinos.	8
Figura 3. Regiones de distribución geográfica de las especies de <i>Lupinus</i> .	9
Figura 4. Distribución de los lupinos en México y Jalisco.	12
Figura 5. Estructura alcaloides quinolizidinicos.	18
Figura 6. Producción del ganado en pie en México (toneladas).	32
Figura 7. Producción de carne de ovino (toneladas).	32
Figura 8. Estados productores de ganado ovino en México (toneladas).	33
Figura 9. Evolución de la Materia seca (%) en ensilados de <i>L. rotundiflorus</i> en los diferentes tratamientos a través del periodo experimental.	48
Figura 10. Evolución de la Proteína cruda (%) en ensilados de <i>L. rotundiflorus</i> .	50
Figura 11. Evolución del Extracto etéreo (%) en ensilados de <i>L. rotundiflorus</i> .	52
Figura 12. Evolución de las Cenizas (%) en ensilados de <i>L. rotundiflorus</i> .	54
Figura 13. Evolución de la Fibra detergente neutro (%) en ensilados de <i>L. rotundiflorus</i> .	57
Figura 14. Evolución de la Fibra detergente ácido (%) en ensilados de <i>L. rotundiflorus</i> .	60
Figura 15. Evolución del pH en ensilados de <i>L. rotundiflorus</i> .	62
Figura 16. Evolución del Nitrógeno amoniacal (%) N-NH ₃ / N total en ensilados de <i>L. rotundiflorus</i> .	65
Figura 17. Evolución del Ácido láctico (%) en ensilados de <i>L. rotundiflorus</i>	67
Figura 18. Evolución del Ácido acético (%) en ensilados de <i>L. rotundiflorus</i>	69
Figura 19. Evolución de los Alcaloides totales (%) en ensilados de <i>L. rotundiflorus</i>	72
Figura 20. Consumo de Alimento (Kg/animal/día) de los borregos	74
Figura 21. Peso corporal de los borregos.	75
Figura 22. Ganancia de peso corporal	77
Figura 23. Conversión alimenticia de los borregos alimentados con dieta Control (0%) y dietas con la inclusión del 15% y el 30% de ensilado de <i>L. rotundiflorus</i> .	78

RESUMEN

El forraje de lupinos, conservado mediante ensilaje, representa una fuente alimenticia para los ovinos. El ensilaje es un método de conservación del forraje que permite disponer de alimento para los animales en época de escases. Se elaboraron microsilos con forraje de *Lupinus rotundiflorus* solo (100:0) y mezclado con rastrojo de maíz (RM), en las proporciones de 75:25 y 50:50 (peso-peso) y siete tiempos de apertura de los silos (3, 6, 9, 12, 20, 30 y 40 días). Se determinó la composición química proximal, fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA), alcaloides totales y parámetros fermentativos (pH, ácido láctico, ácido acético, ácido propiónico y ácido butírico). También se elaboró un ensilado a nivel piloto con el forraje de *Lupinus rotundiflorus* el cual se incluyó en proporción de 15 y 30% en dietas para ovinos. En los ensilados se observó un aumento significativo en el contenido de materia seca (MS), FDN, FDA y una disminución significativa de la proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), cenizas y alcaloides totales conforme aumentó la proporción del rastrojo de maíz en el material ensilado ($P<0.05$). Al progresar el periodo de fermentación, en los ensilados con relación 100:0 y 50:50 (lupino:rastrojo de maíz) la FDN aumentó, en tanto la FDA aumentó en los ensilados 100:0 y 75:25. El nivel del % N-NH₃/N total aumentó conforme se añadió el rastrojo de maíz al forraje de lupinos y al transcurrir los días de fermentación ($P<0.05$). El pH en todos los ensilados (100:0, 75:25 y 50:50) disminuyó en forma significativa conforme avanzó el tiempo fermentativo ($P<0.05$). La producción del ácido láctico en los ensilados en todas las proporciones de lupino:rastrojo de maíz aumentó desde los primeros días de fermentación y disminuyó a la incorporación del rastrojo de maíz ($P<0.05$). A los 40 días de fermentado la concentración el pH en ensilajes fue 3.89, 4.01 y 4.34 y el ácido láctico de 6.26%, 4.67% y 2.45% en los ensilados 100:0, 75:25 y 50:50 (lupino:rastrojo de maíz) respectivamente ($P<0.05$). La concentración de ácido acético en todos los tratamientos fluctuó entre 0.0 y 1.99%. La concentración de ácido acético, no se efectuó por el nivel de inclusión del rastrojo de maíz en los ensilados. En los microsilos no se detectaron el ácido propiónico y el ácido butírico. El consumo de alimento, peso corporal, ganancia de peso y conversión alimenticia de los borregos no presentaron cambios significativos por el nivel de inclusión del ensilado (*Lupinus rotundiflorus*) a la dieta (0, 15 y 30%), ($P>0.05$). La conversión alimenticia fue de 5.76:1, 5.42:1 y 5.83:1 para la inclusión de 0, 15 y 30% del ensilaje en las dietas de los borregos respectivamente. Los resultados en los parámetros fermentativos indican una adecuada conservación del forraje de *L. rotundiflorus* en los ensilados y una apropiada utilización nutricional. Los estudios reflejan que el forraje de *L. rotundiflorus* constituye un recurso alimenticio nativo, de calidad nutricional aceptable, que puede ser aprovechado mediante el ensilaje por ovinos.

ABSTRACT

Wild lupin forage preserved by ensiling, represents a feedstuff source for sheep during dry season when other green forages are limited. The aim of this study was to prepare silages with *Lupinus rotundiflorus* forage mixed with corn stover (CS), in proportions 100:0, 75:25 and 50:50 (w/w), all mixtures were supplemented with cane molasses and lactic acid bacteria. Each mixture was used to elaborate microsilos by triplicate and after 3, 6, 9, 12, 20, 30 and 40 days they were opened and silage analyzed for chemical composition neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF), total alkaloids and fermentation parameters (pH, lactic acid, acetic acid, propionic acid and butyric acid). Additionally silos of 200 kg were used to preserve a 75:25 mixture of *Lupinus rotundiflorus* forage:CS, molasses and lactic bacteria. This silage was included in diets for sheep to carry out an experiment using total randomized design. The percentages of silage inclusion were 0, 15 and 30% with three replications. Silages showed a significant increase in dry matter (DM), NDF, ADF and a decrease in crude protein (CP), ether extract (EE), ash and total alkaloids in a direct proportion to CR inclusion ($P < 0.05$). It was observed an increased in NDF content in silage with 100:0 and 50:50 *Lupinus rotundiflorus* forage:CS directly related with the time of fermentation. In regards FDA values there was an increase in silages with a 100:0 and 75:25 *Lupinus rotundiflorus* forage:CS proportions. There was an increase in levels of N-NH₃/ total N associated with the addition of CS and the last of fermentation ($P < 0.05$). The pH in all silages (100:0, 75:25 and 50:50) decreased significantly as time goes on fermentation ($P < 0.05$). At 40 days of fermentation the pH and concentration lactic acid in silage were 3.89;6.26%, 4.01;4.67%, and 4.34;2.45%, at *Lupinus rotundiflorus* forage:CS 100:0, 75:25 and 50:50, respectively ($P < 0.05$). Acetic acid concentration in all treatments ranged between 0.0 and 1.99%. The concentration of acetic acid, it was not affect by the inclusion level of CS. The presence of propionic acid and butyric acid in all silages was not detected. In the animal experiment feed intake, body weight, weight gain and feed conversion of sheep were not different among percentage of inclusion (0, 15 and 30%) of *Lupinus rotundiflorus* silage to the diet ($P > 0.05$). The value of feed conversion was 5.76:1, 5.42:1 and 5.83:1 due to addition of 0, 15 and 30% of silage. The fermentation and productive parameters obtained in this study indicate that is possible to preserve mixtures of *L. rotundiflorus* forage and employed it as ingredient to feed sheep.

I. INTRODUCCIÓN

1. El ensilaje es una técnica de conservación de forrajes basado en la fermentación de los carbohidratos solubles mediante bacterias, para producir ácido láctico en condiciones anaeróbicas (McDonald *et al.*, 1991; Garcés *et al.*, 2004; Sánchez, 2005). Esta técnica, generalmente de bajo costo, tiene como objetivo conservar forrajes con un mínimo de pérdidas de materia seca y nutrientes durante el almacenamiento, para posteriormente utilizarlos en épocas críticas de escasez de pastos (Tobía *et al.*, 2003; Blanco *et al.*, 2005).

Las gramíneas tales como el maíz el y sorgo son las especies más utilizadas en esta práctica de conservación de forraje, ya que el alto contenido (>10%) de carbohidratos solubles, materia seca de 30%, bajo contenido de proteína bruta y reducida capacidad amortiguadora favorecen su ensilaje (McDonald *et al.*, 1991).

En los últimos años la técnica de ensilado también ha sido utilizada para la conservación de forrajes de leguminosas, con alto contenido en proteína y minerales. En general, las leguminosas son difíciles de ensilar; y al contrario de las gramíneas presentan bajo contenido de carbohidratos solubles, alta capacidad amortiguadora y bajo contenido de materia seca (Kaldmäe *et al.*, 2003; Vasiljević *et al.*, 2009).

Por la importancia nutricional que muestra el forraje de leguminosas, con 14-23% de proteína cruda, varios estudios han demostrado que la inclusión de aditivos al material por ensilar, tales como melaza, ácido fórmico y bacterias ácido lácticas, entre otros, es una opción interesante para facilitar el proceso de ensilaje y aumentar el valor nutritivo de los ensilados (Tobía *et al.*, 2003; Vicente *et al.*, 2008; Vasiljević *et al.*, 2009).

En regiones donde las condiciones de suelo y clima no son favorables para el establecimiento de las especies leguminosas de mayor importancia forrajera, tales como el trébol o la alfalfa, se utiliza el follaje de leguminosas arbóreas silvestres como *Leucaena leucocephala*, *Piscidia piscipula*, *Lysiloma latisiliquum*, *Albizia lebeck* y *Acacia farnesiana*, la práctica de ensilar permite conservar estas alternativas forrajeras (Alcántara *et al.*, 1986; Cárdenas *et al.*, 2003; Phiri *et al.*, 2007). Sin embargo, este método es poco aceptado por algunos productores debido a que para manejar estas especies en un sistema de corte y acarreo se requiere de trabajo y mano de obra extra, lo cual representa una desventaja económica (Cárdenas *et al.*, 2003).

Ante esta situación, los sistemas productivos agropecuarios han optado por la introducción de cultivos de leguminosas herbáceas como *Vigna radiata*, *Arachis pintoi* y *Lupinus angustifolius*, entre otras, con potencial para producir altos rendimientos de

materia seca, así como para conservar su forraje mediante el método de ensilaje (Castillo *et al.*, 2009; WingChing y Rojas, 2007; Fraser *et al.*, 2005a).

Con respecto a las especies del género *Lupinus*, éstas se caracterizan por presentar en el forraje, contenidos de materia orgánica, proteína bruta y fibra bruta que fluctúan entre 58-91, 16-21 y 17-38% respectivamente, según la especie y el estado de desarrollo de la planta (Ruiz *et al.*, 2000; Fraser *et al.*, 2005a y 2005b).

En relación a las especies domesticadas con potencial forrajero como *L. albus* y *L. angustifolius*, cuyo origen es el área del Mediterráneo, estudios de Fraser *et al.* (2005a, 2005b) indican la factibilidad de conservar su forraje mediante la técnica de ensilaje. En México no se cultivan estas especies del género *Lupinus*; sin embargo, se conocen más de 100 especies silvestres distribuidas en más de 20 estados, las cuales representan una fuente potencial alternativa de forraje en regiones templadas del país (Ruíz *et al.*, 2006). *Lupinus rotundiflorus*, es una planta anual que crece en claros de bosques de coníferas, a orillas de caminos y zonas de cultivo a 1400- 2200 msnm. Según McVaugh (1987) y Dunn (2001) es la especie con mayor distribución en el estado de Jalisco y se caracteriza por su capacidad para producir materia seca aún en épocas de sequía y bajas temperaturas.

Debido a estas características, y como una forma alternativa de aprovechar los recursos vegetales silvestres locales, es necesario determinar la eficiencia del proceso de ensilaje para conservar el forraje de *L. rotundiflorus* en combinación con rastrojo de maíz, así como conocer la composición química, características fermentativas del material ensilado y evaluar el aprovechamiento del forraje de *Lupinus rotundiflorus* como ingrediente en dietas para ovinos a través de la determinación de parámetros productivos.

II ANTECEDENTES

2.1. Situación alimentaria en México

Desde hace poco más de dos décadas el país importa cada vez mayores volúmenes de alimentos, en lugar de producirlos. La pérdida de la soberanía alimentaria de México, no solo se debe a que en el país no se producen los suficientes de alimentos, para abastecer a la población, sino a que cada vez más, depende del exterior y de las empresas transnacionales que controlan la comercialización de los alimentos y los insumos básicos para la producción agropecuaria y cuyo propósito es obtener la máxima ganancia sin importarles la economía de la población (Acuña y Meza, 2010).

Una de las últimas estrategias para enfrentar la crisis alimentaria, ha sido impulsar la creación de una reserva de alimentos, desarrollada por las organizaciones campesinas, la cual se contempla como una obligación en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (2010). Los productores organizados en conjunto con agrupaciones civiles y académicas, han discutido sobre la constitución de dicha reserva. Todas estas acciones trascendentales para lograr la soberanía alimentaria son parte del reflejo de la crisis económica mundial y, que sin lugar a duda, conduce a revalorar la agricultura campesina (Acuña y Meza, 2010).

Por otra parte, la deficiencia de proteína sigue siendo uno de los principales factores en la presente crisis alimentaria, sobre todo en los países en vías de desarrollo. La diferencia nutricional a través del mundo también es una característica sobresaliente. La ingesta media de proteína por persona en el periodo del 2003 al 2005 en México fue de 92 g/persona/día. Países de Europa y algunos del medio Oriente su ingesta es mayor de 100 g/persona/día (Israel 126, Luxemburgo 124, Francia y Grecia 117, Estados Unidos 116, Portugal 114, España 109, Canadá 105, Polonia 100 g/persona/día), en contraste a los países más pobres, (Haití 42, Guinea-Bissau, Mozambique 40 y Liberia 33 g/persona/día). Valores extremos los comparten Islandia con el consumo mayor de proteínas (128 g/persona/día) y la Republica Democrática del Congo con el menor consumo, 23 g/persona/día (<http://faostat.fao.org/>).

Una fuente alimenticia importante para abastecer a la población y a los animales de aportes proteicos son las leguminosas.

2.2. Origen e importancia de las leguminosas en la alimentación

El cultivo de las leguminosas se establece alrededor del año 4,000 A.C. La soya, en China, como alimento básico y complemento de cereales (mijo, el arroz y trigo) data del año 2,800 A.C., posteriormente esta leguminosa fue llevada a Europa en el siglo XVIII

y a Estados Unidos a principios del siglo XIX. El cacahuete (maní) se sembraba en Perú 2,000 A.C. El género *Lupinus* se cultivaba hace más de 3,000 años, en particular *L. albus* por los romanos y *L mutabilis* por los Incas (Williams, 1986).

Las migraciones las guerras y el comercio permitieron a algunas leguminosas (cacahuete, soya, frijol, guisante, haba) diseminarse a numerosas regiones del mundo. Sin embargo excepto para la soya y el cacahuete, las leguminosas de grano han sufrido una restricción aguda, debido especialmente a la competencia por el cultivo de cereales. En la actualidad hay un interés en Europa por el guisante (chícharo), haba y lupino, como granos usados en la alimentación animal (Neyra, 1995).

Se estima que la utilización de las leguminosas forrajeras, empezó hace 11,000 años; al principio algunas especies se emplearon como grano para consumo humano, más tarde, se utilizaron como forraje o pastura, o viceversa.

Se cree que la alfalfa fue una de las primeras plantas forrajeras cultivadas por el hombre, se piensa que procede de las regiones del Suroeste de Asia, donde aún se encuentra en estado nativo. Esta planta ha sido utilizada como forraje en la caballería desde los tiempos de Alejandro I de Macedonia (siglo V A.C.) y en las guerras persas (*Medicago*: las plantas de los Medas). Sin embargo, el cultivo de alfalfa se extendió a Europa hasta el siglo XV, impulsado por el comercio entre Venecia y Oriente. La importancia de esta leguminosa como regeneradora de los suelos es muy importante, ya que enriquece de nitrógeno del suelo. Los restos de alfalfa retornan al suelo de 250 a 300 Kg N/ha, resultando en mayores rendimientos cerealeros. Paralelamente, el trébol rojo (nativo de Europa), comenzó a ser cultivado en regiones húmedas, que propició un incremento considerable del número de animales domésticos (Neyra, 1995).

Por otra parte, la integración de la cría del ganado a la agricultura, representa la revolución agrícola más importante que ocurrió en Europa y abrió la posibilidad de cultivar más tierra y de intensificar la producción, conservando el potencial del medio ambiente natural (Neyra, 1995).

Más de 1,500 especies de leguminosas pueden utilizarse como alimento de ganado, sin embargo solo alrededor de 60 han sido desarrolladas y utilizadas ampliamente como cultivos forrajeros (Mathison, 1983) y solo de 20 a 30 especies, forman parte de la dieta humana (McRae *et al.*, 1993).

Entre las ventajas del consumo de las leguminosas esta su alto contenido de proteína, especialmente la soya con un valor promedio de 40%, y el lupino con valores de 32 a 45% (Pettersson, 1998), otras leguminosas presentan valores que fluctúan entre 20 y

25%. La soya (*Glycine max*), ocupa el primer lugar en la superficie sembrada en el mundo, destacan además el frijol (*Phaseolus vulgaris*), el cacahuete (*Arachis hypogaea* L.), el chícharo (*Pisum sativum*), el guisante blanco (*Lathyrus sativus*), el garbanzo (*Cicer arietinum*), la haba (*Vicia faba*), la lenteja (*Lens culinaris*), el lupino australiano (*Lupinus angustifolius*) y el lupino blanco (*Lupinus albus*), (<http://faostat.fao.org/>).

2.3. Principales usos de leguminosas

El principal aprovechamiento de las leguminosas, desde un punto de vista agronómico, lo constituyen sus semillas, aunque estas plantas pueden tener también otros empleos como forraje, abono verde, vaina verde o uso ornamental. Las leguminosas-grano siguen en orden de importancia a los cereales en la alimentación animal y humana y poseen el beneficio adicional de enriquecer de nitrógeno el suelo.

Las leguminosas de acuerdo al tipo de uso, según Nadal *et al.* (2004), se agrupan en:

- a) Grano para alimentación humana y animal
- b) Grano oleaginosas
- c) Forrajeras
- d) Hortícolas
- e) Abono verde y cubierta vegetal
- f) Ornamentales

Sin embargo algunas leguminosas pueden tener usos medicinales, como colorantes e insecticidas (Zamora *et al.*, 2005).

En el cuadro 1 se resume los usos principales y las leguminosas más representativas de cada grupo.

Cuadro 1. Principales usos de leguminosas

Usos	Leguminosas
Granos comestibles alimentación humana	Soya (<i>Glycine max</i>), garbanzos (<i>Cicer arietinum</i>), judías (<i>Phaseolus spp.</i> , <i>Phaseolus vulgaris</i>), lentejas (<i>Lens culinaris</i>), habas (<i>Vicia faba</i>), caupí (<i>Vigna unguiculata</i>), guandú (<i>Cajanus cajan</i>), cacahuete (<i>Arachis hypogaea</i>), Lupinus albus , etc
Granos comestibles alimentación animal	Soya (<i>Glycine max</i>), habas (<i>Vicia faba</i>), veza (<i>Vicia sativa</i>), guisantes (<i>Pisum sativum</i>), almortas (<i>Lathyrus cicera</i>), alhovas (<i>Trigonella foenum graecum</i>), alberjones (<i>Lupinus hispanicus</i>), garbanzos (<i>Cicer arietinum</i>), Lupinus spp. , yeros (<i>Vicia ervilia</i>), algarrobo (<i>Prosopis chilensis</i>), etc.
Hortícolas	Judías (<i>Phaseolus vulgaris</i>), guisantes (<i>Pisum sativum</i>), habas (<i>Vicia faba</i>), soya (<i>Glycine max</i>), caupí (<i>Vigna unguiculata</i>)
Aceites comestibles	Soya (<i>Glycine max</i>), cacahuete (<i>Arachis hypogaea</i>)
Tuberosas	Frijol alado (<i>Psophocarpus tetragonolobus</i>)
Medicinales	Algarrobo (<i>Prosopis chilensis</i>), Lupinus spp.
Forrajeras	Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>), vezas (<i>Vicia sativa</i>), yeros (<i>Vicia ervilia</i>), guandú (<i>Cajanus cajan</i>), alholva (<i>Trigonella foenum graecum</i>), trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>)
Ornamentales	Chícharo de olor (<i>Lathyrus odoratus</i>), Lupinus mutabilis , judía escarlata (<i>Phaseolus multiflorus</i>).
Abonos en verde	Veza (<i>Vicia sativa</i>), yeros (<i>Vicia ervilia</i>), habas (<i>Vicia faba</i>), tréboles (<i>Trifolium spp.</i>), Lupinus spp.
Mejorantes de suelo	Todas en general
Cubiertas vegetales	Vezas (<i>Vicia spp.</i>), alfalfas (<i>Medicago sativa</i>), tréboles (<i>Trifolium spp.</i>).

Ésta clasificación de acuerdo a su uso, es dinámica y ha cambiado con el tiempo, algunas leguminosas tienen múltiples usos (Nadal *et al.*, 2004).

2.4. Producción mundial de leguminosas

Las leguminosas cada vez más, son una fuente de alimento valiosa para los seres humanos y para los animales de granja, ya que han representado el 27% de la

producción mundial de cultivos primarios, (Graham y Vance, 2003) y actualmente. En el 2004, las leguminosas se sembraron, en más del 13% de la superficie cultivable del mundo (Gepts *et al.*, 2005). Las leguminosas de grano solo contribuyen con el 33% de proteína de la dieta de las necesidades de los seres humanos. La soya (*Glycine max*) y el maní (*Arachis hypogaeae*) proporciona más del 35% de las oleaginosas procesadas del mundo y son rica fuente de proteína de las dietas de aves de corral e industria del cerdo (Graham y Vance, 2003).

Los mayores productores de leguminosas en el mundo (Figura 1) son la India, Canadá, China, Brasil, Myanmar, Estados Unidos de América, Etiopía, Turquía, Rusia Federal, Australia y México con una producción de grano de 14.170, 4.181, 3.777, 3.189, 2.704, 2.104, 1.573, 1.385, 1.316, 1.215 y 1.281 millones de toneladas, respectivamente (<http://faostat.fao.org/>).

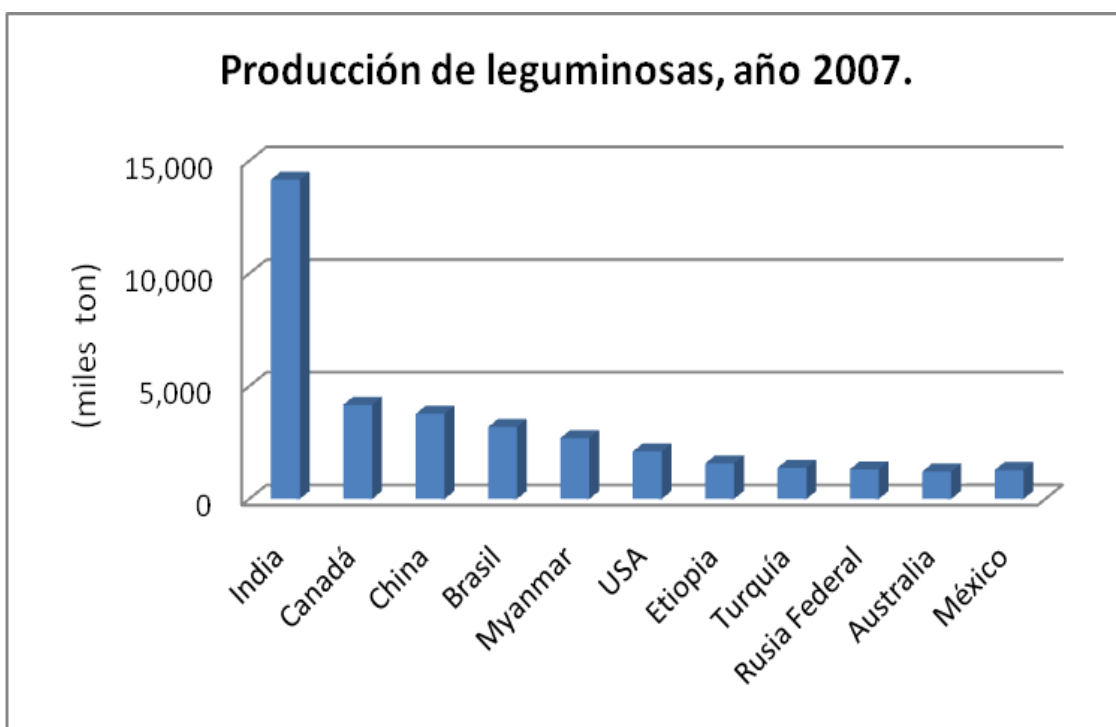


Figura 1. Principales países productores de leguminosas en el mundo, año 2007. Fuente: <http://faostat.fao.org/>.

Una alternativa al cultivo de la soya lo constituyen los lupinos ya que tienen elevados niveles de proteína, similares a la soya y superiores al del guisante y al frijol (ENTEC, 1997). Los lupinos representan dentro de la familia de las leguminosas una alternativa viable del cultivo de la soya, países como Australia, Polonia, Reino Unido, Chile y Estados Unidos, han considerado la gran importancia agrícola y económica que tiene esta planta, utilizándola en áreas donde las condiciones agroclimáticas no permiten el

crecimiento de la soya (Rahman y Gladstones, 1987; ADAS, 2001; Fraser *et al.*, 2005b).

Los lupinos además de la habilidad de fijar el nitrógeno en sus raíces, tienen bajos requerimientos nutricionales para el cultivo y presentan excelentes características de forrajeo (Lorca, 1983).

Tienen buena aclimatación a diversas condiciones de estrés, como suelos muy pobres, sequías, heladas, etc. Hace de esta planta un recurso de extraordinario valor, más ahora que se avanza hacia la agricultura sostenible, basada en el mínimo empleo de fertilizantes, pesticidas, correctores de crecimiento (corrige carencias de elementos menores), etc. (Foy 1992).

En la actualidad, el mayor productor de lupinos es Australia con 707.989 millones de toneladas en el año, seguido por Polonia, Chile y Rusia con registros de 39.686, 31.623 y 21.840 millones de toneladas, respectivamente (<http://faostat.fao.org/>), (Figura 2).

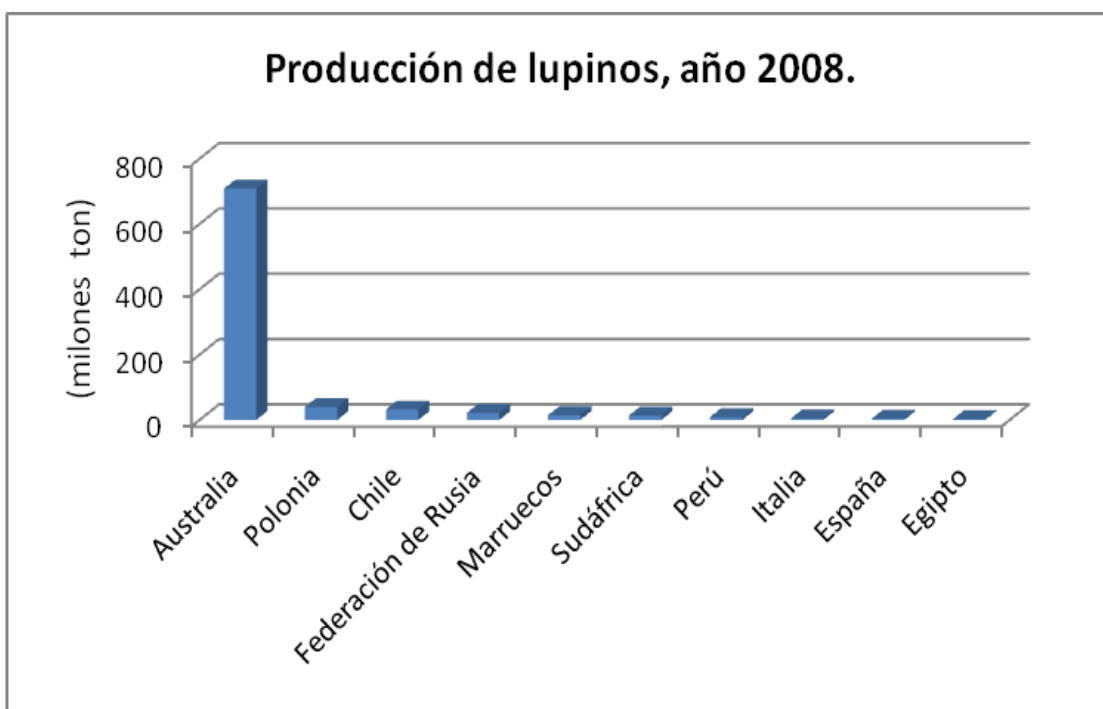
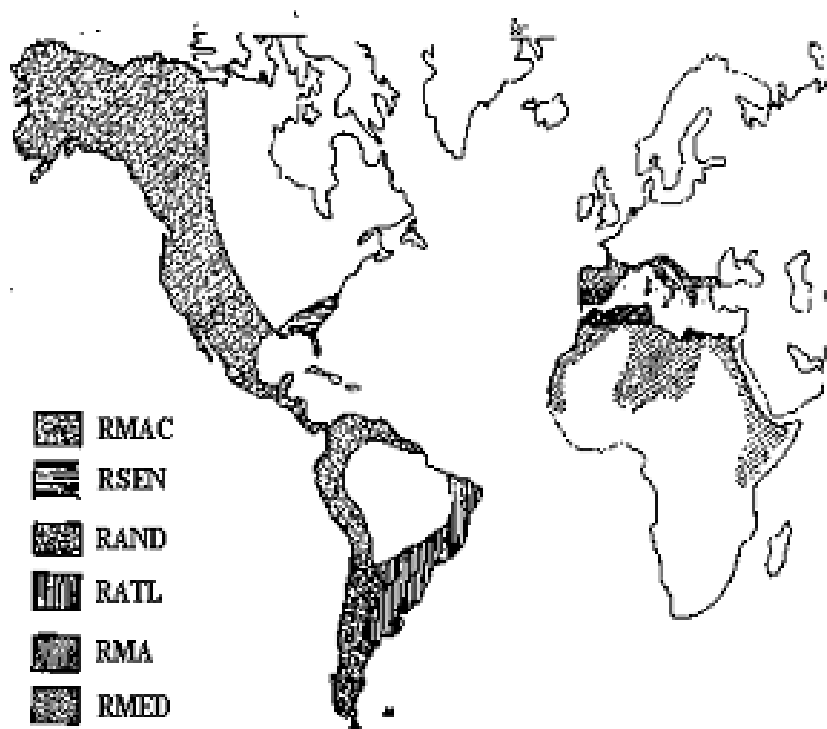


Figura 2. Producción mundial de lupinos. Fuente: <http://faostat.fao.org/>.

2.5. Género *Lupinus*

El género *Lupinus* pertenece a la familia *Fabaceae*, subfamilia *Papilionoideae* y tribu *Genisteae*, reúne más de 500 taxones, constituido por herbáceas anuales y perennes, algunos arbustos leñosos suaves y árboles pequeños (Dunn, 1984; Turner, 1995). Los lupinos, se encuentran en una amplia gama ecogeográfica en el Viejo y el Nuevo

Mundo, a partir del nivel del mar y hasta los 4,000 msnm (Figura 3), (Gladstones, 1974; Dunn, 1984; Planchuelo, 1994; Lewis *et al.*, 2005).



RMAC = Región Montañosa de Alaska a Centroamérica
 RSEN = Región Sur-Este de Norteamérica
 RAND = Región Andina
 RATL = Región del Atlántico
 RMA = Región del Mediterráneo y África
 RMED = Región del Mediterráneo

Figura 3. Regiones de distribución geográfica de las especies de *Lupinus*. (Planchuelo, 1996).

2.6. Centros de distribución

Según Hondelmann (1984) y Planchuelo (1994) existen tres centros de distribución:

Uno es el norte y Centro de América, otra es en Sudamérica y la última en la costa del Mediterráneo, estos a su vez se dividen en dos regiones cada una.

Estudios taxonómicos basados en técnicas de biología molecular a nivel mundial ha permitido definir la distribución de las especies y establecer regiones y sub-regiones geográficas en las siguientes:

I.- Región Norte y Centro América

Dividida en 2 sub-regiones

1.- Sub región Sur-Este:

Ocupa la península de Florida y la estrecha franja costera del Norte de Carolina del Misisipi en el Golfo de México. Se caracteriza por cuatro especies de hojas simples

2.- Sub región Cadena Montañosa de Alaska a América Central

Se extiende desde la isla Aleutiana en Alaska a través de las montañas Rocallosas y la región costera de Norte América hasta la sierra madre en México y América Central. Se caracteriza por plantas postradas y arbustivas.

II. Región Suramérica

1.- Sub región Atlántica

Comprende el este de Brasil, Uruguay, Paraguay, centro y este de Argentina. Se caracteriza por una gran cantidad de especies perennes de hojas simples y compuestas y pocas especies anuales.

2.- Sub región Andina

Se extiende por la vertiente de los Andes, de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Norponiente a las planicies de la Patagonia en el extremo Sur. Se caracteriza por las especies perennes arbustivas, pocas especies y postradas anuales. *L. mutabilis* es originaria de esta sub región.

III.- Región del Mediterráneo- África

Que crecen en el área del Mediterráneo y tierras altas de África. Representada por 12-13 especies. Siete especies caracterizadas por sus semillas rugosas. *L. albus*, *L. angustifolius* y *L. luteus* son especies domesticadas y cultivadas en varias partes del mundo

1.- Sub región mediterránea de semillas lisas

Comprende 5 especies en el Sureste de Europa, Norte de África e islas Mediterráneas.

2.- Sub región mediterránea de semillas rugosas

Comprende 7 especies en regiones restringidas en las tierras altas de África cercanas al Este, islas mediterráneas y alrededor de las costas de la Península Ibérica.

Solo 12 especies de lupinos son nativas de la región del Mediterráneo y África, con algunas poblaciones que se extienden de las tierras altas a las áreas tropicales del este Africano (Gladstones, 1974; Amaral y Pinto, 1978). Se encuentran en Grecia incluyendo islas, en los Balcanes, Apeninos, Península Ibérica, Marruecos, Túnez, Argelia, Egipto, Israel, Etiopia y otras ciudades. Todas las especies de lupinos del Viejo

Mundo son de tipo anual y de hojas compuestas, incluyen las especies; *L. albus*, *L. luteus*, *L. angustifolius*, *L. consentinii*, *L. atlanticus*, *L. pilosus*, *L. micranthus*, *L. hispanicus*, *L. palestinus*, *L. digitalus*, *L. somaliensis* y *L. pricei* (Gladstones, 1974).

En el Nuevo Mundo, existe la mayor diversidad de especies del género *Lupinus* con más del 90% de las especies. Distribuidas principalmente en el entorno montañoso, templado y subtropical de la cordillera americana, desde Alaska hasta el sur de Argentina y Chile, a lo largo y ambos lados de las montañas Rocosas y Andinas (Dunn, 1984 y Planchuelo-Ravelo, 1984).

Las especies de lupinos en el Nuevo Mundo presentan una estrecha relación citogenética, por lo que ha sido difícil su clasificación taxonómica. De acuerdo a sus características vegetativas, Planchuelo-Ravelo (1984) ha señalado dos grupos; 26 especies con hojas simples y el resto de las especies con hojas compuestas típicamente palmadas.

2.7. Distribución del género *Lupinus* en México

Revisiones realizadas en herbarios mexicanos indicaron que el número de especies del género *Lupinus* en México es de aproximadamente 111 (Bermúdez *et al.*, 2000). Se encuentran distribuidas desde Baja California a Chiapas a lo largo de las cadenas montañosas, con una mayor diversidad en la región central, en la franja Volcánica Transversal (eje Neovolcánico). Se localizan principalmente en la intercesión con la sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental (Figura 4). La mayoría de las especies crecen en regiones montañosas y principalmente en bosques de pino y pino-encino (Bermúdez *et al.*, 2000).

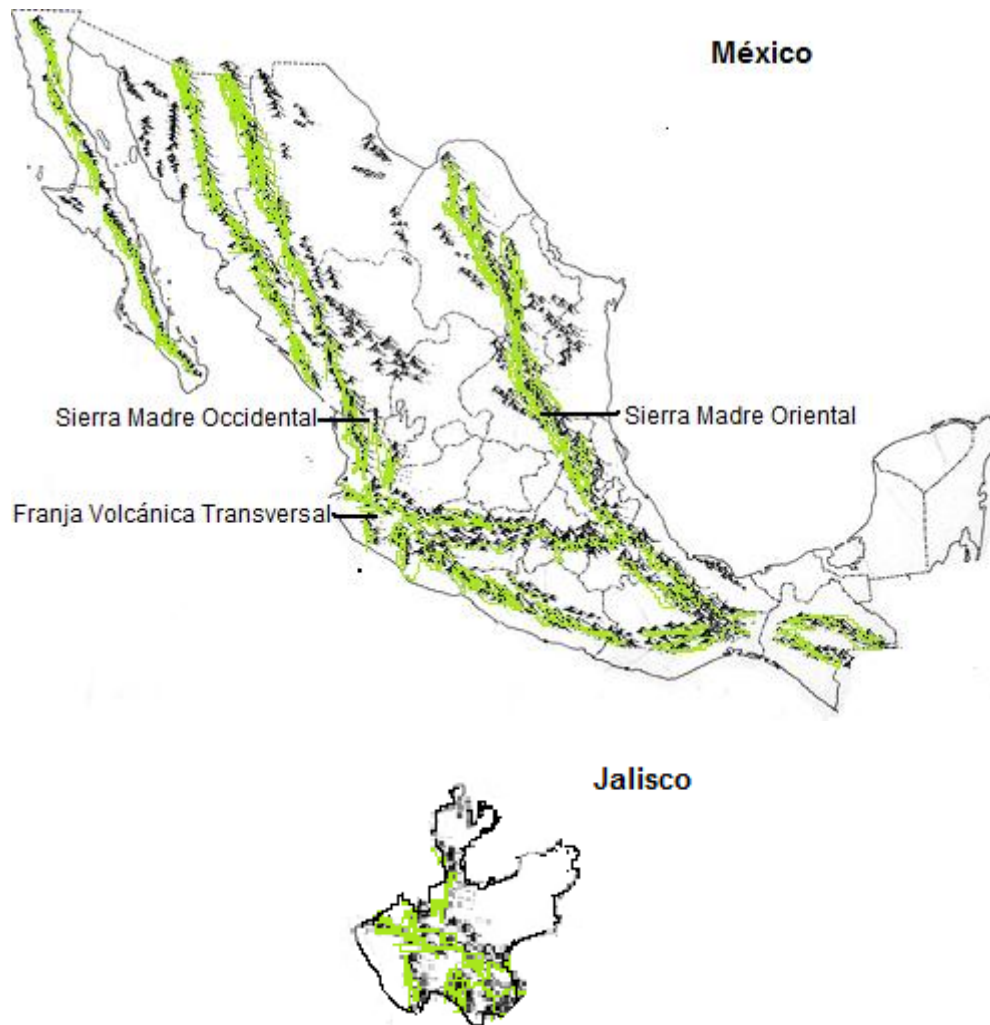


Figura 4. Distribución de los lupinos en México y Jalisco.

En el estado de Jalisco se localizan alrededor de 14-15 especies del género *Lupinus*, la mayoría en la Sierra Madre Occidental y Sierra Volcánica Transversal (Eje Neovolcánico); los municipios donde habitan son: Atemajac de Brizuela, Autlán (Sierra de Manantlán), Chiquilistlán y Tapalpa (Sierra del Halo), Ciudad Guzmán, Cuquio (cerca del Río Aguacaliente), Jocotepec (Sierra de Tecuán), Lago de Moreno, Mezquitic (San Juan Peyotán y San Andrés Cohamiata), Mascota (Cerro del Molcajete y Lago de Juanacatlán), Mazamítla (Sierra del Tigre), Ojuelos, San Martín de Bolaños (San Miguel de la Sierra), Tala (la Primavera), Talpa (cumbre del Cerro Tejamanil y Sierra de la Campana), Tequila (Volcán de Tequila), Tonila (Volcán de Fuego), Venustiano Carranza y Yahualica, (McVaugh, 1987).

2.8. Características morfológicas de los lupinos

De acuerdo a Dunn (2001), entre las características morfológicas más relevantes del género *Lupinus* se incluyen:

Plantas anuales o perennes, pueden ser herbáceas erectas, postradas o arbustos. Tallos solitarios, cespitosos o ramificados de 0.5 a 3 m de altura. Hojas alternas, estipuladas, palmadas compuestas, rara vez simples, de 4 a 6 folíolos: libres en racimos terminales pedunculados que normalmente sobresalen del follaje, racimos de 0.3 a 0.5 m. Flores en racimos terminales comúnmente de color azul o violáceas con una mancha blanca o amarilla al centro del estandarte, escasamente blancas, amarillas, rosadas o rojas. Fruto más o menos compreso, lineal-oblongo, dehiscente, generalmente pubescente. Semillas compresas, mayormente ovoides 4 a 12 por fruto, de tamaño y color variable.

2.9. Ubicación taxonómica *Lupinus rotundiflorus* (fabáceas)

La reciente actualización de la clasificación trivial y genérica de la familia Fabácea, sustentada en los últimos años en estudios filogénicos moleculares, reconoce 36 tribus, 727 géneros y 19,327 especies (Lewis *et al.*, 2005).

Reino	<i>Plantae</i> – Plantas
Subreino	<i>Tracheobionta</i> – planta vascular
Superdivisión	<i>Spermatophyta</i> –planta semillas
División	<i>Magnoliophyta</i> – planta florecimiento
Clase	<i>Magnoliopsida</i> – dicotiledóneas
Subclase	<i>Rosidae</i>
Orden	<i>Fabales</i>
Familia	<i>Fabaceae</i>
Genero.	<i>Lupinus</i>
Especie	<i>rotundiflorus</i>
Nombre botánico	<i>Lupinus rotundiflorus</i> M.E. Jones

2.10. Morfología y distribución de *L. rotundiflorus*

L. rotundiflorus tiene una altura de 0.30 a 1 m, presenta de 5 a 9 folíolos; peciolos de 9 a 14 cm; estípulas de 0.2 a 0.7 cm; inflorescencia de 10 a 40 cm; flores de color azul profundo, azul oscuro o morado profundo; Brácteas de 0.8 a 1.1 cm; bractéolas 0.7 a 3 mm; semilla de 7 a 9 y fruto de 3.5 a 4.5 cm de largo por 7 a 8 mm de ancho.

L. rotundiflorus crece en laderas abiertas, en aberturas cubiertas de hierba, colinas áridas junto con *Acacia*, *Leucaena*, *Ipomea* y grandes cactus, a veces en bosque de pino - encino, de fácil adaptación a los habitats perturbados y bordes en carretera, crece a 1200-2500 msnm en las cuencas del interior y montañas de la vertiente del Pacífico, la floración es de junio a septiembre. Endémicas de Michoacán.

L. rotundiflorus sea ha localizado en Nayarit (Ahuacatlán), Michoacán (Zamora) y Jalisco (San Sebastián, en el municipio de Mascota, laguna de Juanacatlán, municipio

de Talpa, carretera a Tapalpa, Tapalpa, cerca de Amacueca y Ciudad Guzmán), Mc Vaugh, 1987.

2.11. Mejoramiento genético de los lupinos

El potencial agrícola de los *Lupinus* inició en el siglo XX, las especies de *Lupinus* que han sido completamente mejorados y comercialmente aceptadas son *L. albus*, *L. angustifolius* y *L. luteus*. En Alemania a partir de las especies antes señaladas, se han obtenido lupinos híbridos iniciando en 1920's, donde el Dr. von Sengbusch seleccionó varias mutantes, lo que desencadenó posteriormente el desarrollo de las variedades "dulces" (bajas en alcaloides) en otros países como Australia, URSS, Alemania, Polonia, Chile, Estados Unidos y Sudáfrica. Las especies del Mediterráneo que tienen un gran potencial agrícola son *L. hispanicus* Boiss et Reut, *L. micranthus* Guss, *L. consentinii* Gruss, *L. digitatus* Forsk, *L. princei* Harms, *L. pilosus* Murr, *L. Paestinus* Boiss, *L. atlanticus* Gladst y *L. somaliensis* Baker. La mejora de las especies de lupinos puede proporcionar alternativas de cultivos de leguminosas en un amplio rango de tipos de suelos y de medio ambientes (Cowling *et al.*, 1998; Golovchenko, 2003).

2.12. Usos de los lupinos

El cultivo de lupinos contribuye de diversas maneras en los sistemas agropecuarios. En el Mediterráneo son utilizados para diversos propósitos, producción de grano ó madurez en verde, en cultivo de rotación, conservación de suelos, establecimiento de sistemas forestales, pasturas permanentes para uso directo por el ganado. Los lupinos se han desarrollado en un amplio rango de climas y se adaptan bien a suelos pobres y ácidos. La producción media de grano es entre 1 y 2 t por hectárea. Una efectiva nodulación del cultivo de lupinos no necesita fertilización nitrogenada. El lupino en rotación de cultivos es un valioso recurso que incrementa la fertilidad del suelo y mejora las propiedades del suelo. Además, puede romper el ciclo de enfermedades de los cultivos (Cowling *et al.*, 1998; Golovchenko, 2003).

2.13. Valor nutritivo de los lupinos

Se ha demostrado que el valor nutritivo del grano (semilla) de lupino está a la altura con otros suplementos proteicos, como la canola o la harina de soya cuando se alimentan a las vacas lecheras y a las ovejas (Moss *et al.* 1999; Strzetelski *et al.* 2001; Yu *et al.* 2002; Kenney, 1995).

La semilla madura de los lupinos es la parte más utilizada de la planta destinada para el consumo humano y animal. Las semillas tienen una elevada cantidad de proteína cruda entre 36 y 40%, grasa cruda de 6 a 12%, fibra cruda de 10 a 15% y carbohidratos 40 a

50%. Los principales carbohidratos en las semillas de lupinos son; galactosa, arabinosa, ácido urónico, glucosa, manosa, xilosa y ramnosa. La mayoría de proteínas son globulinas, en su mayoría de tres tipos; conglutina α , conglutina β , conglutina δ (Blagrove y Gillespie 1975). El perfil de aminoácidos indica que son deficientes en metionina, lisina, y treonina (Gladstones, 1974).

En el estado de Jalisco, las especies de lupinos silvestres (*L. elegans* *L. exaltatus* *L. reflexus* *L. rotundiflorus* *L. simulans* *L. splendens* *L. madrensis*) contienen altos niveles de proteína cruda en un rango de 37.2-45.4%, grasa cruda de 5.5-8.9%, fibra cruda de 12.7-16.6%, cenizas de 3.3-4.2% (Ruíz y Sotelo 2001).

En *L. rotundiflorus* la composición química de la semilla reportada por Ruíz y Sotelo (2001) revela un contenido de proteína cruda de 42.82%, lípidos totales 5.50%, fibra cruda 15.11% y cenizas 4.01%. La composición de aminoácidos (AA) como AA aromáticos (fenilalanina + tirosina), isoleucina, leucina, lisina, AA azufrados (metionina + cisteína), treonina, triptófano y valina son de 5.99, 3.67, 6.58, 4.83, 1.90, 3.77, 1.24 y 4.02 (g/100 g de proteína) respectivamente. En la calificación química de los aminoácidos resultó deficiente en azufrados con un valor de 76% y en segundo término la lisina con 83.3%.

Asimismo se han realizado algunos estudios nutricionales y toxicológicos en *Lupinus splendens*, *L. exaltatus*, *L. reflexus* y *L. mexicanus* colectados en la región Occidente de México, en donde se han encontrado valores de proteína de 30 a 45%, y además se han encontrado cantidades mínimas de glucósidos cianogénicos, lectinas, inhibidores de tripsina y saponinas, pero porcentajes altos de alcaloides hasta de un 4.2% (Ruíz *et al.*, 2000).

Ruíz *et al.* (2006) reportan que las plantas de *Lupinus exaltatus* colectadas en el Nevado de Colima, México, representan una buena fuente de proteínas sobre todo las semillas y el follaje (38.4 y 23.5%), respectivamente.

En otros estudios de lupinos silvestres del estado de Jalisco, se han reportando en semillas valores promedio de digestibilidad “*in situ*” de 80% (Ruiz, 2006). Adicionalmente se ha analizado la composición química y el perfil de ácidos grasos en varias especies silvestres (García *et al.* 2001), también se ha determinado el perfil de alcaloides de las semillas de *Lupinus exaltatus* Zucc. y efectuado la evaluación anti-fúngica del extracto alcaloideo y de la lupanina contra fitopatógenos (Zamora *et al.*, 2005).

Los lupinos silvestres representan un buen potencial alimenticio, ya que las semillas presentan valores nutricionales parecidos a los lupinos domesticados, sin embargo, al igual que con las especies domesticadas su consumo esta limitado por el alto contenido de alcaloides quinolizidínicos que van del 0.2 al 4% (Gladstones, 1974; Haq, 1993; Ruiz y Sotelo, 2001).

Sin embargo, se requieren de mayores estudios del forraje de los lupinos respecto a su constitución química y características nutricionales, dirigidos a un aprovechamiento sustentable de los mismos, ya que la mayoría de los trabajos reportados se enfocan a evaluar las semillas.

2.13.1. Valor nutritivo del forraje de lupinos mejorado

McKenzie y Spaner (1999), revelan que existen pocos estudios relacionados con las prácticas del cultivo de los lupinos como forraje. Fraser *et al.* 2005a y 2005b, han evaluado el potencial de crecimiento que tienen *L. albus* y *L. angustifolius* como cultivo de semilla en muchas zonas del Reino Unido. Sin embargo, existe poca información en la literatura en cuanto a su potencial como cultivo de forraje de alto contenido proteico, (Milford, 1994).

Las especies de lupinos que se encuentran actualmente en uso agrícola, son; *Lupinus albus*, *Lupinus luteus*, *Lupinus angustifolius*, y todos tienen un potencial como cultivo de grano de alto valor proteico o de forraje para el ensilado (ENTEC, 1997; Wilkins y Jones, 2000; Fraser 2005a).

Fraser *et al.* (2005a), estudiaron en *L. albus*, la composición química y el efecto de la inoculación y las características de fermentación. En otros estudios, Colombini *et al.* (2007) y Fraser *et al.* (2005b) en ensilados de *L. angustifolius* evaluaron los efectos de la inoculación con bacterias ácido lácticas sobre las características de fermentación de los ensilados de lupinos.

Bruno-Soares *et al.* (2008a y 2008b) evaluaron las características de fermentación, composición química de forraje de *L. albus* con inóculo de bacterias ácido lácticas, enzimas y taninos condensados sometido al proceso de ensilaje. También evaluaron la degradabilidad de la materia seca y proteína del ensilado en rumen. Encontraron menor pérdida de proteína cruda en rumen en los ensilados que fueron inoculados, en tanto, la adición de taninos logro proteger las proteínas de la hidrólisis enzimas microbianas y de la planta pero solo fue capaz de reducir la tasa de hidrólisis de las proteínas durante la degradación microbiana del rumen.

Los lupinos producen importantes rendimientos de forraje y grano con un gasto mínimo de fertilizantes nitrogenados, lo que los hace atractivos para su cultivo (Fraser *et al.*, 2005b). En cultivos de *L. albus* se obtuvieron rendimientos de 42.02 y 60.95 ton ha⁻¹ en base fresca, se han reportado niveles de MS de 17 y 18.5%, de PC de 17.7% y 19.6%, FDN de 44.8 y 43% para la variedad Arthur y Nelly respectivamente, las cuales fueron cosechadas a las 16.5 semanas de la siembra, (Fraser *et al.*, 2005a). En *L. angustifolius* encontraron rendimientos de 37.04 y 36.62 ton ha⁻¹ en base fresca, y reportado niveles de MS de PC de 20.5% y 18.3%, GC de 11.7% para las variedades, Borweta y Bordako respectivamente, cosechadas a las 16.5 semanas de la siembra (Fraser *et al.*, 2005b).

2.13.2. Valor nutritivo del forraje de lupinos silvestres

Estudios de la composición química del forraje de *L. exaltatus* indicaron valores de proteína de 23.5%, similares o superiores a los que se han encontrado en otras leguminosas silvestres y cultivadas con importancia forrajera. La digestibilidad *in situ* realizada en semilla, forraje, vainas maduras y planta completa alcanzó valores de 76.6 a 72.9% para la digestibilidad de la MS y para la digestibilidad de la PC de 70.0 a 32.4% respectivamente (Ruíz *et al.*, 2006). Los autores concluyen que la planta representa una alternativa potencial para utilizarla como forraje en dietas de rumiantes una vez disminuido o eliminado los alcaloides por métodos físicos.

En la región sur del estado de Jalisco, es común encontrar *L. exaltatus* y otras especies silvestres en los meses más fríos (<0° C) del año, época cuando escasean plantas silvestres con potencial forrajero. Sin embargo no hay antecedentes sobre la utilización de esta planta como forraje, pobladores de la región indican que el ganado la consume ocasionalmente (Zamora *et al.* 2009).

Herrera *et al.* (2008) y Herrera *et al.* (2010), determinaron la capacidad de conservación del forraje de *Lupinus exaltatus* y *L. rotundiflorus* mediante ensilaje a través de la composición química y el contenido de alcaloides en ensilados de *L. exaltatus* y *L. albus* que fueron cultivados en el estado de Jalisco con buenos resultados de conservación. **2.14. Alcaloides de lupinos**

Los alcaloides son sustancias tóxicas con sabor amargo que pueden acumularse en todas las partes anatómicas de la planta, sin embargo en la madurez, las semillas es el sitio principal de almacenamiento (Wink, *et al.*, 1995).

En el género *Lupinus* (Fabaceae), los alcaloides quinolizidínicos son el grupo más importante de compuestos naturales (Wink, 2003). Se han encontrado más de 100 diferentes alcaloides entre ellos se encuentran, la lupanina, 13 hidroxilupanina y esparteína, cuya estructura se muestra a continuación:

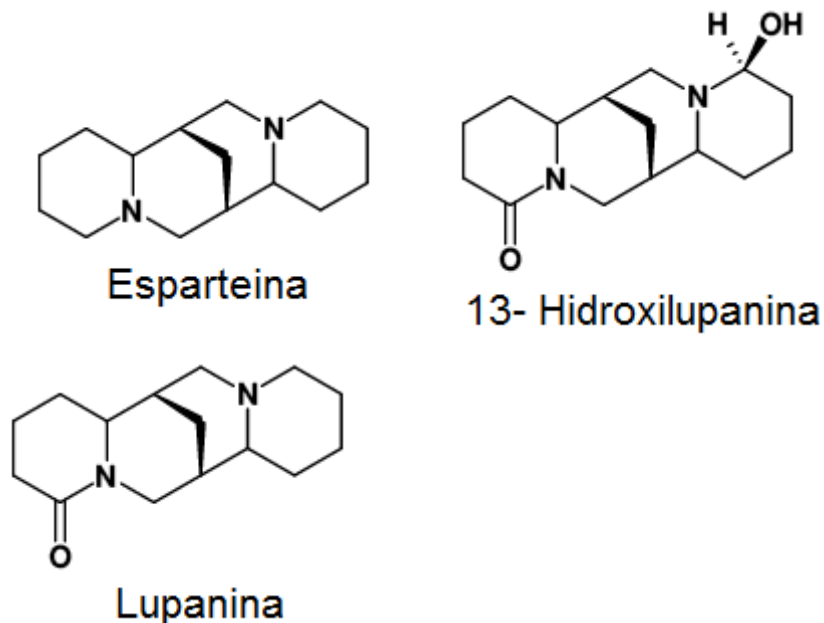


Fig 5. Estructura de alcaloides quinolizidínicos.

En algunos casos se han encontrado otros alcaloides como la gramina y la amodendrina (Kinghorn *et al.*, 1980; Wink, 1993; Wink *et al.* 1995).

Los alcaloides quinolizidínicos se sintetizan en los cloroplastos de las hojas y son transportados vía floema a otros órganos de la planta para su almacenamiento, en tejido epidérmico y sub-epidérmico de las hojas, tallos y principalmente en semillas (Wink y Hartmann, 1981).

Algunos estudios indican que antes de la floración, la mayor concentración de alcaloides en los lupinos se encuentra en las hojas, le siguen en orden el tallo y la raíz, lo anterior debido probablemente, a que las hojas en esta etapa de desarrollo son más susceptibles de ser consumidas por los herbívoros (Williams y Harrison, 1983; Wink, 1998a).

Ruiz y Sotelo (2001) reportaron el contenido de alcaloides quinolizidínicos en lupinos silvestres mexicanos. Encontraron que la lupanina fue el principal alcaloide en la mayoría de lupinos estudiados (*L. exaltatus*, *L. elegans*, *L. splendens*, *L. rotundiflorus*, *L. simulans*, y *L. madrensis*), y la esparteína fue el principal alcaloide en *L. reflexus*. Los alcaloides identificados en *L. rotundiflorus* fueron lupanina, 3-hidroxilupanina y

esparteína con niveles de 11.50, 4.19 y 0.11 (mg/g de muestra), respectivamente. Adicionalmente Zamora *et al.*, (2009) reportaron la concentración de alcaloides totales en los diferentes órganos de *L. exaltatus* la que fluctuó en un rango de 0.31 a 2.1%, en función de las etapas de crecimiento, el menor contenido de alcaloides se encontró en tallos (0,63%) mientras que en frutos inmaduros (vainas verdes) se encontró el nivel más alto (1,95%), la lupanina resultó ser el compuesto mayoritario en tallos y frutos. 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.

2.14.1. Efectos toxicológicos de los alcaloides en los lupinos

Los alcaloides presentes en los lupinos tienen efecto farmacológico en humanos y animales. Su consumo puede causar daño en el sistema nervioso central, disturbios en el equilibrio, molestia estomacal e intestinal, náuseas, midriasis, parálisis del sistema respiratorio, estado progresivo de debilidad, coma y muerte (Muzquiz, 1988). En el ganado bovino y ovino los signos clínicos son caracterizados por depresión respiratoria, acción hipotensora, inhibición de transmisión neuromuscular y fibrilación cardíaca. En algunos casos se ha observado una dramática deducción en el consumo de alimento (Merck, 1993; Cubillos *et al.* 1999; Herrera *et al.* 2008).

Caso particular es la anagirina, alcaloide quinolizidinico que es el teratógeno primario presente en los lupinos causante de malformaciones o muerte embrionaria (Keeler, 1976). Las especies de lupinos, *L. caudatus*, *L. laxifolius*, *L. nootkatensis* y *L. sericius* en EU se han relacionado con el “síndrome del becerro encorvado”. En tanto, Ruiz y Sotelo (2001) en los lupinos silvestres colectados en el estado de Jalisco, no reportan la presencia de alcaloides teratógenicos.

Varias especies de lupinos son tóxicas para el ganado ovino y bovino, produciendo la muerte o "la enfermedad del ternero encorvado". Para hacer frente a plantas venenosas y evitar su efecto dañino, los animales han aprendido estrategias de forrajeo o desarrollado mecanismos que afectan la disposición del tóxico en el organismo. Cuando una planta tóxica es consumida, la remoción de sustancias nocivas está determinada por el estado nutricional y/o fisiológico de los animales. El trabajo de López *et al.* (2004) demuestra que la condición corporal en los borregos es importante en la disposición de los alcaloides cuando estos fueron suplementados a corto plazo con una dosis única de semillas de *L. argentus*.

En México no se tienen reportes sobre intoxicación en el ganado que consume ocasionalmente lupinos, sin embargo, en EEUU y Canadá se han documentado pérdidas de ovejas por envenenamiento provocada por la ingestión de lupinos silvestres y se relacionaron a los alcaloides quinolizidínicos con la intoxicación, observando en los animales falla respiratoria, convulsiones, coma y finalmente la muerte (Kingsbury, 1964; Kinghorn, *et al.*1980).

2.14.2. Alcaloides de lupinos dentro de un contexto ecológico

Se ha señalado que una de las funciones importantes de los metabolitos secundarios es la defensa química contra microorganismos (virus, bacterias y hongos) animales fitófagos (insectos, nematodos, moluscos, vertebrados) y contra otras especies de plantas competidoras (alelopatía) (Wink, 1984; Wink, 1994; Harborne, 2001). Sin embargo los alcaloides dentro de un contexto ecológico tiene relación con el papel que juegan dentro de un sistema químico elaborado de defensa principalmente contra invertebrados (insectos) y vertebrados (mamíferos) (Wink, 1994).

2.15. Importancia de los lupinos en la alimentación animal

Los lupinos tienen un valor nutricional importante en la alimentación de los animales monogástricos y rumiantes. Las principales especies de lupinos utilizadas en las dietas para el ganado incluyen *Lupinus albus*, *L. angustifolius*, *L. mutabilis* y *L. luteus*. La suplementación con semillas de lupinos en las dietas en rumiantes ha demostrado que tienen muchos efectos positivos en términos de crecimiento y eficiencia reproductiva (Hill, 1977).

2.16. Respuestas en la producción del ganado por el consumo de las semillas de los lupinos

2.16.1. Cerdos

Lupinus luteus, (lupino amarillo) y *L. angustifolius* ha sido evaluado como ingrediente en alimentos para cerdos (Mullan *et al.*, 1997), que pueden utilizar eficazmente las semillas de *L. angustifolius* y *L. luteus*, pero aún no se ha revelado todavía la razón de la pobre utilización de las dietas que contienen *L.albus*. La inclusión de *L. albus* en las dietas de cerdos no se recomienda, debido a la disminución resultante del crecimiento de los cerdos (van Barneveld, 1999). Se ha encontrado que cuando *L. albus*, se incluye en las dietas de cerdos en niveles por encima de 150 g/ kg ha provocando una disminución en la ingesta del alimento (King, 1990) *L. angustifolius*, puede incluirse en las dietas de cerdos en niveles altos sin afectar a la ingesta del alimento. Barnett y

Batterham (1981) sustituyen la harina de soya por lupinos en dietas para cerdos basada en el trigo, con aceptables resultados.

2.16.2. Aves

Los pollos no toleran altos niveles de lupinos en sus dietas y su uso se limita por los problemas asociados como la presencia de heces con alto contenido de humedad. Las aves de corral tienen una alta capacidad de utilización de los aminoácidos y de la energía contenida en los lupinos. Los niveles elevados de carbohidratos no amiloides deprimen la aparente energía metabolizable total (ME) disponible en pollo. Los granos de *L. angustifolius*, *L. albus*, y *L. luteus*, son ahora un componente establecido en las dietas de aves de corral, pero aún a pesar de su alto valor como un ingrediente alimenticio, no son ampliamente utilizados en muchos países que prefieren la utilización de la soya (Van Barneveld, 1999).

2.16.3. Peces

Los lupinos tienen un papel potencial en la nutrición de las especies acuícolas. Robiana *et al.* (1995) examinaron la sustitución parcial de la harina de pescado con harina de soya y harina de semillas de lupinos en dietas para pargo (*Sparus aurata*). La ingesta del alimento y la tasa del crecimiento no fueron influenciados por el tipo o el nivel de proteínas vegetales en la dieta. Igualmente, el coeficiente de conversión del alimento y la relación de eficiencia de las proteínas no se afectaron. Es importante señalar que los peces alimentados con la harina de semillas de lupinos reducen las actividades de la tripsina intestinal y un alto pico en la tasa de excreción del amoníaco apareció 2 h más tarde comparado con los peces alimentados con dietas que contienen harina de pescado. Estos resultados, y el hecho de que el pargo son esencialmente carnívoros, son alentadores para el potencial de los lupinos en las dietas en la acuicultura.

La harina de semillas de lupino también se ha evaluado satisfactoriamente comparándola con la harina de guisantes y haba como sustituto alimenticio de harina de pescado en dietas para la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), (Gouveia *et al.*, 1993). Todas las fuentes de proteínas vegetales, se incluyeron al 20% de la dieta. Los peces alimentados con las fuentes de proteína vegetal obtuvieron mejores resultados que aquellos alimentados con la dieta control, la dieta con lupinos alcanzó el mejor rendimiento (van Barneveld, 1998).

2.16.4. Humanos

Mariotti *et al.* (2002), evaluaron el valor nutricional de la proteína de semillas de *L. albus* var. Ares comparándola con aislados de proteína de soya con humanos. Los resultados mostraron que la proteína de la harina de lupino blanco tiene una alta digestibilidad y puede ser usado tan eficaz como la proteína de soya para la deposición de proteína *postprandial* sin promover las pérdidas de N endógeno, por íleon o por medio del catabolismo proteico.

2.16.5. Rumiantes

En rumiantes las raciones suplementadas con lupinos han demostrado que tienen múltiples beneficios para el crecimiento y eficiencia reproductiva. Esto es debido principalmente al aporte proteico de los lupinos como una fuente de nitrógeno en el rumen para la síntesis microbiana de proteínas.

La suplementación de dietas de rumiantes con semilla de *L. albus* *L. angustifolius* *L. luteus* y *L. consentinii* mejoran el consumo y rendimiento de los animales (Kenney y Smith, 1985; Morcombe *et al.*, 1986; Godfrey *et al.*, 1993; Murray, 1994).

Fukamachi (1986) demostró que las raciones para el ganado lechero que contienen el 10% de lupinos en sustitución de la harina de soya, tienen rendimientos similares, sin afectar la calidad de la leche, por tanto no afecta el consumo del alimento cuando se formula con un nivel igual de materia seca, proteína cruda y digestibilidad de la proteína.

Los lupinos poseen otras características intrínsecas que los hacen más atractivos para complementar las raciones de rumiantes. Por ejemplo, la energía metabolizable (EM) de las semillas, los convierte en un valioso complemento para mejorar el rendimiento reproductivo en el ganado ovino. Se ha demostrado el aumento en la tasa de ovulación de ovejas alimentadas con semillas de lupinos, sin cambio en el peso vivo, posiblemente debido al alto contenido en proteínas de las semillas (Lindsay, 1976; Johnsson *et al.*, 1982; Leury *et al.*, 1990 y Nottle *et al.*, 1985).

En sistemas extensivos en la producción de leche de ovejas, los lupinos poco se utilizan en la alimentación como único suplemento, por lo que es frecuente en mezclar los cereales en los alimentos. El nivel de inclusión de los lupinos en la dieta está determinado por el contenido de proteína en los pastos o los forrajes conservados que se ofrecen, en la etapa de lactancia y del nivel de producción.

2.17. Forraje de lupinos

Hay pocos estudios del uso de forraje de lupinos en la alimentación de rumiantes, así como las vinculadas a las prácticas del cultivo como forraje alternativo a otras leguminosas (McKenzie y Spaner, 1999).

En un estudio se evaluó el potencial de *L. angustifolius* como forraje verde, se midió la acumulación de la materia seca y cambios en el valor nutritivo con el tiempo, se encontró que el rendimiento máximo de la materia seca fue de 990 Kg ha⁻¹ a los 150 días después de la siembra, la mayor digestibilidad (65%) se alcanzó a los 125 días, la mejor concentración de la proteína fue a los 45 días (28.75%), y la cantidad total de nitrógeno más alta coincidió con la mayor acumulación de la MS.

En un segundo experimento (en la misma investigación) se estableció un cultivo del lupino y en cuatro estados fenológicos de la planta fue pastoreada por corderos. Se encontró que la mayor cantidad de MS del forraje fue en el estado de vaina verde, la mayor concentración de proteína y digestibilidad fue durante la etapa de prefloración. Los resultados sugieren que los lupinos (bajos en alcaloides) se pueden considerar como cultivo forrajero de alta calidad para el pastoreo de corderos jóvenes, (Burt, 1981).

Por su parte Romero *et al.* (1993), evaluaron el forraje de *Lupinus albus* y el *Lupinus mutabilis* como alternativas de forraje, así como las características agronómicas de cultivo, estado fenológico, altura, rendimiento de la materia seca y digestibilidad *in vitro* de la proteína, se concluyó que la calidad del forraje de los lupinos en términos de proteína y energía, son una buena alternativa en la alimentación de rumiantes.

Por otra parte Ruíz *et al.* (2006), evaluaron química y nutricional el forraje de *Lupinus exaltatus* Zucc, como fuente potencial de forraje. Se reportó que la planta se considera buena fuente de proteínas, sobre todo las semillas y el forraje, por lo que *L. exaltatus* representan una alternativa potencial para ser utilizada como forraje en dietas de rumiantes, una vez disminuido o eliminado los alcaloides y sean probados en animales.

2.17.1. Conservación del forraje

Existen diferentes técnicas de conservación de los forrajes como la henificación, el henolaje y el ensilaje, los cuales evitan su deterioro y permite aprovechar sus propiedades nutritivas cuando el alimento escasea (Bruno *et al.*, 1997).

2.17.2. Henificación

La henificación es un método que se obtiene por la evaporación del agua contenida en los tejidos de la planta. El heno se caracteriza por tener bajo contenido de humedad, menos del 15%, que le permite almacenarse sin fermentaciones ni desarrollo de hongos. Es la técnica de conservación de forraje de leguminosas más utilizada en los últimos años, sin embargo es complementada y en algunos casos reemplazada, por el henolaje o el ensilaje (Romero, 2004).

2.17.3. Henolaje

El henolaje o empaquetado de forraje húmedo en rollos es una técnica que consiste en cortar y someter el forraje a un pre-marchitado durante cierto tiempo hasta lograr un contenido de materia seca próximo al 50%. Posteriormente se procede al enrollar el pasto y se cubre automáticamente con una película de polietileno.

Una vez iniciados los procesos de fermentación, junto con los de respiración del material cortado, el oxígeno se consume rápidamente y se origina un ambiente de anaerobiosis, que propicia el desarrollo de bacterias lácticas. Estas fermentan los azúcares de la planta y los transforman en ácido láctico, que disminuye el pH hasta 4 a 4.5 (Iza, 1992).

2.17.4. Ensilaje

El ensilaje es una técnica que permite conservar el forraje en un estado físico y nutricional parecido al que tenía en el momento de la recolección con mínimas pérdidas de los nutrientes (van Soest, 1994). A diferencia de la henificación donde la conservación del material se produce a partir de una deshidratación (Bertoia *et al.*, 1993) los ensilados son los forrajes conservados con alta humedad.

La conservación del forraje se realiza mediante fermentación ácida y constituye una modalidad muy recomendable, particularmente donde las condiciones climáticas impiden la adecuada elaboración del heno y en las condiciones que el forraje se produce en determinadas épocas del año, los excedentes pueden ser almacenados en silos. El ensilado proporciona un alimento succulento para los rumiantes durante la época de sequía (Reaves y Henderson, 1969).

Procesos de fermentación:

La fermentación del ensilaje se puede dividir en 4 fases:

- a) Fase aerobia: se presenta una respiración en el material de la planta por el oxígeno que permanece al momento de ensilar entre las partículas, el cual se reduce en pocas horas por los organismos aerobios y facultativos como las

levaduras y las enterobacterias, las enzimas carbohidrasas y proteasas están activas a pH de 6.5 a 6.0, que es el rango del pH del forraje fresco, en estas condiciones se metabolizan los azúcares y el oxígeno, generando CO₂, agua y calor, esta fase dura unas cuantas horas (Kunkle y Chambliss, 1999; Stefanie *et al.*, 1999).

- b) Fase de fermentación (anaerobia): Se inicia cuando el oxígeno en el ensilaje se ha agotado y las bacterias anaerobias presentes en el ensilado fermentan carbohidratos produciendo ácidos orgánicos como acético, láctico y otros, si las condiciones son apropiadas la fermentación será ácido láctica y las bacterias responsables de esta fermentación se convierten en la población predominante en esta fase, el pH descenderá a 3.8 a 5.0. Ésta fase dura de días a semanas. Cuanto más rápido se complete la fermentación, mayor cantidad de nutrientes se logrará retener en el silo (Stefanie *et al.*, 1999).
- c) Fase estable: La mayoría de los microorganismos disminuyen lentamente, solo algunos tipos de *Lactobacillus* toleran el pH ácido así como algunas proteasas y carbohidrasas.
- d) Fase de putrefacción: Inicia cuando el ensilado es expuesto al aire y se puede dividir en dos pasos; Etapa Inicial, caracterizado por la degradación de los ácidos orgánicos, por levaduras y ocasionalmente por bacterias acéticas, provocando la elevación del pH, con lo cual da inicio a la segunda etapa donde se presenta elevación de temperatura y actividad de *Bacillus* y otros organismos aeróbicos facultativos como hongos y enterobacterias. En esta parte puede haber pérdidas de 1.5 a 4.5% de materia seca por día en las partes del silo afectadas (Stefanie *et al.*, 1999).

Cambios químicos en el proceso de ensilaje de leguminosas

Hasta hace poco, las leguminosas se consideraban como no aptas para el ensilaje porque la fermentación que dominaba en el ensilaje era tipo butirato debido al dominio de clostridios. Esto se ha atribuido a tres factores.

1. Alta capacidad amortiguadora
2. Tendencia a un bajo contenido de carbohidratos solubles en agua
3. Frecuentemente contienen poca materia seca

La alta capacidad amortiguadora de las leguminosas se debe principalmente al alto contenido de ácidos orgánicos, en la alfalfa puede llegar al 10% MS. Los principales ácidos en las leguminosas son el málico, cítrico, quínico, malónico y glicérico. Estos

ácidos orgánicos y sales son considerados como la principal causa de la alta capacidad amortiguadora de las leguminosas. El alto contenido de proteína también juega un papel importante. La principal fuente de reserva en las leguminosas es el almidón, sin embargo el almidón es insoluble en agua por lo que no está disponible como sustratos fermentables para las bacterias, ácidos lácticos.

Los principales azúcares solubles en agua son fructosa, glucosa y sacarosa, aunque la rafinosa y estaquiosa se han identificado (McDonald, 1991).

En las leguminosas, el bajo contenido de los carbohidratos solubles se ve reflejado en el contenido de nitrógeno amoniacal ($N-NH_3$) de los ensilados, que constituye un indicador de mala preservación del material. El nivel de $N-NH_3$ se relaciona inversamente con la concentración de carbohidratos solubles de la planta original. Es decir, las leguminosas forrajeras y las gramíneas en estados tempranos de desarrollo y con bajos tenores de azúcares y alto contenido de proteína producen, al ensilarse, una cantidad de ácido insuficiente para evitar el desarrollo de clostridios responsables de fermentaciones secundarias que transforman el ácido láctico en butírico y degradan proteínas y aminoácidos aumentando el nivel de $N-NH_3$.

En las leguminosas más difíciles de ensilar, se debe recurrir a ciertas prácticas de manejo para mejorar su conservación. Las más utilizadas son el premarchitado, el agregado de algún ácido (fórmico o propiónico), granos molidos, melaza e inoculantes y enzimas (cultivos de bacterias lácticas + enzimas) (Gross, 1987; McDonald *et al.*, 1991).

En ensilados bien elaborados las bacterias que predominan son las ácido lácticas. Bajo condiciones anaerobias pueden fermentar numerosos sustratos, la vía recorrida para fermentar azúcares es utilizada para su identificación. Buyze *et al.* (1957) las dividió en tres grupos fisiológicamente distintos:

1. Homofermentadores obligados; fermentan exclusivamente hexosas a ácido láctico, pero no fermentan pentosas y gluconatos, contienen enzimas fructosa bifosfato aldolasa (FBP aldolasa) pero no fosfocetolasa.
2. Heterofermentadores facultativos; poseen FBP aldolasa y también fermentan hexosas casi exclusivamente a ácido láctico y en adición fermentan pentosas a ácido láctico y ácido acético usando una fosfocetolasa.
3. Heterofermentadores obligados; fermentan hexosas a ácido láctico, ácido acético/etanol y CO_2 , posee fosfocetolasa pero no FBP aldolasa.

Procesos de Fermentación

- A. Fermentación homoláctica de hexosas: Gibbs *et al.*, 1987 encontró que la vía glicolítica fue el mecanismo que involucra la etapa inicial de la fermentación de la glucosa por organismos homolácticos. Las dos moléculas de glucosa o fructosa son subsecuencialmente reducidas a dos moléculas de ácido láctico.
- B. Fermentación de pentosas; En el forraje recién cosechado hay pocas pentosas, las cuales se pueden formar más tarde por la acción de la hidrólisis ácida y por hemicelulasas. Ambas homo y heterofermentativas bacterias ácido lácticas pueden fermentar varios tipos de pentosas. Las pentosas son tomadas por permerasas específicas y convertidas a D- xilosa-5 fosfato y fermentan a mezclas de ácido láctico y ácido acético.
- C. Fermentación de ácidos orgánicos. Algunas bacterias ácido láctico pueden fermentar ácidos orgánicos a lactato y acetato. El ácido cítrico y el málico son metabolizados rápidamente en los forrajes ensilados.
- D. Fermentación de compuestos nitrogenados; Las bacterias ácido lácticas son virtualmente no proteolíticas, la síntesis de aminoácidos es limitada por lo que requiere de una fuente externa de alimentación para su crecimiento. La habilidad para fermentar aminoácidos también es limitada, solo se consideran la serina y arginina. Los productos obtenidos de la arginina es la ornitina, amonio y CO₂ y de la serina, la acetoína, amonio y CO₂. En algunas evidencias indican que ciertas bacteria ácido lácticas pueden decarboxilar aminoácidos a aminas, algunas bacterias ácido láctico también reducen nitrato (*Lactobacillus plantarum*). El principal patrón del metabolismo del nitrato es principalmente la formación de nitrito y secundariamente la reducción de este a amonio (Mc Donald, 1991).

El consumo de ensilados de baja calidad conduce a un desequilibrio importante en el rumen debido al exceso de los precursores de amoníaco y el agotamiento de energía fácilmente fermentable en rumen, lo cual se ve afectada por la a sincronía en los tiempos en que se ponen a disposición.

En muchos países los forrajes ensilados son muy apreciados como alimento animal. En Europa, los agricultores como Holanda, Alemania y Dinamarca, almacenan más de 90% de sus forrajes como ensilados. Aún en países con buenas condiciones climáticas para la henificación, como Francia e Italia, cerca de la mitad del forraje se ensila. Las cosechas

más importantes para el ensilaje a nivel mundial son las de maíz, alfalfa y pastos, también se ensilan trigo, sorgo y algunas legumbres (Wilkinson *et al.*, 1996).

Para producir un ensilado de buena calidad nutricional es esencial asegurar que se produzca una buena fermentación microbiana en el ensilado. El proceso de fermentación depende principalmente del tipo y la calidad del forraje, así como de la técnica empleada para la cosecha y para el ensilaje (Oude *et al.*, 2000).

2.17.5. Ventajas del ensilaje

El ensilaje es la técnica más práctica para conservar el valor nutritivo de un forraje ya que reduce las pérdidas de forraje durante la recolección y manipuleo. Permite usar los pastos o forrajes, que se pueden sembrar en época de lluvias. El pasto destinado al ensilaje puede ser cortado cuando tiene los valores nutritivos más altos y el material ensilado se puede conservar por mucho tiempo. El ensilado conserva el buen sabor del forraje durante el tiempo de almacenamiento, suministra al ganado forraje succulento de calidad uniforme durante todo el año. Cuando hay escasez de pasto verde, permite suministrar al ganado un alimento fresco, jugoso y nutritivo. Aumenta la capacidad de carga por hectárea y la pérdida de nutrientes suele ser mínima y es agradable al paladar del animal (Ojeda *et al.*, 1991).

El ensilaje permite a los campesinos dedicados a la crianza y explotación del ganado vacuno prevenir la escasez del forraje. Así podrán disponer de alimento suficiente y mantener o incrementar la producción de leche y carne.

Disminuye la utilización de alimentos concentrados, si no es necesario usarlo, se puede guardar de un año a otro sin problema. En comparación con otras formas de conservación de los forrajes, el ensilaje permite obtener los menores costos (Giraldo *et al.*, 2004).

Algunos cultivos que han sido ensilados como el maíz han permitido obtener altos rendimientos/ha, almacenaje inmediato, palatables, bajo costo, mínimo porcentaje de pérdidas.

El uso del ensilados es muy común en sistemas de producción animal intensiva de zonas templadas, ya que durante el invierno o en verano no se dispone de un suplemento preservado de alta calidad para complementar el consumo de pasto y así mejorar la producción de leche o la utilización de nitrógeno (L.'t Mannelje, 1999a).

2.17.6 Ensilados de lupinos

Fraser *et al.* (2005a) valoraron los efectos de la inoculación con bacterias ácido lácticas en el proceso de ensilaje de *L.angustifolius* sobre las características de fermentación de

lupinos mezclados con cereales o pajas. Así mismo, Fraser *et al.*, (2005b) y Colombini *et al.* (2007), reportan que el empleo de inóculos de bacterias ácido lácticas en el ensilaje del forraje de *L. albus* mejoran significativamente las características de la fermentación y composición química del ensilado. El forraje de lupinos dulces ensilado se ha utilizado por su alto contenido de proteína y fibra en la alimentación de borregos y ganado productor de carne y leche.

Por otra parte, los lupinos silvestres que están ampliamente distribuidos en México, son similares en su composición química a los domesticados, pero difieren en el contenido de alcaloides (>1%), un factor que impide su utilización directa en la alimentación animal ya que les confiere un sabor amargo y causa cierta toxicidad (Muzquiz, 1988).

El potencial forrajero que representan los *Lupinus* domesticados y los lupinos silvestres, hace necesario determinar el efecto del proceso de ensilado sobre la composición fisicoquímica y el contenido de alcaloides totales de los ensilados del forraje y para su aprovechamiento así como el efecto de su inclusión en dietas para ovinos con la finalidad de que puedan ser utilizados en la alimentación de rumiantes.

2.17.7. Calidad del ensilado

La calidad del ensilado está determinada por el contenido de energía, proteína, minerales y el potencial del consumo. Los valores de energía en los ensilados pueden ser estimados por el contenido de FDN y FDA, además por la cantidad y la digestibilidad de la fibra.

El principal objetivo del proceso del ensilaje, es mantener la calidad del cultivo a través del almacenamiento con una mínima pérdida de materia seca, energía y nutrientes, (SDR, 2007).

El principal obstáculo para producir ensilados de alta calidad es la respiración de la planta, la actividad proteolítica, la fermentación clostridial, y la actividad microbiana aeróbica. En cultivos con concentraciones mayores del 55% de MS, la actividad clostridial se inhibe totalmente y la proteólisis está sustancialmente reducida por la baja actividad de agua. Las bacterias ácido lácticas tienen un papel menor en la obtención de ensilados de alta calidad cuando se utiliza forraje con baja humedad. Los cultivos más secos incurren en un mayor tiempo de cosecha y a pérdidas de material vegetativo, no se compactan adecuadamente en el silo, son más susceptible al calentamiento y a pérdidas de materia y nutrientes (Muck, 1988).

Para obtener ensilado de buena calidad a partir de cultivos con bajo contenido de MS, es esencial una temprana disminución del pH obtenido por la fermentación anaerobia de

los sustratos por las bacterias ácido láctica. La cantidad de sustrato requerido se incrementa con la capacidad amortiguadora y contenido de humedad en el cultivo. La disminución del pH inicia cuando hay aproximadamente 10^8 ufc de bacterias ácido lácticas por gramo en el forraje (Muck, 1989).

2.17.8. Uso de ensilados en la producción de rumiantes

Hay múltiples investigaciones con respecto a la inclusión en la dieta de los ensilados en la alimentación y nutrición animal.

Existe una tendencia en el uso del ensilado en explotaciones lecheras ya que muestran rebaños de mayor tamaño, aumenta la producción de leche por vaca en el hato, que los que no emplean ensilados (Cowan *et al.*, 1991; Kaiser y Evans, 1997).

La calidad del ensilado es importante en sistemas de producción intensiva, ya que el consumo de ensilado de baja calidad puede afectar la ingestión y no mejora la producción de leche. Este efecto se ha presentado al usar ensilado de pastos tropicales en programas de alimentación de vacas lecheras. La calidad de este tipo de ensilado tropical es relativamente baja, con digestibilidad de la materia seca de cerca de 55%, y se emplea durante la estación seca y templada, cuando la escasez de forrajes es alta. En el norte de Australia, la alternativa es pastorear avena, raygrass bajo riego o pastos tropicales que crecen lentamente en esa época, pero que son de mayor calidad. El efecto ha sido un aumento muy modesto en la producción de leche que no cubrió el coste del ensilaje (Davison *et al.*, 1984; Cowan *et al.*, 1991).

En cambio, el uso de ensilado de maíz combinado con pastoreo de trébol o alfalfa ha producido considerables aumentos en la producción de leche (Stockdale y Beavis, 1988; Cowan *et al.*, 1991). La combinación del alto contenido energético del maíz y el alto contenido en proteína de la leguminosa resultó en un efecto complementario entre ambos alimentos.

Algunos cultivos de maíz, cebada y alfalfa muestran altas tasas de conversión en producción de leche, el de soya y sorgo son intermedios, el de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) y caña de azúcar muestran valores bajos. En el norte de Australia, los sistemas de producción lechera han comenzado a usar de preferencia el ensilado de maíz, alfalfa y sorgo forrajero para suplir praderas con animales a pastoreo, lo que les permite mantener valores de producción de cerca de 25 litros/leche/vaca/día (Ashwood *et al.*, 1993; Cowan, 1997). Recientemente se ha constatado un gran interés por implementar el ensilaje de leguminosas en el trópico. Especies como *Lablab purpureus*, *Vigna unguiculata* y soya (*Glycine max*) han demostrado su compatibilidad

con prácticas de manejo agrícola sustentable lo cual incluye la labranza cero y la obtención de ensilado de digestibilidad aceptable (Ehrlich *et al.*, 1999).

El ensilado de soya tuvo rendimiento de MS de 6 t/ha, con 17% de proteína bruta y 42% de hojas y consumo de hasta 12,5 kg/día de materia seca por animal (Ehrlich y Casey, 1998).

En sistemas de alimentación tropical, los forrajes de alta concentración de proteína es apreciada, ya que muchos forrajes tienen bajos valores de proteína. Los ensilados de leguminosas además, muestran una concentración relativamente alta de minerales y por ello tienen un alto valor de capacidad amortiguadora, (L. 't Mannetje, 1999b).

2.18. Principales países productores de ovinos

De acuerdo con la FAO, a nivel internacional, el principal productor de ganado ovino es China, con producción en el 2008 de 1,977 millones de toneladas, lo que representa el 29.24% de la producción mundial. Australia es el segundo productor a nivel mundial al cerrar 2008 registró una producción de 773.19 0.64 millones de toneladas, con una participación del 7.14% a nivel mundial. Le sigue Nueva Zelanda, Irán y Reino Unido que presentan el 6.54%, 4.39% y 3.71% de producción mundial de ovinos, (<http://faostat.fao.org/>).

2.19. Regiones agroecológicas ganaderas de la República Mexicana

México cuenta con cerca de 197 millones de hectáreas, con una gran biodiversidad de sus recursos genéticos. De la extensión del territorio nacional, aproximadamente el 25% es árido, el 20% semiárido, el 23% templado, el 15% es trópico seco y el 12% trópico húmedo. La ganadería constituye el principal uso del suelo en el país, desarrollándose en una superficie de 113.8 millones de hectáreas, lo que representa el 58% del territorio nacional (INEGI, 2010).

2.20. Producción pecuaria en México

El Censo ganadero en México, señala en el año de 1993 una población ovina de 4.5 millones de cabezas y para el año 2008 el ganado ovino en pie fue de 1'919, 494 de cabezas (INEGI, 2010).

El censo nacional pecuario de 2009, indica que la producción del ganado ovino en pie fue de 106, 323 toneladas y ocupa el tercer lugar dentro de la actividad pecuaria, (SIAP,SAGARPA 2010), Figura 7.

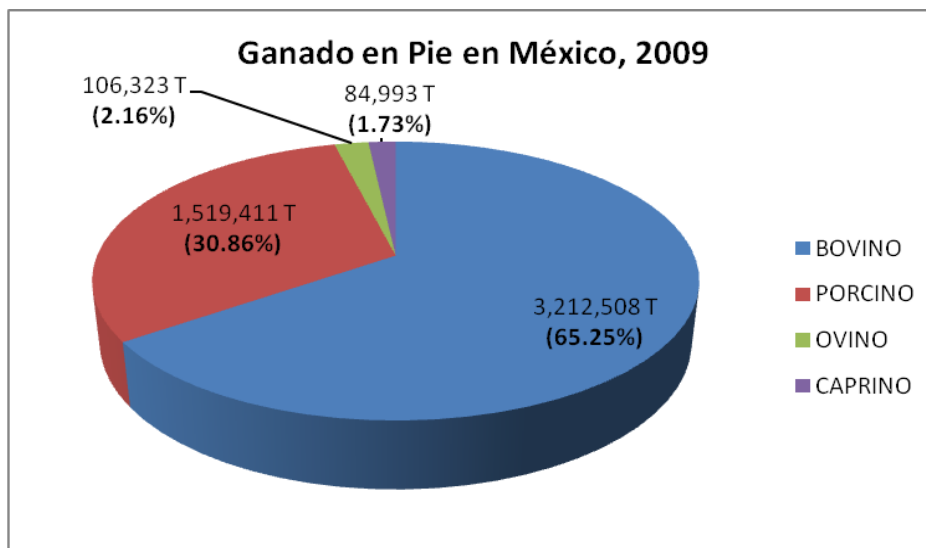


Figura 6. Producción del ganado en pie en México (toneladas).

Fuente: SIAP, SAGARPA, 2010.

La producción de carne de ovino reportada en nuestro país, en el 2009, fue de 53,740 toneladas, que representa el 0.96% de la producción pecuaria nacional (Figura 8).

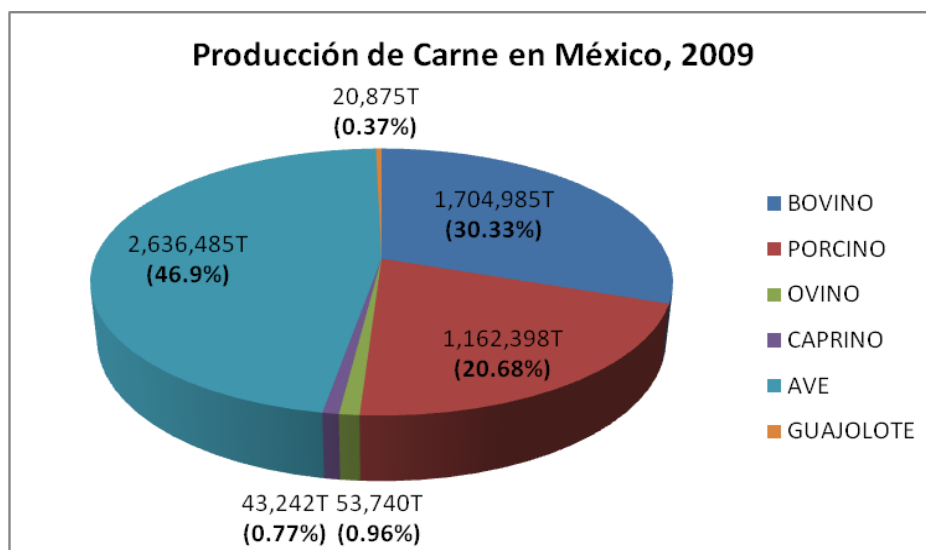


Figura 7. Producción de carne de ovino (toneladas).

Fuente: SIAP, SAGARPA, 2010.

La producción ovina por estados, sitúa al Estado de México, Hidalgo, Veracruz, Puebla y Jalisco como los primeros productores de ovinos en el país (Figura 9).

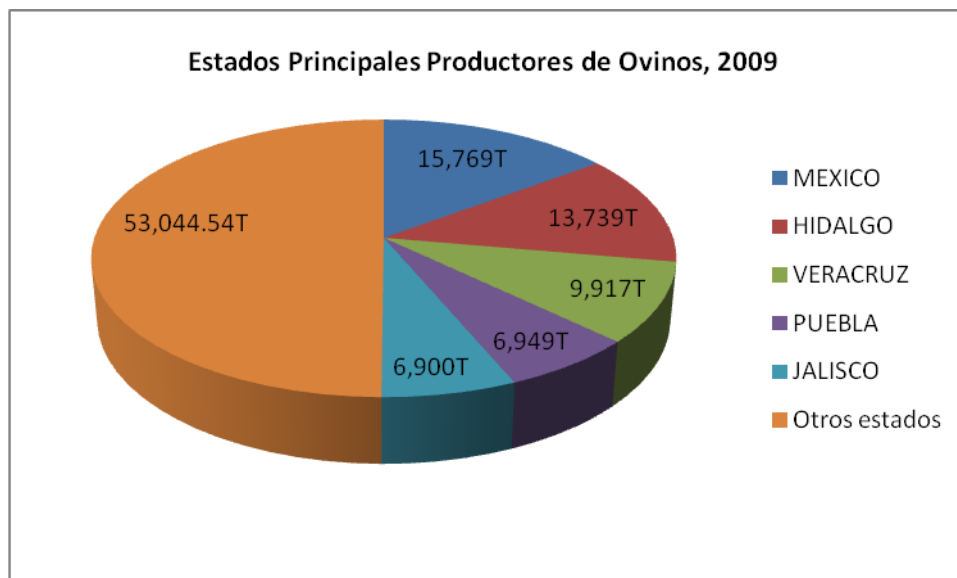


Figura 8. Estados Productores de ganado ovino en México (toneladas).

Fuente: SIAP, SAGARPA, 2010.

Estos 5 estados en conjunto aportaron el 50.11% de la producción nacional durante 2009, por lo que el 49.89% restante se encuentra distribuido en 27 estados. El estado de Jalisco, en el mismo año, produjo 6,900 toneladas de ganado ovino en pie, que representa el 6.5% de la producción nacional, desplazando al sexto lugar al estado de Zacatecas (SIAP, SAGARPA, 2010).

2.21. Producción ovina

La explotación de ovinos se caracteriza por poseer algunas ventajas comparativas con otros rubros:

- Fácil explotación extensiva
- Adaptable y optimización en el uso de recursos forrajeros
- Bastante instintiva (búsqueda de alimento y abrigo)
- Buena aptitud materna
- Produce lana acorde al requerimiento de manutención
- Entrega anual de algún producto terminado (carne, lana)
- Gran diversidad de razas, lo que permite adaptarse a diferentes condiciones

Desventajas de la producción ovina

- Alta estacionalidad de la producción para algunas razas.
- Susceptibilidad al abigeato

(Camiruaga *et al.* 2010).

III PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La creciente demanda de proteínas de origen vegetal de buena calidad en la nutrición humana y animal, ha incrementado el interés por las leguminosas. La alimentación de los animales domésticos se basa en la combinación sorgo:soya o maíz:soya, esto ocasiona que en México se importe una alta cantidad de soya.

Los lupinos por sus características nutritivas se consideran una fuente adecuada de nutrimentos por lo que las especies bajas en alcaloides se utilizan ampliamente en Europa, Sudamérica y Australia.

En México se han reportado aproximadamente 111 especies de *Lupinus*, las cuales crecen de manera silvestre a lo largo de las cadenas montañosas con mayor diversidad en el eje neovolcánico, sin embargo su utilización en la nutrición humana o animal se limita por el nivel de alcaloides que contienen, y que les confiere sabor amargo y resultan tóxicos.

Lo anterior hace necesario el estudio nutricional de los lupinos silvestres y la utilización de tecnologías aplicadas en el forraje (ensilajes) y estrategias de alimentación, que permitan aprovecharlos como un ingrediente en la dieta de rumiantes, especialmente en ovinos.

IV. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el forraje de lupinos silvestres con un 15 a 17% de proteína no ha sido utilizado como un ingrediente en la alimentación debido a la presencia de alcaloides del tipo quinolizidinico que causan toxicidad o teratogenicidad en animales. No obstante es factible preservar los elementos nutricionales y disminuir el contenido de alcaloides en este material vegetal mediante el proceso de ensilaje y así aprovechar el forraje de algunas de las 12 especies de lupinos del estado de Jalisco en la alimentación de rumiantes.

V. HIPÓTESIS

El forraje de *Lupinus rotundiflorus* puede ser conservado mediante ensilaje y aprovechado como ingrediente en las raciones alimenticias de ovinos.

VI. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

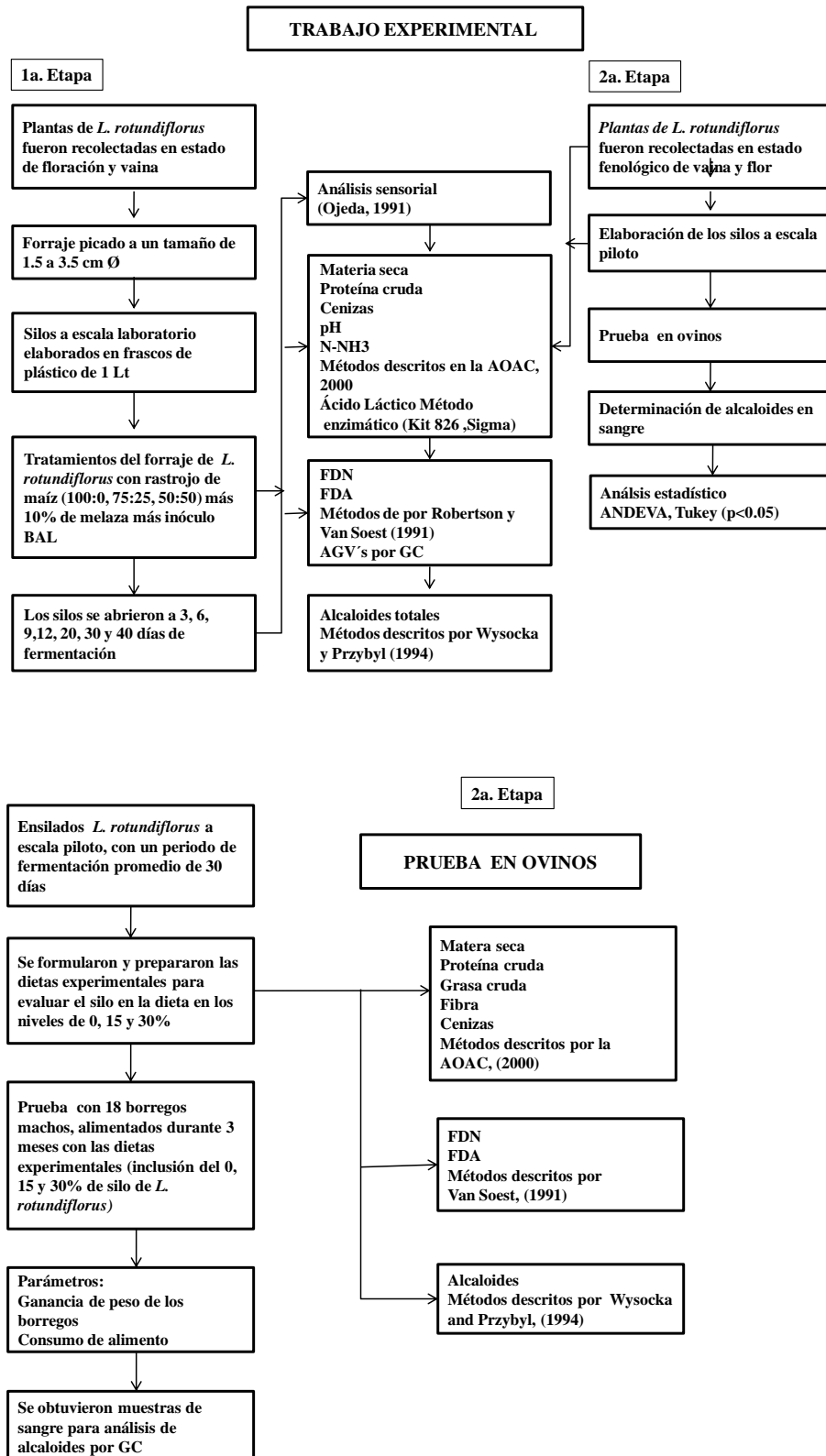
Determinar la eficiencia del método de ensilaje en la conservación del forraje de *Lupinus rotundiflorus*, así como evaluar las características nutricionales y el aprovechamiento del material ensilado como ingrediente en dietas para ovinos.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Obtener microsilos con forraje de *Lupinus rotundiflorus* solo o combinado con rastrojo de maíz en tres proporciones (100:0, 75:25 y 50:50).
2. Evaluar los ensilados preparados con el forraje de *Lupinus rotundiflorus* mediante características sensoriales.
3. Caracterizar químicamente el forraje y el material ensilado de *Lupinus rotundiflorus* a 0, 3, 6, 9, 12, 20, 30 y 40 días de fermentación mediante el análisis químico proximal y fracciones de fibra.
4. Cuantificar los ácidos grasos volátiles por cromatografía de gases en los microsilos.
5. Determinar los alcaloides totales en el forraje y del material ensilado.
6. Conocer el valor nutritivo del ensilado de lupinos en borregos alimentados con raciones que lo incluyen a 0, 15 y 30%.
7. Determinar los niveles de alcaloides en la sangre de borregos alimentados con ensilado al final del periodo experimental.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

Las fases experimentales así como el tipo de análisis empleados en la realización de este estudio se muestran en el siguiente diagrama de flujo.



7.1. Ubicación del experimento

Los análisis de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Biotecnología del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, y la prueba de comportamiento en borregos en las instalaciones de un rancho particular localizado a 3 km del Centro Universitario, ambos ubicados en el municipio de Zapopan, Jalisco, México. La precipitación y temperatura media anual informada para la zona es de 906 mm y 23°C, respectivamente (Estación Meteorológica 15va. Zona Militar, Zapopan, Jalisco. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Jalisco 2005).

7.2. Material vegetal

Se colectaron plantas de *L. rotundiflorus* que crecen de manera silvestre en el municipio de Atemajac de Brizuelas, Jalisco. Para esta actividad, utilizando tijeras de uso en la jardinería se cortaron plantas completas en estado de floración y formación de vainas (las plantas se cortaron cerca de la base del tallo principal, 5 cm sobre la superficie del suelo). La colecta de material vegetal se realizó en dos periodos (marzo de 2007 y marzo de 2008), después de cortar las plantas el material fue transportado al laboratorio de biotecnología del Departamento de Botánica y Zoología (Zapopan, Jalisco). En el primer año el material se utilizó para determinar la eficiencia de la conservación del forraje de *L. rotundiflorus* en mezcla con rastrojo de maíz mediante la técnica de ensilaje (microsilos), mientras que con el material del segundo año se obtuvo un ensilado el cual se utilizó como ingrediente en dietas para alimentar borregos.

7.3. Preparación de microsilos

16 horas después de haber cortado las plantas estas se picaron manualmente en trozos de 1.5 a 3.0 cm mediante el uso de machetes. Antes de preparar las mezclas por ensilar se tomó una muestra de forraje de *L. rotundiflorus* así como una muestra de rastrojo de maíz y se determinó su composición química mediante las técnicas descritas por la AOAC (2000). Posteriormente material vegetal picado y con un contenido de humedad mayor al 75% se mezcló por separado con rastrojo de maíz (RM) en diferentes proporciones 75:25 y 50:50 (peso/peso) con el propósito de reducir el contenido de humedad y aumentar el contenido de materia seca en la mezcla, así mismo se incluyó un tratamiento con puro follaje de lupino 100:0. Posteriormente para incrementar el contenido de carbohidratos solubles en todos los tratamientos se agregó melaza a razón de 10%, además se inocularon bacterias ácido lácticas de *Lactobacillus plantarum* y *Pediococcus pentosaceus* a una concentración de 10^6 ufc (unidades formadoras de

colonias) g⁻¹ de materia fresca. Después de mezclar el forraje de lupino con rastrojo de maíz, melaza y bacterias ácido lácticas se procedió al ensilado del material. Este proceso se llevó a cabo en frascos pet de plástico de boca ancha con capacidad de 1.0 litro (microsilos), los cuales se adaptaron colocándoles una válvula bunsen en la tapa a manera de trampa de escape para los gases producidos por la fermentación. Se llenaron los microsilos manualmente con el material a ensilar perfectamente compactado, se cerraron y se almacenaron dentro del laboratorio a temperatura ambiente (temperatura media 20 °C) y se abrieron gradualmente a los 3, 6, 9, 12, 20, 30 y 40 días de fermentación.

7.4. Tratamientos y diseño experimental

Los microsilos se distribuyeron bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de 3×8. Se evaluaron 24 tratamientos, por la combinación de tres proporciones de forraje fresco de lupinos:RM (100:0, 75:25 y 50:50, peso/peso) y ocho tiempos de apertura de los silos (0, 3, 6, 9, 12, 20, 30 y 40 días). Por cada tratamiento se elaboraron tres repeticiones, resultando un total de 72 microsilos. Antes de iniciar el proceso de ensilaje en los microsilos se tomó una muestra por triplicado de cada una de las mezclas lupinos:RM para su análisis. En los tiempos correspondientes de apertura del material ensilado se extrajeron muestras para el análisis de humedad y pH. El remanente del material ensilado fue almacenado a -20 °C hasta el análisis de las demás variables.

7.5. Variables en estudio

De acuerdo a la calificación de indicadores sensoriales en ensilados propuesta por Ojeda (1984) se registró el olor, color, consistencia y presencia de hongos en los ensilados obtenidos.

En el material ensilado se determinó el contenido de materia seca (MS) por método gravimétrico utilizando estufa a 60 °C durante 48 h, proteína cruda (PC) mediante método Kjeldahl (%NT x 6.25) y cenizas, mediante las técnicas descritas por la AOAC (2000). El contenido de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) se determinó mediante el método de Van Soest *et al.* (1991).

Extractos acuosos; se prepararon, pesando 10 g del ensilado más 100 ml de agua destilada, se homogenizó durante 1 minuto en licuadora y posteriormente se filtró. Los extractos acuosos fueron analizados para obtener las variables fermentativas del material ensilado; el pH se determinó utilizando un potenciómetro Orion modelo 420A (electrodo de vidrio) y el nitrógeno amoniacal (en relación al N total) (AOAC, 2000). El

ácido láctico se determinó de acuerdo al método enzimático (kit 826-UV; Sigma Chemical Co.). L-Láctico, Sigma L-2250) y ácido D-Láctico (Sigma, L-1000) fueron usados como estándares. La suma del ácido fue reportada como la concentración total de ácido láctico. Para analizar los ácidos grasos volátiles (AGV's); ácido acético, ácido propiónico y ácido butírico, mediante el método de cromatografía de gases utilizando un cromatógrafo (Varian CP-3800) con columna capilar Alltich Econo-cap EC-1000 EFAP (30 m de longitud), como estándar interno de adición de ácido pivalico a una concentración de 0.6 mM. Los alcaloides totales en los ensilados se cuantificaron por método gravimétrico según Wysocka *et al.* (1989) y Wysocka y Przybyl, (1994).

7.6. Elaboración de ensilados a nivel piloto

El forraje de lupino fue picado, posteriormente se mezcló con rastrojo de maíz (RM), en las proporciones de 75:25 (peso/peso), ya que a este nivel se obtuvo mejores parámetros fermentativos en microsilos. Las bacterias ácido lácticas se diluyeron en agua destilada de acuerdo a la concentración recomendada por el fabricante, posteriormente la suspensión de bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus plantarum* y *Pediococcus pentosaceus*) a una concentración de 10^6 ufc g^{-1} de la materia fresca, se mezcló con la cantidad de melaza necesaria para alcanzar una concentración del 9% del ensilado, (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición del ensilado de *L. rotundiflorus* a nivel piloto.

Ingredientes ¹	proporciones	%
Forraje <i>Lupinus</i>		
<i>rotundiflorus</i>	75	44.91
Rastrojo de maíz	25	55.09
Melaza	10	0
Inoculo BAL	1.8×10^6 /ufc	1.8×10^6 /ufc ²
Total	110 (base fresco)	100 (base seca)

¹Los valores son expresados en base a materia húmeda.

²ufc= unidades formadoras de colonias.

El forraje de lupino con el RM y melaza se mezclaron a pala y enseguida se procedió a ensilar el material en tambos metálicos con capacidad de 200 litros (silos a nivel piloto), previamente en el interior el recipiente contenía una bolsa de plástico resistente de la misma capacidad con la finalidad de evitar la corrosión. Al llenar los silos con la mezcla a ensilar, se fue compactando por capas de 30 cm de espesor hasta su llenado,

posteriormente el silo se cerró herméticamente. Los silos se almacenaron a temperatura ambiente durante 30 días.

Un día después de la apertura del silo (día 31) se tomaron 3 muestras del ensilado a nivel piloto y se registró las características organolépticas (color, olor, texturas, crecimiento de hongos) según Ojeda *et al.*, 1984. Posteriormente se determinó la composición química de ensilado; materia seca (MS), proteína cruda (PC), cenizas y pH, FDN y FDA.

7.7. Desempeño productivo en ovinos

7.7.1 Elaboración de dietas

La dieta control se formuló según requerimientos de los corderos en desarrollo recomendada por la National Research Council, NRC 2007. Las dietas experimentales 15 y 30%, se formularon de tal forma que la dieta base mezclada con el ensilado en una proporción del 15 ó 30% (al momento de servir el alimento) fuera similar a la dieta de referencia reportada por la NRC, 2007.

La composición de las dietas control y experimentales se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Composición de las dietas en los diferentes niveles de inclusión del ensilaje de *Lupinus rotundiflorus* (%).

Ingredientes	Testigo	Ensilaje de <i>L. rotundiflorus</i>	
	0	15	30
Sorgo entero	40	31.41	26.29
Cascarilla de soya	40	36.48	28.57
Pasta de soya	14	20.11	25.14
Melaza de caña	5	5.89	7.14
Minerales traza	1	1.18	1.43
Grasa de sobrepaso ^a	0	4.93	11.43
Proteína cruda %	15.93	15.91	15.91
EM (Mcal/ kg)	2.78	2.69	2.51

^aGrasa de sobrepaso; Oleofinos®

7.7.2. Evaluación productiva de dietas

Dieciocho corderos machos cruzados de Pelibuey, fueron obtenidos de una granja comercial, donde se vacunaron y desparasitaron. Los corderos se sometieron a una etapa de adaptación a instalaciones y a dietas, la cual se realizó en forma paulatina, de acuerdo al nivel de inclusión del ensilado a la ración, durante 2 semanas. El alojamiento de los borregos fue en forma individual. La dimensión de cada corraleta fue de 1.5 x 2 m², con piso de concreto y techada, las barreras de separación de las corraletas fueron de

madera. Cada corraleta tenía su comedero y bebedero de plástico duro. El alimento y agua fresca se les proporcionó (*ad libitum*) diariamente a las 9:00 am.

Los animales se bloquearon al azar por peso. El peso corporal de los borregos al inicio de la fase experimental fue de 26.32 ± 5.26 , 25.42 ± 3.57 y 25.22 ± 4.42 kg, animales ubicados en los grupos experimentales testigo (0%), 15 y 30% (inclusión del ensilaje de *L. rotundiflorus* en la dieta integral) respectivamente.

Los borregos fueron pesados al inicio del experimento y cada 7 días hasta la 6ª semana. Durante la fase experimental se registró el consumo voluntario obtenido por el cálculo del alimento servido menos el rechazo del alimento diario.

Las variables en estudio fueron; peso inicial, peso final (kg), ganancia diaria de peso (g), consumo diario total (g) e índice de conversión alimenticia.

7.8. Alcaloides totales

Al término del experimento (conducta productiva por efecto de la alimentación), se tomaron muestras de sangre a los borregos por punción de la vena yugular para cuantificar los alcaloides totales. Las muestras de sangre se dejaron coagular, enseguida por centrifugación, se separó cada suero sanguíneo y se colocaron en un tubo limpio, posteriormente se almacenaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis. La detección y cuantificación de los alcaloides totales se realizó por cromatografía de gases (GC) bajo las condiciones descritas por Gardner y Panter (1994).

7.9. Análisis estadístico

7.9.1 Microsilos

En ambos experimentos las variables en estudio se sometieron a un análisis de varianza (ANDEVA) mediante el programa estadístico SPSS, seguido de una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

7.9.2 Prueba de desempeño productivo

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para las variables estudiadas; peso inicial, peso final (kg), ganancia diaria de peso (g), consumo diario total (g) e índice de conversión alimenticia, mediante el programa estadístico SPSS, seguido de una comparación de medias promedios aplicando la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Análisis sensorial de ensilados

En general todos los ensilados presentaron características favorables en cuanto a color (verde oliva-levemente amarillento), olor (agradable, aromático dulzón) y textura (firme), con dureza que depende en gran parte del contenido de humedad de los ensilados. Estas características permiten inferir que, la elaboración de los ensilados (llenado, compactación y sellado) fue apropiado y durante el almacenamiento hubo una adecuada fermentación. Por las características observadas en todos los casos, los ensilados fueron clasificados como de buena calidad según la escala de Ojeda *et al.* (1991). Por otra parte, Tobía *et al.* (2003), consideran que la valoración de ensilados mediante características sensoriales en campo, es una manera rápida, económica y sencilla, pero sin perder de vista que es una herramienta subjetiva. Sin embargo es importante considerarla, ya que en gran parte se puede relacionar con el proceso fermentativo y la aceptación o rechazo de los ensilados en el consumo voluntario del ganado. En el mismo trabajo, Tobía *et al.* (2003), elaboraron ensilados con plantas de soya cosechadas en estado R6 (vaina, semillas llenas), con adición de 0, 4 y 8% de melaza e inóculo de bacterias ácido lácticas. En los tratamientos donde se incluyó melaza, las características sensoriales fueron mejores a los ensilados sin melaza, ya que estos últimos presentaron olor putrefacto en todo el material.

8.2. Composición química

8.2.1. Forraje de *Lupinus rotundiflorus* y rastrojo de maíz

El análisis químico proximal y las fracciones de fibra (FDN y FDA) del forraje de *L. rotundiflorus* y del rastrojo de maíz (como ingredientes) utilizados en la elaboración de ensilados se presentan en el Cuadro 4. La composición del rastrojo de maíz fue similar a los reportados en las tablas de la NRC. Los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio del forraje de *L. rotundiflorus* se contrastaron con los valores reportados para *L. exaltatus*, Ruíz *et al.* (2006); *L. albus*, Fraser *et al.* (2005a) y *L. angustifolius*, Fraser *et al.* (2005b).

Cuadro 4. Composición química proximal y fracciones de fibra de la planta de *Lupinus rotundiflorus* y el rastrojo de maíz. (% en BS^a, excepto la materia seca expresado en % en BF^b)^c.

Análisis proximal	<i>Lupinus rotundiflorus</i>	Rastrojo de Maíz
Materia seca	25.12 ± 2.05	90.21 ± 1.4
Proteína cruda	17.38 ± 1.53	4.05 ± 0.03
Extracto etéreo	1.35 ± 0.02	1.53 ± 0.12
Cenizas	10.8 ± 0.80	6.87 ± 0.49
Fibra detergente neutro	51.50 ± 1.34	89.01 ± 1.35
Fibra detergente ácido	37.67 ± 0.21	57.26 ± 0.56

^aBS: base seca. ^bBF: base fresca. ^c Los valores, están expresados como medias ± desviación estándar (n=3).

La planta completa de *L. rotundiflorus* presentó un contenido de materia seca (MS) de 25.1% menor a la MS reportada en la planta completa de *L. exaltatus* (74.9%), pero mayor a la encontrada en las plantas de *L. albus* de las variedades Arthur y Nelly (18.2-23.1%) y en las plantas de las variedades Borweta y Bordako de *L. angustifolius* (18.2-23.1%). El nivel del extracto etéreo en la planta de *L. rotundiflorus* (1.35%) fue menor al del forraje de *L. angustifolius* (1.7%). La proteína cruda de *L. rotundiflorus* fue de 17.4% y en las dos variedades *L. angustifolius* de 18.3 a 20.5%, éste valor es inferior a los obtenidos en la planta completa de *L. exaltatus* (23.5%) y se encuentra dentro del rango reportado en las dos variedades del forraje de *L. albus* evaluada a diferentes fechas de corte (16.6-21.1%). El contenido de las cenizas en *L. rotundiflorus* resultó de 10.78%, valor mayor al reportado en la planta de *L. exaltatus* (7.8%) y en el forraje de *L. angustifolius* (6.4-6.8%). La FDN en la planta de *L. rotundiflorus* resultó de 51.5%, contenido menor al reportado para planta de *L. exaltatus* (68.2%) pero dentro del rango del *L. albus* (47.3-55.9%). Por otra parte la concentración de FDA observada en *L. rotundiflorus* y *L. exaltatus* fue de 37.7 y 42.2%, respectivamente (Ruíz *et al.* 2006; Fraser *et al.* 2005a, Fraser *et al.* 2005b). Las diferencias observadas en la composición química del *L. rotundiflorus* con otros lupinos, posiblemente se debe a la variación entre especie y al estado fenológico de la planta al momento de la cosecha (*L. rotundiflorus* en etapa de inicio de la floración y en *L. exaltatus* en estado de vaina madura).

8.2.2. Propiedades químicas de los ensilados

Las características químicas del forraje de *L. rotundiflorus* solo o en combinación con rastrojo de maíz al momento de ensilar y a diferentes tiempos de fermentación se desarrollan por cada componente.

8.2.2.1 Materia seca

La materia seca (MS) obtenida con la inclusión del rastrojo de maíz durante el periodo fermentativo en los ensilados de *L. rotundiflorus* se muestra en el Cuadro 5 y Figura 9, las ecuaciones de regresión aparecen en el Cuadro 6. Se observó un aumento significativo en el contenido de MS en los ensilados conforme se incrementó el nivel del rastrojo de maíz en el forraje de lupino ($P < 0.05$).

En el tratamiento 100:0 (lupino:rastrojo de maíz) los valores de MS fluctuaron entre 23.82% (12 días de fermentación) y 26.97% (30 días de fermentación) con un promedio de 25.09%. En la relación 75:25 se encontraron entre 30.19% (9 días de fermentación) y 33.54% (20 días de fermentación) con promedio de 31.64%, y en la relación 50:50 de 50.71% (20 días de fermentación) a 53.65% (3 días de fermentación) con promedio de 52.35% (valor máximo de la MS en los ensilados), se observó un aumento significativo ($P < 0.05$) en el contenido de MS conforme se incrementó la proporción de RM en las mezclas (75:25 y 50:50 peso/peso).

Los incrementos en cuanto a la proporción lupino:RM, se vio relacionado directamente con el contenido de MS en el RM (90.2%). Al considerar solo el inicio y la etapa final de fermentación en todos los niveles de inclusión del RM, en los ensilados no se observaron cambios de la MS ($P < 0.05$). Los microsilos en las proporciones 75:25 y 50:50 al final del experimento y en la relación 100:0 a los 30 días de fermentación, no manifestaron pérdidas de la MS, lo que sugiere una estabilidad y conservación adecuada de los nutrimentos en los ensilados.

Estudios realizados por Fraser *et al.* (2005a) en ensilados elaborados con el forraje de *L. albus* de las variedades Arthur y Nelly, y por Doležal *et al.* (2008) en ensilados de *L. luteus* (fermentados a 90-97 días), reportaron niveles de MS menores (16.6 y 21.5%) y (18.8%) que los encontrados en este trabajo en ensilados de *L. rotundiflorus*, (24.8%) en la proporción 100:0 (solo forraje de lupino), sin embargo Fraser *et al.* (2005b) en ensilados de *L. angustifolius* encontraron niveles de MS más próximos (20.5 -26.7%).

Herrera *et al.* (2010), consideran que la variabilidad en el contenido de la MS entre las especies de lupino y otras leguminosas se relaciona con su etapa fenológica ya que esta incide en el patrón de crecimiento y desarrollo de la planta. También resulta importante la etapa de madurez a la que el forraje fue ensilado (a mayor madurez, aumenta el contenido de la MS en la planta). El rango óptimo recomendado de MS del material vegetal para ensilar se encuentra del 30 al 45% (Mc Donald *et al.* 1991), por lo cual, los ensilados en los niveles de 100:0 y 75:50 se consideran de buena calidad, no obstante,

los ensilados en el tratamiento 50:50, aún de tener mayor contenido de MS a lo recomendado, presentaron buena fermentación y características sensoriales apropiadas.

Cuadro 5. Materia seca en ensilados de *L. rotundiflorus*. Efecto por el nivel de inclusión del rastrojo de maíz y los días de fermentación, (valores en % MF).

Días de Fermentación	Relación L:RM			Medía	EEM
	100:0	75:25	50:50		
0	26.15 ^{de}	31.69 ^{ab}	52.99 ^{ab}	36.94	4.10
3	25.83 ^{cde}	31.91 ^{ab}	53.65 ^b	37.13	2.90
6	24.50 ^{ab}	32.38 ^{ab}	53.33 ^b	36.76	2.95
9	24.12 ^{ab}	30.19 ^a	52.31 ^{ab}	35.54	2.95
12	23.82 ^a	30.82 ^a	51.40 ^{ab}	37.65	3.09
20	25.22 ^{bcd}	33.54 ^b	50.72 ^a	38.75	2.76
30	26.97 ^c	31.42 ^{ab}	52.49 ^{ab}	38.96	3.00
40	24.78 ^{abc}	31.21 ^a	52.10 ^{ab}	34.82	3.14
Media	25.09 ^a	31.64 ^b	52.35 ^c	37.09	4.10
EEM	0.19	0.22	0.23	1.06	2.90

Medias con distinta literal en una columna o hilera indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

Cuadro 6. Ecuación de regresión de la Materia seca (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a una $P < 0.05$.

Relación Lupino: rastrojo de maíz	Ecuación de regresión
100:00	$y = -0.001x^3 + 0.037x^2 - 0.571x + 26.759$; $R^2 = 0.714$
75:25	$y = -0.00022x^3 + 0.0118x^2 - 0.149x + 31.980$; $R^2 = 0.067$
50:50	$y = 0.005x^2 - 0.217x + 53.858$; $R^2 = 0.261$
Días fermentación Total	$Y = -10.522x^2 + 16.72x - 6.34$

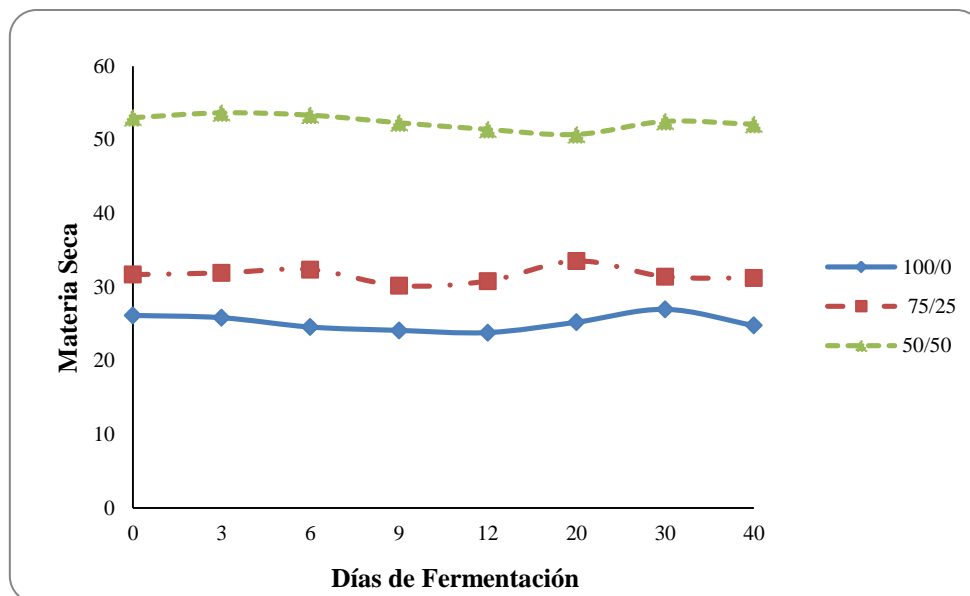


Figura 9. Evolución de la Materia seca (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a través del periodo experimental.

8.2.2.2 Proteína cruda

El contenido de la proteína cruda (PC) en los ensilados de *L. rotundiflorus* y rastrojo de maíz en diferentes proporciones y días de fermentación se muestra en el Cuadro 7 y en la Figura 10, las ecuaciones de regresión aparecen en el Cuadro 8. Se registró una disminución significativa de la PC conforme se incrementó la proporción del rastrojo de maíz en el material ensilado ($P < 0.05$). En los ensilajes de las relaciones 100:0 y 75:25 lupino:rastrojo de maíz se presentaron cambios en la PC durante el periodo de fermentación, en tanto en los ensilados en la relación 50:50 la PC se mantuvo constante ($P < 0.05$).

En los ensilados en la relación 100:0 (lupino:rastrojo de maíz) el valor inicial de PC fue de 14.09% y final de 13.77% con rango entre 13.64% y 14.68%, en los ensilados 75:25, el valor inicial fue de 10.94% y final de 11.70% con rango entre 10.94% y 11.69%, y en la relación 50:50 el valor inicial la PC de fue de 7.05% y final de 7.31% con fluctuación entre 7.05% y 7.38%.

El mayor porcentaje de PC en los ensilados se encontró en la proporción 100:0 a 12 días de fermentación con un valor de 14.68%, este valor es inferior a la PC reportada en los ensilados elaborados solo con forraje de otras especies de lupinos y la soya; *L. albus* (16.6-21.5%), *L. angustifolius* (19.3-20.6%), *L. luteus* (18.78%), y *L. exaltatus* (16.2%) y *Glycine max* (18.6%), los cuales han sido reportados por Fraser *et al.* (2005a y 2005b), Doležal *et al.* (2008), Herrera *et al.* (2010) y Tobía *et al.* (2008)

respectivamente, no obstante fue similar a los ensilados elaborados con leguminosas arbóreas en combinación con forraje de maíz (13.12-14.8%) estudiados por Phiri *et al.* (2007a), los cuales resultan superiores a los ensilados de *L. rotundiflorus* en la proporción de 75:25 y 50:50. Las variaciones observadas en el contenido de proteína en mezclas de gramíneas leguminosas ensiladas en diferentes proporciones, se deben principalmente al contenido inicial de proteínas en el material vegetativo.

En los ensilados de leguminosas, la variabilidad de los resultados de la PC puede ser resultante de la especie y variedad de leguminosa, el estado fenológico a la cual se cosecho la planta, la localización geográfica, el clima, y tipo de suelo, además de la cantidad de ingredientes o aditivos utilizados en la preparación de las mezclas.

El incremento en el porcentaje de inclusión de RM al forraje de lupino hasta un 50% disminuyó de forma significativa el contenido de proteínas en los ensilados debido al efecto de dilución. Sin embargo, la inclusión, en proporción menor al 25%, del RM al forraje de *Lupinus rotundiflorus*, además de resultar en un ensilado con adecuados contenidos de MS, permite una buena compactación del material a ensilar y una reducción en pérdidas por fermentación, oxidación y efluentes. Además, un contenido de humedad adecuado disminuye la respiración de los tejidos vegetales, pérdida de azúcar e hidrólisis de proteínas en un ensilado mixto RM-leguminosas (Van Soest, 1994), tal y como se observó en este estudio.

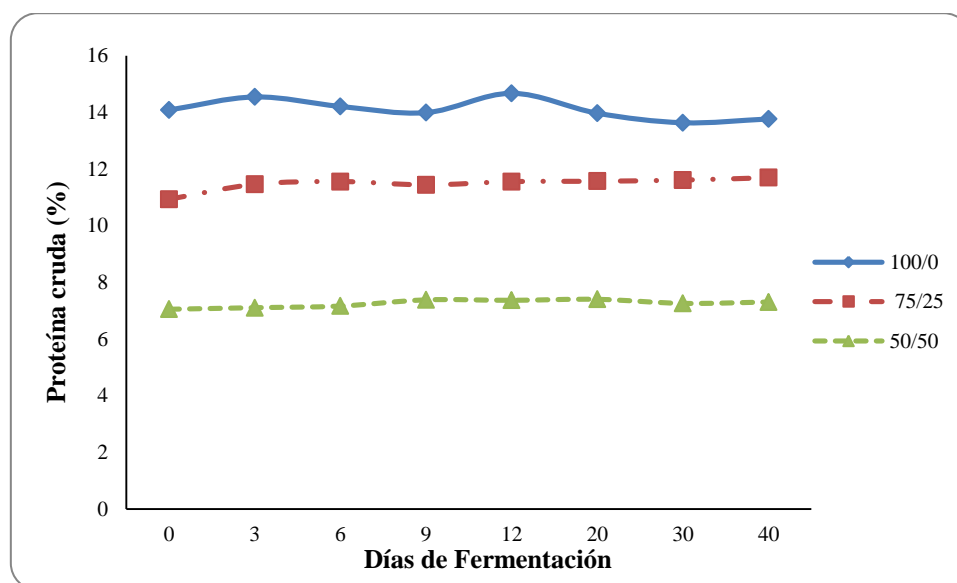
Cuadro 7. Proteína cruda en ensilados de *L. rotundiflorus*. Efecto por el nivel de inclusión del rastrojo de maíz y los días de fermentación, (valores en % MS).

Días de Fermentación	Relación L:RM			Media	EEM
	100:0	75:25	50:50		
0	14.09 ^{ab}	10.94 ^a	7.05 ^a	10.69	1.02
3	14.55 ^{cd}	11.46 ^b	7.11 ^a	11.04	0.74
6	14.21 ^{bc}	11.56 ^b	7.17 ^a	10.98	0.71
9	13.99 ^{ab}	11.44 ^b	7.38 ^a	10.94	0.66
12	14.68 ^d	11.56 ^b	7.37 ^a	10.51	0.75
20	13.97 ^{ab}	11.57 ^b	7.40 ^a	10.38	0.69
30	13.64 ^a	11.61 ^b	7.26 ^a	10.28	0.69
40	13.77 ^{ab}	11.70 ^b	7.31 ^a	11.12	0.71
Media	14.15 ^c	11.52 ^b	7.27 ^a	10.75	
EEM	0.06	0.04	0.03	0.25	

Medias con distinta literal en una columna o hilera indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

Cuadro 8. Ecuación de regresión de la Proteína cruda (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a una $P < 0.05$.

Relación Lupino: rastrojo de maíz	Ecuación de regresión
100:00	$y = -0.018x + 14.370$; $R^2 = 0.336$
75:25	$y = -0.000047x^3 + 0.003x^2 - 0.069x + 11.152$; $R^2 = 0.309$
50:50	$y = -0.000035x^3 + 0.0027x^2 - 0.060x + 6.977$; $R^2 = 0.310$

Figura 10. Evolución de la Proteína cruda (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a través del periodo experimental.

8.2.2.3 Extracto etéreo

El comportamiento del extracto etéreo (EE) en los ensilados de *L. rotundiflorus* durante el periodo fermentativo se muestra en el Cuadro 9 y la Figura 11, las ecuaciones de regresión se encuentran en el Cuadro 10. El contenido del EE disminuyó conforme se adicionó el RM al forraje de lupinos ($P < 0.05$). Considerando cada nivel de inclusión del rastrojo de maíz al forraje de lupino (100:0, 75:25 y 50:50) el EE cambió a través del periodo de fermentación ($P < 0.05$).

Se observó que para los ensilados con la relación 100:0 (lupino:rastrojo de maíz) el nivel de EE inicial fue de 1.55% y final de 1.05%, los valores de EE fluctuaron entre 1.04% y 1.55%, en la relación 75:25 el nivel de EE inicial fue de 1.30% y final de 1.09% con fluctuación entre 0.88% y 1.39%, en tanto, en los ensilados 50:50 el nivel inicial fue de 1.19% y final de 1.31% con fluctuación de 0.92% a 1.44%.

Valores de EE superiores se han reportado en algunos ensilados con distintas especies de lupino y otras leguminosas. Doležal *et al.* (2008) en ensilajes preparados con *L. luteus* a 90 días de fermentación (2.03%), WingChing y Rojas (2006) en ensilados de maíz forrajero a 45 días de fermentación (1.79- 1.50%) y por Tobía (2008) en ensilados con forraje de soya (6.0%).

Los valores de EE inferiores encontrados en este estudio en relación con otras leguminosas es factible que se deba a la diferencia del género, especie y estado fenológico de la planta así como el efecto de dilución de algunos nutrientes del material ensilado con la melaza utilizada en la elaboración de los ensilados.

Cuadro 9. Extracto etéreo en ensilados de *L. rotundiflorus*. Efecto por el nivel de inclusión del rastrojo de maíz y los días de fermentación, (valores en % MS).

Días de Fermentación	Relación L:RM			Media	EEM
	100:0	75:25	50:50		
0	1.55 ^b	1.30 ^b	1.19 ^{ab}	1.35 ^{bc}	0.08
3	1.43 ^b	1.31 ^b	0.84 ^a	1.12 ^{ab}	0.10
6	1.51 ^b	1.39 ^b	1.45 ^b	1.44 ^c	0.04
9	1.45 ^b	1.16 ^{ab}	1.35 ^b	1.34 ^{bc}	0.08
12	1.08 ^a	0.88 ^a	0.95 ^a	0.92 ^a	0.04
20	1.05 ^a	1.03 ^{ab}	0.86 ^a	0.96 ^a	0.03
30	1.06 ^a	1.20 ^{ab}	1.14 ^{ab}	1.15 ^{ab}	0.05
40	1.05 ^a	1.09 ^{ab}	1.31 ^{ab}	1.14 ^{ab}	0.06
Media	1.33 ^c	1.19 ^b	1.07 ^a	1.18	
EEM	0.04	0.03	0.06	0.03	

Medias con distinta literal en una columna o hilera indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

Cuadro 10. Ecuación de regresión del Extracto etéreo (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a una $P < 0.05$.

Relación Lupino: rastrojo de maíz	Ecuación de regresión
100:00	$y = 0.00048x^2 - 0.033x + 1.597; R^2 = 0.692$
75:25	$y = -0.00003x^3 + 0.0024x^2 - 0.056x + 1.473; R^2 = 0.223$
50:50	$y = 0.00005x^3 - 0.0027x^2 + 0.0381x + 0.926; R^2 = 0.071$

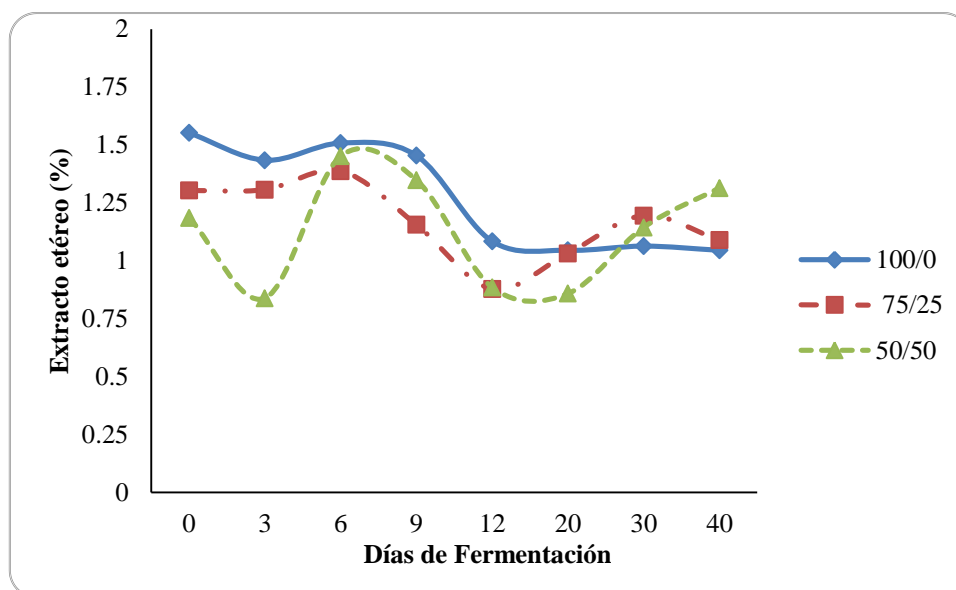


Figura 11. Evolución del Extracto etéreo (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a través del periodo experimental.

8.2.2.4 Cenizas

La melaza adicionada a los ensilados proporciona carbohidratos solubles necesarios para una buena fermentación láctica, en particular a las leguminosas ya que en general presentan bajos contenidos de carbohidratos solubles (Bolsen *et al.* 2001), en adición, la melaza constituye una fuente rica de minerales ya que al incluirse como aditivo en la elaboración de los ensilados puede incrementar el contenido de cenizas en estos.

El contenido de cenizas de los ensilados de *L. rotundiflorus* a niveles de 100:0, 75:25 y 50:50 (relación lupino:rastrojo de maíz) a tiempo progresivo de fermentación se muestran en el Cuadro 11 y la Figura 12, y las ecuaciones de regresión en el Cuadro 12. El efecto en el contenido de cenizas en los ensilados debido al nivel de inclusión del rastrojo de maíz en el forraje de lupino, se reflejó en la disminución de los minerales conforme aumento la proporción del rastrojo de maíz en los ensilados ($P < 0.05$), que sufre aparentemente un efecto de dilución.

Las cenizas al considerar los niveles de inclusión del rastrojo de maíz al forraje de lupinos (100:0, 75:25 y 50:50) se vio afectado por los días de fermentación ($P > 0.05$).

En los ensilados con la relación 100:0 (lupino:rastrojo de maíz) se encontró que el valor de cenizas en el tiempo inicial fue de 12.08% y el final de 10.93% y en el periodo experimental osciló entre 10.93% y 12.70%, en los ensilados con la relación 75:25 el nivel inicial fue de 8.52% y final de 10.13% el rango en el periodo fue de 8.52% a

10.54%, y en la relación 50:50 el valor inicial fue de 7.73%, y final de 9.04%, con variación en el mismo rango.

Fraser *et al.* (2005b) reportaron en ensilados elaborados con *L. angustifolius* valores menores de cenizas que los obtenidos en todos los tratamientos en este trabajo. Herrera *et al.* (2008) encontraron en ensilados de *L. exaltatus* valores menores a los ensilados de la relación 100:0 y 75:25 pero similares a la relación 50:50 (lupino:rastrojo de maíz). Por otra parte investigaciones en ensilados con *L. luteus* (Doležal, 2008), soya (Tobía *et al.*, 2008) y maní forrajero (WingChing y Rojas, 2006), encontraron valores de cenizas similares a las que se encuentran en el rango obtenido en las diversas proporciones de lupino:rastrojo de maíz con ensilados de *L. rotundiflorus* en este trabajo.

Cuadro 11. Cenizas en ensilados de *L. rotundiflorus*. Efecto por el nivel de inclusión del rastrojo de maíz y los días de fermentación, (valores en % MS).

Días de Fermentación	Relación L:RM			Media	EEM
	100:0	75:25	50:50		
0	12.08 ^{bc}	8.52 ^a	7.73 ^a	9.38	0.60
3	11.63 ^b	10.41 ^b	8.73 ^{bc}	9.98	0.29
6	11.64 ^b	10.54 ^b	9.47 ^c	10.35	0.22
9	12.59 ^c	10.52 ^b	8.88 ^{bc}	10.49	0.36
12	12.13 ^{bc}	10.12 ^b	8.58 ^b	9.90	0.35
20	12.27 ^{bc}	10.29 ^b	8.68 ^b	10.10	0.29
30	12.70 ^c	10.37 ^b	8.53 ^b	10.10	0.42
40	10.93 ^a	10.13 ^b	9.04 ^{bc}	9.92	0.17
Media	11.98 ^c	10.22 ^b	8.78 ^a	10.07	
EEM	0.11	0.07	0.09	0.12	

Medias con distinta literal en una columna o hilera indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

Cuadro 12. Ecuación de regresión de las Cenizas (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a una $P < 0.05$.

Relación Lupino: rastrojo de maíz	Ecuación de regresión
100:00	$y = -0.0002x^3 + 0.006x^2 - 0.197x + 26.759$; $R^2 = 0.503$
75:25	$y = -0.0001x^3 - 0.0096x^2 + 0.189x + 9.420$; $R^2 = 0.296$
50:50	$y = 0.0002x^3 - 0.013x^2 + 0.201x + 8.154$; $R^2 = 0.252$

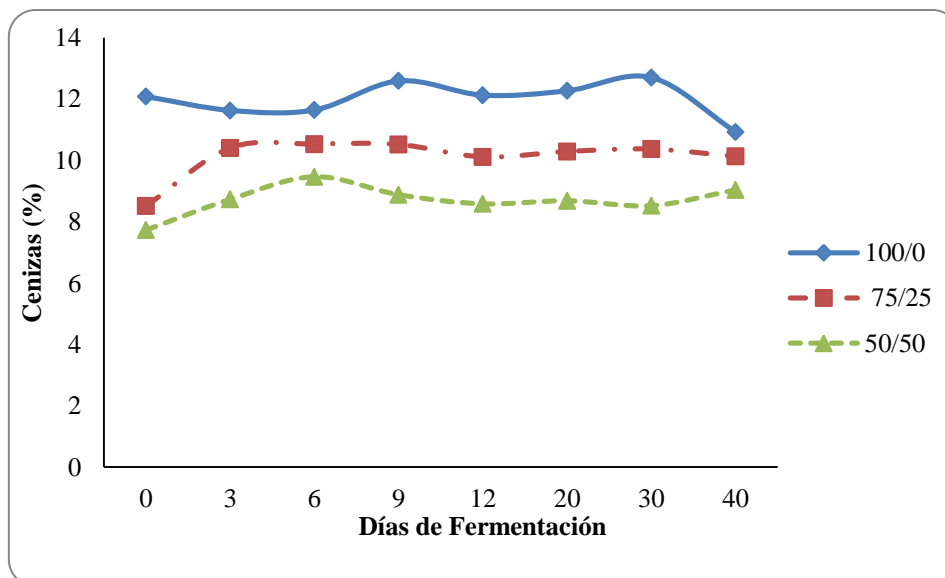


Figura 12. Evolución de las Cenizas (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a través del periodo experimental.

8.2.2.5 Fibra detergente neutra (FDN)

Los resultados obtenidos de la FDN, en los ensilados elaborados con el forraje de *L. rotundiflorus*, por la incorporación del rastrojo de maíz a diferente tiempo de fermentación se muestran en el Cuadro 13 y la Figura 13, las ecuaciones de regresión aparecen en el Cuadro 14. En los ensilados en la relación 100:0 (lupino:rastrojo de maíz) se observa un incremento de la FDN a partir del 3er día y en la relación 50:50 a partir del 6º, día de fermentación, en tanto los ensilados con la relación 75:25 no fueron afectados por el proceso de la fermentación ($P>0.05$). El nivel de la FDN fue afectado por la proporción del rastrojo de maíz que se incluyó en el forraje de *L. rotundiflorus* en los ensilados, el valor de la FDN aumenta a medida que se adiciona el rastrojo de maíz ($P<0.05$), esto posiblemente a consecuencia del abundante contenido de esta fracción de fibra en el rastrojo de maíz (Fuentes *et al.* 2001). El mismo efecto fue observado por Castillo *et al.* (2009), donde a mayores contenidos de vigna (*Vigna radiata*), los porcentajes de FDN y FDA aumentaron, debido a una incorporación fibrosa por parte de las vainas de vigna al forraje de maíz híbrido.

El nivel de FDN en la relación 100:0 en el tiempo inicial fue de 33.03% y final de 41.89% con rango entre 33.03% y 42.74%, en la relación 75:25 el valor inicial fue de 44.78% y el final de 47.27%, el rango fue de 43.04% a 47.84% y los ensilados con la relación 50:50 (lupino:rastrojo de maíz) el contenido inicial de FDN fue de 59.28% y final de 63.19% y una fluctuación de 59.28% a 66.18%.

El contenido de la FDN en los ensilados en la relación 100:0 y 75:25 (lupino:rastrajo de maíz) son similares y se encuentran dentro de los valores reportados en *L. exaltatus* (Herrera *et al.*, 2008), *L. luteus* (Doležal *et al.*, 2008), *L. albus* (Fraser *et al.*, 2005a), y otras leguminosas como el maní forrajero o cacahuete (*Arachis hypogaea*), con y sin deshidratación al sol, cosechado a la 8a. semana de edad y sin deshidratación a la semana 12 (WingChing *et al.*, 2006), así también como las leguminosas arbóreas combinadas con forraje de maíz (Phiri, 2007). Valores inferiores de FDN fueron reportados por Tobía *et al.*, 2008 en ensilados elaborados con forraje de soya (*Glycine max*), cuyo posible factor es el tiempo de colecta de la planta a ensilar, que correspondió al estado R6 (formación completa de semillas) y en nuestro trabajo en floración e inicio de formación de vaina (comparable al estadio R3).

En los ensilados de *L. rotundiflorus* en la relación 50:50 la cantidad de FDN es similar a la encontrada en el maní forrajero (WingChing *et al.*, 2006). Los contenidos promedio de fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) en los ensilados de *L. exaltatus* y *L. rotundiflorus* estudiados por Herrera *et al.* (2010), se incrementaron al aumentar la proporción de RM en las mezclas, tendencia que se mantuvo hasta el final del experimento. El incremento de FDN y FDA en los ensilados de ambos lupinos estuvo probablemente relacionado con el alto contenido de estas fracciones de fibra en el RM. Otras leguminosas como *Morus alba* también registra incrementos de FDN y FDA (60.8 y 41.8%) al incorporar maíz fresco a diferentes niveles de inclusión (Boschini, 2003). La FDN es la fracción del forraje que corresponde a las paredes celulares y está asociada negativamente con la ingestión de la MS. El porcentaje de la FDN se incrementa con el estado de madurez de los forrajes (De la Roza, 2005).

Cuadro 13. FDN en ensilados de *L. rotundiflorus*. Efecto por el nivel de inclusión del rastrojo de maíz y los días de fermentación, (valores en % MS).

Días de Fermentación	Relación L:RM			Media	EEM
	100:0	75:25	50:50		
0	33.03 ^a	44.78 ^a	59.28 ^a	47.45	3.08
3	38.00 ^{ab}	43.24 ^a	59.72 ^a	45.83	2.07
6	37.18 ^{ab}	43.12 ^a	61.58 ^{ab}	46.41	2.35
9	39.70 ^{ab}	45.85 ^a	62.20 ^{ab}	48.91	2.18
12	36.93 ^{ab}	47.84 ^a	66.18 ^b	53.00	3.09
20	38.56 ^{ab}	44.21 ^a	61.54 ^{ab}	50.01	2.65
30	42.74 ^b	43.04 ^a	61.79 ^{ab}	48.92	2.15
40	41.89 ^b	47.27 ^a	63.19 ^{ab}	49.25	1.86
Media	38.24 ^a	44.87 ^b	61.85 ^c	48.50	
EEM	0.67	0.45	0.53	0.85	

Medias con distinta literal en una columna o hilera indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

Cuadro 14. Ecuación de regresión de la FDN (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a una $P < 0.05$.

Relación Lupino: rastrojo de maíz	Ecuación de regresión
100:00	$y = 0.0003x^3 - 0.020x^2 + 0.547x + 35.017; R^2 = 0.265$
75:25	$y = 0.001x^3 - 0.056x^2 + 0.878x + 41.812; R^2 = 0.225$
50:50	$y = -0.010x^2 + 0.471x + 31.437; R^2 = 0.469$

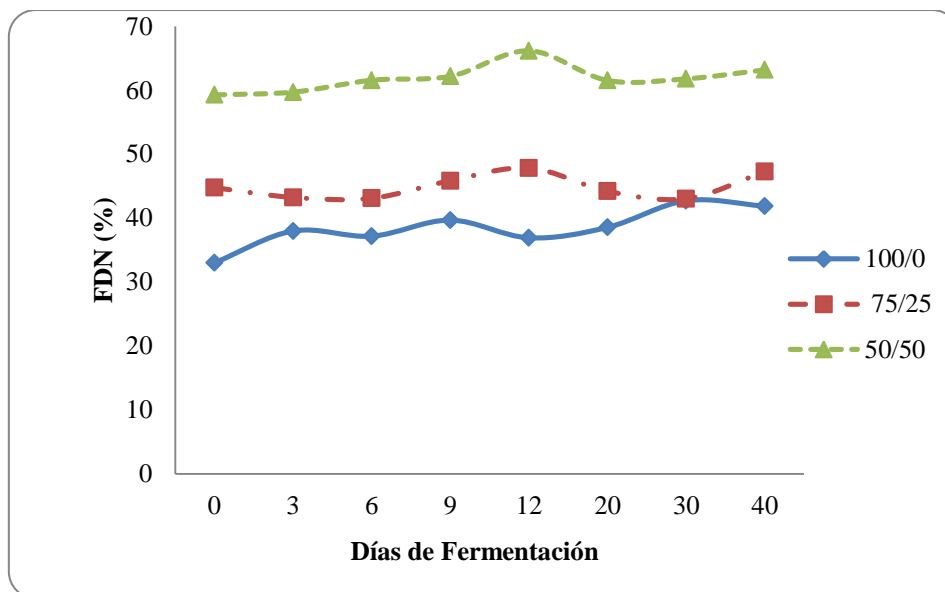


Figura 13. Evolución de la Fibra detergente neutro (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a través del periodo experimental.

8.2.2.6 Fibra detergente ácida (FDA)

Los valores de la FDA en los ensilados del forraje completo de *L. rotundiflorus* y el efecto por el nivel de inclusión del rastrojo de maíz y los días de fermentación se muestran en el Cuadro 15 y la Figura 14, las ecuaciones de regresión se encuentran en el Cuadro 16. El nivel de la FDA en los ensilados aumentó conforme se incorporó el rastrojo de maíz ($P < 0.05$) esto debido a un contenido mayor de FDA en el rastrojo de maíz. En las relaciones 100:0 y 75:25 (lupino:rastrojo de maíz) se observó un aumento en los ensilajes al progresar el periodo de fermentación, sin embargo no se presentó cambio significativo en la relación 50:50, ni en el promedio total de los niveles (100:0, 75:25 y 50:50) por los días de fermentación ($P < 0.05$).

El valor inicial de la FDA en los ensilados con la relación 100:0 (lupino:rastrojo de maíz) fue de 33.03% y el valor final de 41.89% con un rango de 30.69% a 36.24%, los ensilados en la relación 75:25 el valor encontrado de la FDA en el tiempo inicial fue de 44.78% y en el tiempo final de 47.27%, el rango se encontró entre 34.61% y 38.87%, en tanto en las ensilados con la relación 50:50, la FDA inicial fue de 59.28% y la FDN final fue de 63.19% y fluctuó a través del periodo de fermentación entre 45.30% y 48.29%.

Valores menores obtuvieron Doležal *et al.* (2008) en ensilados de *L. luteus* y Tobía *et al.* (2008) en ensilados de *Glycine max* (soya) comparado con los ensilajes elaborados únicamente con el forraje de *L. rotundiflorus* (100:0) de este trabajo, esto probablemente debido a la divergencia en la familia y especie de leguminosa a ensilar. Los resultados obtenidos en la proporción 100:0 en este experimento son menores los obtenidos por Herrera *et al.* (2010) en *L. exaltatus* y WingChing *et al.* (2006) en maní forrajero, pero estos son similares a los ensilados con las proporciones 75:25 y 50:50 (lupino:rastrojo de maíz). El contenido de FDA y lignina se correlacionan con la fracción no digestible del material, lo que provoca un efecto de llenado (Holland y Kezar, 1995, Castillo, *et al.* 2009). Los menores contenidos de FDN y FDA en los ensilados en las proporciones 100:0 y 75:25 favorecen el consumo de MS de mayor digestibilidad debido a su menor contenido de componentes de pared celular, en tanto que los altos valores de FDN y FDA del material fresco en las proporciones 50:50 mostrarían un menor consumo y pobre digestibilidad del mismo (Herrera *et al.* 2010). El FDA consiste primariamente de celulosa, lignina, y CP contenida en la FDA. Está estrechamente relacionado con la fracción no digestible del forraje y es un factor muy importante en el cálculo del contenido energético del alimento. Cuanto mayor es el contenido en la FDA menor es la digestibilidad del alimento y la energía que contendrá. La fibra detergente ácido (FDA), es la fracción de la pared celular de un forraje (celulosa, lignina y sílice). Valores muy altos de FDA indican un alimento de baja calidad (45-50 % de FDA). Por lo que en nuestro trabajo los ensilados de 100:0 y 75:25 son de mayor calidad nutricional que los ensilados 50:50

El proceso de ensilaje no afecta el contenido de FDA en el ensilado como ha sido reportado por Snyman *et al.* (1987). Esto pudo ser atribuido al hecho de que la FDA no provee azúcares para la fermentación de ácido láctico durante la fermentación (Muck, 1989), probablemente debido a la divergencia del estado de madurez de la planta utilizada en la elaboración de los ensilado (R6 vs R3).

Cuadro 15. FDA en ensilados de *L. rotundiflorus*. Efecto por el nivel de inclusión del rastrojo de maíz y los días de fermentación, (valores en % MS).

Días de Fermentación	Relación L:RM			Media	EEM
	100:0	75:25	50:50		
0	30.69 ^a	34.61 ^a	48.06 ^a	36.12	2.99
3	32.09 ^{ab}	34.73 ^a	45.26 ^a	37.04	1.47
6	35.19 ^{bc}	37.24 ^{bc}	47.96 ^a	40.13	1.43
9	34.87 ^{bc}	38.65 ^c	48.29 ^a	40.60	1.42
12	36.25 ^c	36.67 ^{bc}	46.76 ^a	40.62	1.39
20	35.46 ^{bc}	35.82 ^{ab}	46.47 ^a	40.01	1.45
30	35.95 ^c	37.94 ^{bc}	46.82 ^a	41.10	1.39
40	34.20 ^{bc}	38.87 ^c	45.58 ^a	34.20	1.35
Media	34.26 ^a	36.82 ^b	46.92 ^c	39.53	
EEM	0.40	0.42	0.34	0.55	

Medias con distinta literal en una columna o hilera indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

Cuadro 16. Ecuación de regresión de la FDA (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a una $P < 0.05$.

Relación Lupino: rastrojo de maíz	Ecuación de regresión
100:00	$y = 0.0004x^3 - 0.031x^2 + 0.759x + 30.655$; $R^2 = 0.519$
75:25	$y = 0.001x^3 - 0.058x^2 + 1.141x + 31.006$; $R^2 = 0.568$
50:50	$y = -0.002x^2 + 0.043x + 46.937$; $R^2 = 0.034$

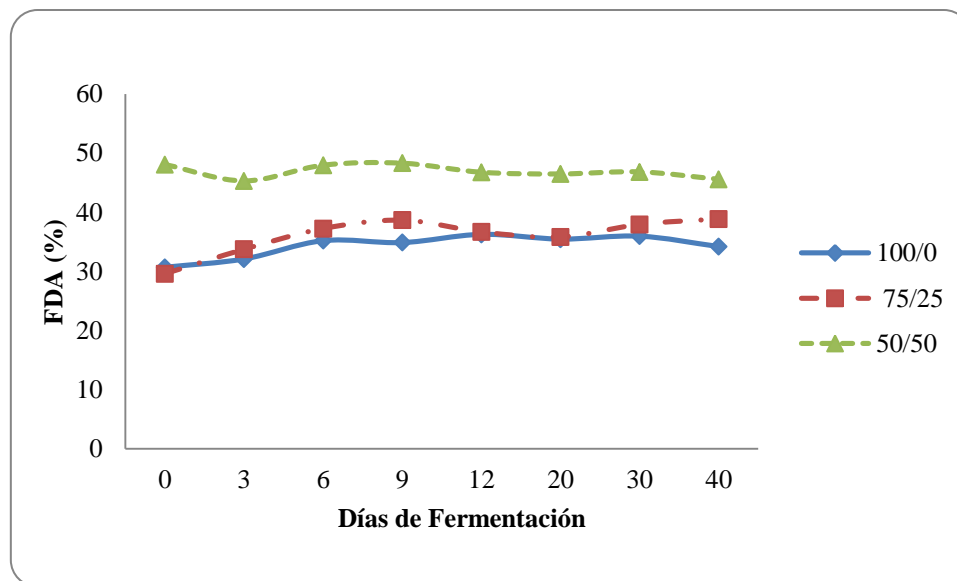


Figura 14. Evolución de la Fibra detergente ácido (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a través del periodo experimental.

8.3. Características fermentativas

8.3.1 Potencial de hidrógeno (pH)

La cinética del pH en los ensilados de *L. rotundiflorus* por el nivel de inclusión del rastrojo de maíz y los días de fermentación se muestran en el Cuadro 17 y la Figura 15, las ecuaciones de regresión aparecen en el Cuadro 18. El pH en los ensilados en todas las proporciones (100:0, 75:25 y 50:50) disminuyeron en forma significativa conforme avanzó el tiempo fermentativo ($P < 0.05$), efecto observado a partir del 3er día de fermentación con respecto al tiempo 0 y con una tendencia a mantenerse estable a pH bajos con poca variación a partir de los 9 días en las relaciones 100:0 y 75:25 y a 20 días en la relación 50:50, ($P < 0.05$), lo que indica una adecuada conservación de los ensilados.

Al término del periodo experimental (40 días), el pH registrado en este experimento fue de 3.89, 4.01 y 4.30 para los ensilados en la proporción 100:0, 75:25 y 50:50 respectivamente, que presentan diferencia significativa entre grupos ($P < 0.05$). Los valores de pH registrados en los ensilados se encuentran alrededor del valor recomendado como aceptable en un proceso de ensilaje, 4.2 (Ojeda *et al.*, 1991). Van Soest (1982) refiere que los criterios simples de la calidad del ensilado son el pH y el contenido de la materia seca. Para ser de la mejor calidad, el pH de ensilados con bajo contenido de materia seca debe ser inferior a 4.4. Así mismo refiere que un pH alto en

ensilados de baja materia seca es indicativo de fermentación proteolítica y producción de aminas y ácido butírico. En ensilados con un contenido de agua inferior al 65%, el pH es menos importante ya que incluso el material ensilado con un pH > 5.0 puede ser de buena calidad.

Valores similares de acidez en los ensilados de *L. rotundiflorus* en las proporciones 100:0 y 75:25 se reportan para ensilados de *L. angustifolius* (Fraser *et al.*, 2005b), *L. luteus* (Doležal *et al.*, 2008), *L. exaltaus* (Herrera *et al.*, 2010) y *Glycine max* (Tobía *et al.*, 2008), mientras que valores menores de pH han sido registrados en ensilados de *L. albus* (Fraser *et al.*, 2005a). Así mismo valores similares de pH a los alcanzados en los ensilados de *L. rotundiflorus* en las relaciones 50:50 en el presente trabajo se reportan para ensilados de alfalfa (Kung *et al.*, 2003), soya cosechada en estadio R6, adicionada con melaza (Tobía *et al.*, 2003) y de leguminosas arbóreas en mezcla con forraje de maíz (Phiri, 2007). De lo anterior se puede deducir que la concentración de azúcares solubles (melaza) y bacterias ácido lácticas adicionados al material vegetal por ensilar en este estudio fueron suficientes para acelerar el descenso significativo del pH durante la etapa inicial de fermentación. De acuerdo con Muck (1988), es necesario un rápido descenso del pH durante el ensilaje para garantizar un hábitat desfavorable para la proliferación de microorganismos indeseable como *Clostridium*, reduciendo la aerobiosis y evitando así la proteólisis del forraje.

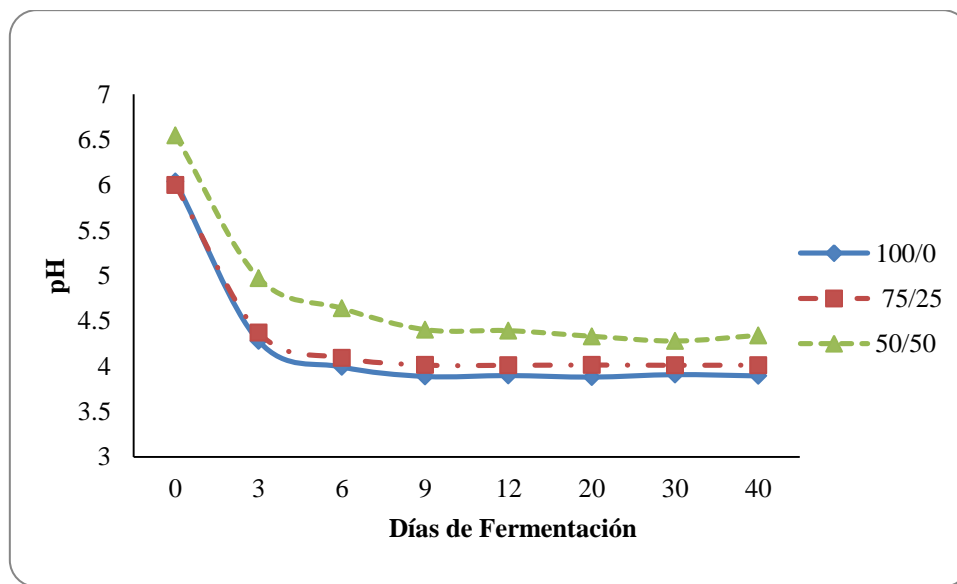
Cuadro 17. pH en ensilados de *L. rotundiflorus*. Efecto por el nivel de inclusión del rastrojo de maíz y los días de fermentación.

Días de Fermentación	Relación L:RM			Media	EEM
	100:0	75:25	50:50		
0	6.04 ^d	6.00 ^d	6.55 ^e	6.19 ^c	0.09
3	4.28 ^c	4.37 ^c	4.97 ^d	4.54 ^b	0.08
6	3.99 ^b	4.00 ^b	4.64 ^c	4.24 ^a	0.69
9	3.89 ^a	4.01 ^a	4.40 ^b	4.01 ^a	0.05
12	3.90 ^a	4.01 ^a	4.39 ^b	4.14 ^a	0.06
20	3.90 ^a	4.01 ^a	4.33 ^{ab}	4.11 ^a	0.05
30	3.91 ^a	4.01 ^a	4.28 ^a	4.10 ^a	0.04
40	3.89 ^a	4.01 ^a	4.34 ^{ab}	4.06 ^a	0.05
Media	4.18 ^a	4.20 ^b	4.64 ^c	4.35	
EEM	0.11	0.08	0.09	0.05	

Medias con distinta literal en una columna o hilera indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

Cuadro 18. Ecuación de regresión del pH en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a una $P < 0.05$.

Relación Lupino: rastrojo de maíz	Ecuación de regresión
100:00	$y = -0.216\ln(x) + 4.486$; $R^2 = 0.967$
75:25	$y = -0.194\ln(x) + 4.570$; $R^2 = 0.954$
50:50	$y = -0.224\ln(x) + 5.032$; $R^2 = 0.966$

Figura 15. Evolución del pH en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a través del periodo experimental.

8.3.2 Nitrógeno N-NH₃/N total

Los valores de nitrógeno amoniacal en los ensilados evaluados y los días de fermentación se muestran en el Cuadro 19 y la Figura 16, las ecuaciones de regresión se observan en el Cuadro 20. El nivel de N-NH₃/N total en los ensilados de *L. rotundiflorus* se incrementó en relación directa a las proporciones añadidas de rastrojo de maíz al forraje de lupinos y tiempo fermentación ($P < 0.05$). El N-NH₃/N total en los ensilados al tiempo 0 fue de 0.20%, 0.38% y 1.73% en las proporciones 100:0, 75:25 y 50:50 respectivamente. No obstante, al finalizar el periodo experimental de 40 días estos valores aumentaron a 1.98%, 2.22% y 4.18% para las proporciones mencionadas. Estos valores se encuentran dentro del rango óptimo recomendado en ensilados de buena calidad, los ensilados con una concentración menor al 7% de N-NH₃/N, se consideran bien conservados, ya que el contenido de nitrógeno amoniacal elevado en los

ensilajes representa un índice del catabolismo de las proteínas (proteólisis) o el grado de degradación de los aminoácidos.

Fraser *et al.* (2005b), en ensilados de *L. angustifolius*, cultivado en estado de planta completa, encontraron niveles mayores de N-NH₃/N total que en nuestro estudio pero que resultan apropiados para silos de buena calidad.

Anteriormente Ojeda *et al.* (1990), estudiando ensilados de gramíneas y leguminosas encontraron niveles altos de amoníaco (10.11 a 11.1% N-NH₃/NT) en tanto Cárdenas *et al.* (2003) en ensilados mixtos de gramíneas y leguminosas arbóreas, encontraron valores en un rango de 4.4 a 14.7% N-NH₃/NT, y recomiendan para lograr una rápida disminución del pH y así disminuir la proteólisis con una menor producción de amoníaco en los ensilados de leguminosas.

WingChing y Rojas (2006), investigaron la característica fermentativa del maní forrajero y encontraron que la adición de niveles crecientes de melaza (0, 3, 6%) favoreció el proceso de fermentación, alcanzando un pH menor y una concentración de ácido láctico mayor, efecto que provocó un comportamiento lineal en la reducción del contenido de N-NH₃/NT en el ensilados, lo que puede explicar los bajos niveles de N-NH₃/NT en los ensilados elaborados en este estudio. Así también, estos investigadores encontraron que la deshidratación genera menores concentraciones de N-NH₃/NT debido a una reducción de la proteólisis durante el proceso fermentativo.

En los ensilados de *L. rotundiflorus* la acidificación se realizó en un tiempo suficientemente rápido para detener la actividad degradante de las proteasas, evitando la degradación de las proteínas, preservando el nitrógeno proteico (NP) y el nitrógeno total (NT), efecto que menciona Clavero y Razz (2008) en ensilados de *Acacia mangium* (leguminosa arbórea).

Vallejo (1995) en ensilados de forraje de árboles y arbustos tropicales encontró, una reducción en la producción de N-NH₃/NT con la adición melaza a estos materiales. La misma tendencia se observó en un ensilado elaborado con pasto Bermuda cuando se le agregó melaza de caña (Umaña *et al.*, 1991).

Con la inoculación en los ensilados de *L. rotundiflorus* y la adición de melaza se logró obtener buenas características de fermentación, que resultaron en baja concentración de N-NH₃/NT y amino ácidos libres, que indican una sustancial reducción en la degradación de la proteína durante el proceso de fermentación, y que expresa apropiada conservación de los nutrientes del forraje de lupino (Fraser *et al.*, 2005a).

Cuadro 19. % N-NH₃/N total en ensilados de *L. rotundiflorus*. Efecto por el nivel de inclusión del rastrojo de maíz y los días de fermentación.

Días de Fermentación	Relación L:RM			Media	EEM
	100:0	75:25	50:50		
0	0.20 ^a	0.38 ^a	1.73 ^a	0.77 ^a	0.15
3	1.44 ^b	1.99 ^b	3.54 ^c	2.33 ^b	0.14
6	1.50 ^b	1.81 ^b	4.26 ^d	2.52 ^b	0.19
9	1.66 ^b	1.89 ^b	1.93 ^{bc}	2.36 ^b	0.12
12	1.66 ^b	1.96 ^b	2.97 ^b	2.31 ^b	0.10
20	1.62 ^b	1.89 ^b	3.51 ^c	2.48 ^b	0.14
30	1.63 ^b	2.04 ^{bc}	3.87 ^{cd}	2.69 ^b	0.17
40	1.98 ^c	2.22 ^c	4.18 ^d	2.65 ^b	0.17
Media	1.48 ^a	1.86 ^b	3.50 ^c	2.33	
EEM	0.08	0.065	0.11	0.09	

Medias con distinta literal en una columna o hilera indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

Cuadro 20. Ecuación de regresión del % N-NH₃/N total en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a una $P < 0.05$.

Relación Lupino: rastrojo de maíz	Ecuación de regresión
100:00	$y = 1.529 \ln(x) + 12.607$; $R^2 = 0.929$
75:25	$y = 1.599 \ln(x) + 15.618$; $R^2 = 0.927$
50:50	$y = 30.024x^{0.073}$ Potencia; $R^2 = 0.643$

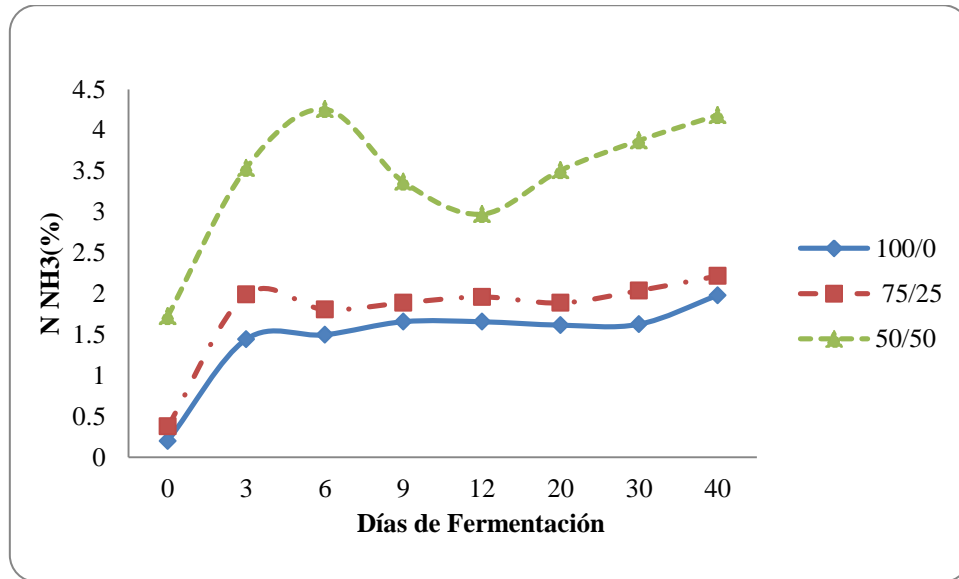


Figura 16. Evolución del % N-NH₃/N total en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a través del periodo experimental.

8.3.3 Ácido láctico

La generación de ácido láctico en el proceso de ensilaje de las mezclas del rastrojo de maíz y forraje de *L. rotundiflorus*, y días de fermentación se muestran en el Cuadro 21 y la Figura 17, las ecuaciones de regresión se encuentran en el Cuadro 22. El ácido láctico en los ensilados en todas las proporciones de lupino:rastrojo de maíz (100:0, 75:25 y 50:50) se detectó a partir del 3er día de fermentación. La concentración de ácido láctico disminuyó en una relación inversamente proporcional al aumento de RM en las mezclas independientemente del tiempo de fermentación. A los 40 días de ensilaje la concentración del ácido láctico en los ensilados fue de 6.26%, 4.67% y 2.45% en las proporciones 100:0, 75:25 y 50:50 (lupino:rastrojo de maíz) respectivamente ($P < 0.05$). La producción de ácido láctico en los ensilados de *L. rotundiflorus*, disminuyó por un efecto de dilución debido al incremento de RM en relación al forraje de lupinos ($P < 0.05$).

El ácido láctico como indicador de transformación de azúcares presentes en el forraje, contribuye de manera fundamental en la reducción del pH y en la estabilidad del ensilado. De acuerdo a la clasificación de calidad de los ensilados, propuesta por Martínez *et al.* (1999), con respecto al nivel de ácido láctico, los ensilados de *L. rotundiflorus* en las proporciones 100:0 y 75:25 se califican de excelente calidad ($> 3\%$) y el de la relación 50:50 como de buena calidad (1.5-3%). Por consiguiente, todos los

ensilados elaborados solo con forraje de *L. rotundiflorus* o en mezcla con rastrojo de maíz, están por arriba de los valores recomendados de ácido láctico como adecuados para una adecuada conservación del material ensilado (Cárdenas *et al.*, 2003).

Fraser *et al.* (2005a) han reportado en ensilados de *L. albus*, concentraciones mayores de ácido láctico a los encontrados en ensilados de *L. rotundiflorus* en la proporción 100:0, al igual que Doležal *et al.* (2008) en *L. luteus* y Herrera *et al.* (2010) en *L. exaltatus*. Niveles similares se han reportado en ensilados de soya y maíz (Tobía *et al.*, 2008; Phiri *et al.*, 2007). El nivel de ácido láctico en la proporción 75:25 es similar a los ensilados de *L. angustifolius* (Fraser *et al.*, 2005b) y en ensilajes mixtos de leguminosas arbóreas (*A. boliviana*) y forraje de maíz (Phiri *et al.*, 2007). En tanto los niveles de ácido láctico en los ensilajes de *L. rotundiflorus* en la proporción 50:50 son semejantes a los ensilajes mixtos de *Leucaena leucocephala* (huaje o guaje, leguminosa arbórea) y forraje de maíz, también reportado por Phiri *et al.* (2007) y a los ensilajes de maní forrajero reportados por WingChing y Rojas (2006).

La producción apropiada de ácido láctico en los ensilados estudiados en este trabajo, se debió en gran parte a la adición de una fuente de carbohidratos solubles (melaza) e inóculo de bacterias ácido, lácticas que estimuló e intensificó el proceso fermentativo en el ensilado. Cabe subrayar que la producción de ácidos grasos volátiles específicamente el ácido láctico, le confiere un olor agradable al producto ensilado, Tobía *et al.* (2003).

Cuadro 21 Ácido Láctico en microsilos de *L. rotundiflorus*. Efecto por el nivel de inclusión del rastrojo de maíz y los días de fermentación, (valores en % MS).

Días de Fermentación	Relación L:RM			Media	EEM
	100:0	75:25	50:50		
0	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0
3	5.53 ^b	3.61 ^b	1.92 ^b	3.68 ^b	0.37
6	5.54 ^b	4.66 ^c	1.82 ^b	4.00 ^b	0.39
9	6.97 ^d	4.83 ^d	2.05 ^b	4.62 ^b	0.49
12	6.29 ^c	4.94 ^c	2.26 ^b	4.14 ^b	0.43
20	5.70 ^{bc}	4.40 ^c	2.33 ^b	3.83 ^b	0.36
30	5.65 ^{bc}	4.67 ^c	1.98 ^b	3.98 ^b	0.39
40	6.26 ^c	4.67 ^c	2.45 ^b	4.25 ^b	0.47
Media	5.45 ^c	4.20 ^b	1.97 ^a	3.76	
EEM	0.32	0.18	0.12	0.17	

Medias con distinta literal en una columna o hilera indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

Cuadro 22. Ecuación de regresión del Ac. Láctico (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a una $P < 0.05$.

Relación Lupino: rastrojo de maíz	Ecuación de regresión
100:00	$y = 0.613\ln(x) + 4.569$; $R^2 = 0.502$
75:25	$y = 0.446\ln(x) + 3.351$; $R^2 = 0.840$
50:50	$y = 0.224\ln(x) + 1.577$; $R^2 = 0.571$

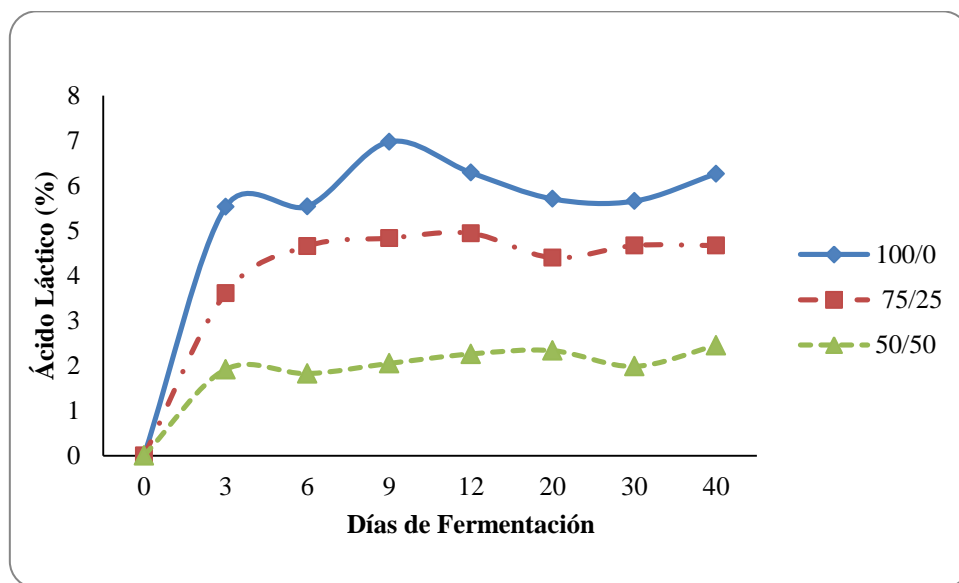


Figura 17. Evolución del Ácido láctico (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a través del periodo experimental

8.3.4 Ácido acético

Las concentraciones de ácido acético en los ensilados analizados, solo y combinado con rastrojo de maíz, a diferentes niveles y días de fermentación se muestran en el Cuadro 23 y la Figura 18, las ecuaciones de regresión se hallan en el Cuadro 24. La concentración de ácido acético en todas las mezclas fluctuó entre 0.0 y 1.99%. La concentración promedio de ácido acético, no presentó efecto por el nivel de inclusión del rastrojo de maíz en los ensilados, sin embargo, a los 40 días de fermentación aumentó el contenido de ácido acético en los ensilados que incluían rastrojo de maíz, ($P < 0.05$). De igual forma el ácido acético aumentó al transcurrir el periodo de fermentación, efecto que se observó en los ensilados mixtos de *L. rotundiflorus*: rastrojo de maíz. En tanto que en los ensilados elaborados solo con el forraje de *L. rotundiflorus*,

el contenido de ácido acético no mostró una tendencia lineal en relación al tiempo de fermentación.

En todos los ensilados evaluados en este experimento la concentración de ácido acético, fue menor a 2.0%, lo que los sitúa como de excelente calidad en referencia a la clasificación de la calidad propuesta por Martínez *et al.* (1999) y Ojeda *et al.* (1991). Niveles de ácido acético similares a los encontrados en este estudio han sido reportados en ensilados de *L. albus* (0.48-2.79%) Fraser *et al.* (2005a) y *L. angustifolius* (1.48 a 1.63%) Fraser *et al.* (2005b).

Por su parte Doležal *et al.* (2008) reportaron niveles de ácido acético de 2.27 a 2.94% en ensilados de *L. luteus*. En contraste Cárdenas *et al.* (2003) encontraron valores relativamente altos en ensilados de gramíneas y especies arbóreas 3.3% y 2.9% de MS, respectivamente. Phiri *et al.* (2007), hallaron en ensilajes de maíz concentraciones de 1.82% en tanto, la concentración de ácido acético en ensilados mixtos de *A. boliviana*-maíz fue de 4.14% y en ensilados mixtos de *L. leucocephala*-maíz de 4.62%.

Cuadro 23. Ácido Acético en microsilos de *L. rotundiflorus*. Efecto por el nivel de inclusión del rastrojo de maíz y los días de fermentación, (valores en % MF).

Días de Fermentación	Relación L:RM			Media	EEM
	100:0	75:25	50:50		
0	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0
3	1.48 ^b	0.33 ^{ab}	0.73 ^b	0.89 ^b	0.11
6	0.52 ^a	0.68 ^b	0.89 ^b	0.70 ^b	0.05
9	1.41 ^b	0.47 ^b	0.70 ^b	0.87 ^b	0.10
12	0.16 ^a	1.07 ^c	0.89 ^b	0.80 ^b	0.10
20	0.48 ^a	1.87 ^d	1.59 ^c	1.48 ^c	0.16
30	1.84 ^b	1.83 ^d	1.79 ^{cd}	1.82 ^c	0.12
40	0.44 ^a	1.92 ^d	1.99 ^d	1.58 ^c	0.17
Media	0.98	1.08	0.97	1.02	
EEM	0.10	0.08	0.09	0.05	

Medias con distinta literal en una columna o hilera indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

Cuadro 24. Ecuación de regresión del Ácido Acético (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a una $P < 0.05$.

Relación Lupino: rastrojo de maíz	Ecuación de regresión
100:00	$y = 0.070\ln(x) + 0.853; R^2 = 0.037$
75:25	$y = 0.048\ln(x) + 0.323; R^2 = 0.670$
50:50	$y = - 0.001x^2 - 0.080x + 0.280; R^2 = 0.784$

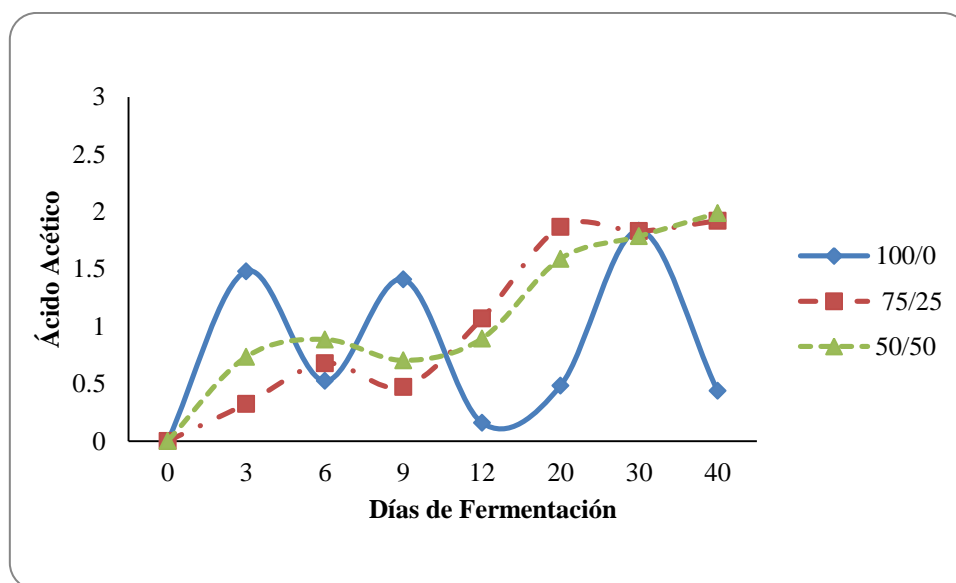


Figura 18. Evolución del Ácido acético (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a través del periodo experimental.

8.3.5 Ácidos propiónico y butírico

No se detectó la presencia de ácido propiónico ni de ácido butírico en ninguno de los ensilados analizados ni a través de los periodos de fermentación.

Clavero y Razz (2008), describen el mismo efecto en ensilados de *Albizia lebbek* (leguminosa arbórea). Cantidades insignificantes de ácido propiónico se reportan en ensilajes de *L. albus*, con valores de 0 a 0.8%, y en el ensilado de la planta completa de *L. angustifolius*, fue de 0.04 a 0.07 % (Fraser *et al.*, 2005a y Fraser *et al.*, 2005b).

Phiri *et al.* (2007), reportaron concentraciones de ácido propiónico en ensilados de maíz de 0.11%, en ensilados mixtos de *A. boliviana*-maíz de 0.14% y en ensilados mixtos de *L. leucocephala* de 0.22%. Kung *et al.* (2003) en ensilados de alfalfa encontraron niveles de ácido propiónico de 0.11 a 0.22%.

En tanto concentraciones mínimas de ácido butírico se registraron en ensilados de *L. angustifolius* de 0.0 a 0.1% (Fraser *et al.*, 2005b) y en ensilados mixtos de *L. leucocephala* resultaron de 0.18 a 0.32% (Phiri *et al.*, 2007).

Martínez *et al.* (1999), consideran que en ensilados de excelente calidad, el ácido butírico debe estar ausente y para un ensilado de calidad pueden aparecer trazas.

No se considera el ácido propiónico dentro de los parámetros de calidad de los ensilajes, sin embargo una alta concentración de ácido butírico (> 0.5% de la MS) indica que el silo ha sido objeto de fermentación clostridial, que es una de las más pobres fermentaciones. Ensilados con alto contenido de ácido butírico suelen ser de bajo valor nutritivo (Kung y Shaver, 2001).

Por otra parte, dentro de los microorganismos nocivos para los ensilajes se encuentran los clostridios, los cuales son bacterias anaerobias indeseables que degradan el ácido láctico y producen ácido butírico, además pueden fermentar proteínas y producir alto contenido de amoníaco y de aminas (Voss, 1966). Una buena elaboración y conservación de los ensilados permitirán un descenso rápido de pH que evitara el desarrollo de clostridios y de enterobacterias (Oude *et al.*, 2000).

Resultados en la composición del ensilaje, particularmente con bajo nivel de ácido acético y con muy poco ácido butírico, sugiere un predominante proceso homofermentativo de ácido láctico (McDonald *et al.*, 1991). Para garantizar una fermentación adecuada y rápida de los ensilados se justifica el uso de aditivos entre los que se encuentran los inoculantes microbianos. Los cuales se aplican a los forrajes al momento de ensilar con el fin de acelerar el descenso del pH durante la etapa inicial de fermentación, logrando un medio anaerobio ácido en el cual el forraje se conserva al disminuir la proteólisis y la desaminación e inhibir la fermentación butírica (Ramírez *et al.*, 1999).

8.4. Alcaloides totales (AT)

El efecto en los alcaloides totales (AT) a la inclusión del rastrojo de maíz durante el periodo fermentativo (0 a 40 días) de los ensilados se muestra en el Cuadro 25 y en la Figura 19, las ecuaciones de regresión aparecen en el Cuadro 26. En los ensilados de *L. rotundiflorus* se observó una disminución significativa en el contenido de los AT conforme se incrementó el nivel de inclusión del rastrojo de maíz ($P < 0.05$), los promedios de los AT observados fueron de 1.23, 0.97 y 0.45% (de MS) en las relaciones 100:0, 75:25 y 50:50 respectivamente. Los AT en los ensilados de *L.*

rotundiflorus, no se afectaron por el proceso fermentativo en el periodo de estudio ($P > 0.05$).

El perfil de alcaloides de *L. rotundiflorus* ha sido reportado por Ruíz y Sotelo (2001) en el cual la lupanina es el alcaloide mayoritario, seguido de 3- hidroxilupanina y esparteína (11.05, 4.19 y 0.11 mg de alcaloides g^{-1} de MS).

El contenido de alcaloides reportado en ensilados de *L. exaltatus* después de 20 días de fermentación fue de 0.93, 0.59 y 0.15 (% de MS) y en ensilados de *L. albus* de 0.22, 0.11 y 0.07 (% de MS) a 100:0, 75:25 y 50:50 relación forraje lupino:rastrajo de maíz, respectivamente (Herrera *et al.*, 2008). Los alcaloides quinolizidínicos en lupinos silvestres son un factor limitante para su uso en la alimentación animal. Sin embargo la disminución del nivel de alcaloides por dilución y el proceso de ensilaje mejora la posibilidad para usar los lupinos silvestres como forraje para alimentos de rumiantes.

Cuadro 25. Alcaloides Totales en microsilos de *L. rotundiflorus*. Efecto por el nivel de inclusión del rastrojo de maíz y los días de fermentación, (valores en % MS).

Días de Fermentación	Relación L:RM			Media	EEM
	100:0	75:25	50:50		
0	1.27 ^a	0.87 ^a	0.38 ^a	0.84	0.13
3	1.19 ^a	1.05 ^a	0.47 ^a	0.90	0.08
6	1.21 ^a	0.88 ^a	0.43 ^a	0.84	0.08
9	1.31 ^a	1.06 ^a	0.47 ^a	0.95	0.09
12	1.18 ^a	0.96 ^a	0.48 ^a	0.81	0.08
20	1.16 ^a	1.02 ^a	0.48 ^a	0.83	0.09
30	1.28 ^a	0.93 ^a	0.46 ^a	0.81	0.09
40	1.26 ^a	0.92 ^a	0.41 ^a	0.87	0.09
Media	1.23 ^c	0.97 ^b	0.45 ^a	0.86	
EEM	0.02	0.02	0.01	0.031	

Medias con distinta literal en una columna o hilera indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

Cuadro 26. Ecuación de regresión de los Alcaloides Totales (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a una $P < 0.05$.

Relación Lupino: rastrojo de maíz	Ecuación de regresión
100:00	$y = 0.00005x^2 - 0.001x + 1.233; R^2 = 0.015$
75:25	$y = 0.000008x^3 - 0.001x^2 + 0.013x + 0.923; R^2 = 0.052$
50:50	$y = 0.000003x^3 - 0.0004x^2 + 0.0101x + 0.406; R^2 = 0.144$

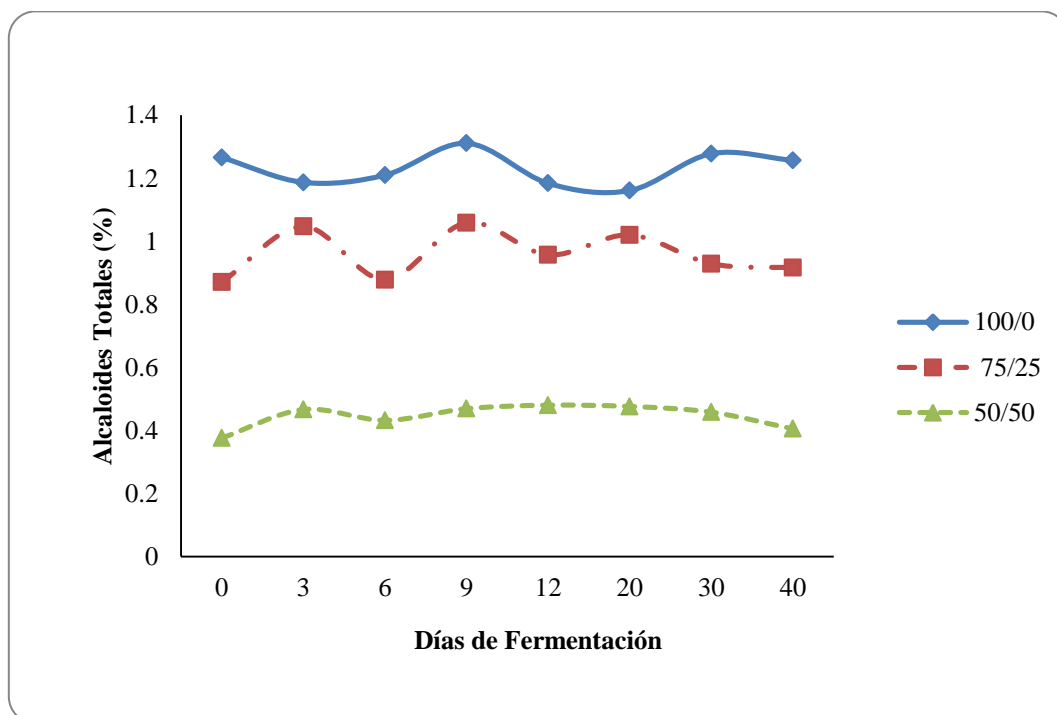


Figura 19. Contenido de alcaloides totales (%) en ensilados de *L. rotundiflorus* en los diferentes tratamientos a través del periodo experimental.

8.5. Caracterización del ensilado utilizado para la alimentación de los borregos

El análisis sensorial del material ensilado de *L. rotundiflorus* elaborado a escala piloto (200 kg), fue similar a lo reportado en los microsilos, lo cual refleja características fermentativas y de conservación del forraje de lupino apropiadas.

El análisis químico proximal y las fracciones de fibra (FDN y FDA) del ensilado, que fue incluido en la dieta de los borregos en la prueba de comportamiento, se presenta en el Cuadro 27.

Cuadro 27. Composición química del ensilado de *Lupinus rotundiflorus* a escala piloto.

Análisis proximal	(%)
Materia seca	38.48±1.48
Proteína cruda	12.50±0.08
Grasa cruda	1.88±0.03
Cenizas	6.81±0.64
FDN	40.02±4.19
FDA	34.13±3.2
Alcaloides totales	0.95±0.02

Los valores están expresados como media \pm desviación estándar (n=3).

Al contrastar los resultados del análisis químico de los silos a escala piloto con los de los microsilos, se encontró que los niveles de materia seca, proteína cruda y grasa cruda fueron mayores, los valores de cenizas, FDN y FDA fueron menores, y el nivel de alcaloides totales resulto similar a los que se encontraron en los microsilos. La variabilidad de los resultados en el análisis químico de los ensilados, probablemente se debió al periodo de cosecha (marzo de 2007 y marzo de 2008) y estado fenológico de la planta.

8.6. Prueba de comportamiento en ovinos

8.6.1 Consumo de alimento por día (kg/animal/día)

La cantidad del alimento consumido al día por los ovinos en seis semanas de experimentación se reporta en el Cuadro 28 y la Figura 20. El consumo de alimento de los borregos no presentó cambio significativo por el nivel de inclusión del ensilado a la dieta, ni por tiempo (semana experimental), ($P>0.05$). EL consumo de la dieta control (T 0%) por los borregos oscilo entre 1.201 y 1.426 kg/animal/día. Los que consumieron la dieta con la inclusión del 15% de ensilado (T 15%) fue de 1.163 a 1.320 (kg/animal/día) y los que se alimentaron con la dieta con la inclusión del 30% de ensilado a la dieta (T 30%) el rango resultó de 1.190 a 1.426 kg/animal/día.

Cuadro 28. Consumo de Alimento por día (kg/animal/día)

Periodo (semanas)	Nivel de inclusión del ensilado en dieta (%)			Media	EEM
	0	15	30		
1	1.316 ^a	1.245 ^a	1.253 ^a	1.271	0.048
2	1.294 ^a	1.216 ^a	1.190 ^a	1.234	0.047
3	1.225 ^a	1.163 ^a	1.243 ^a	1.211	0.042
4	1.201 ^a	1.183 ^a	1.231 ^a	1.205	0.037
5	1.427 ^a	1.178 ^a	1.372 ^a	1.326	0.037
6	1.390 ^a	1.320 ^a	1.426 ^a	1.378	0.050
7	1.426 ^a	1.310 ^a	1.397 ^a	1.376	0.049
Media	1.325	1.231	1.302	1.286	
EEM	0.032	0.025	0.035	0.108	

Medias con distinta literal en una columna indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

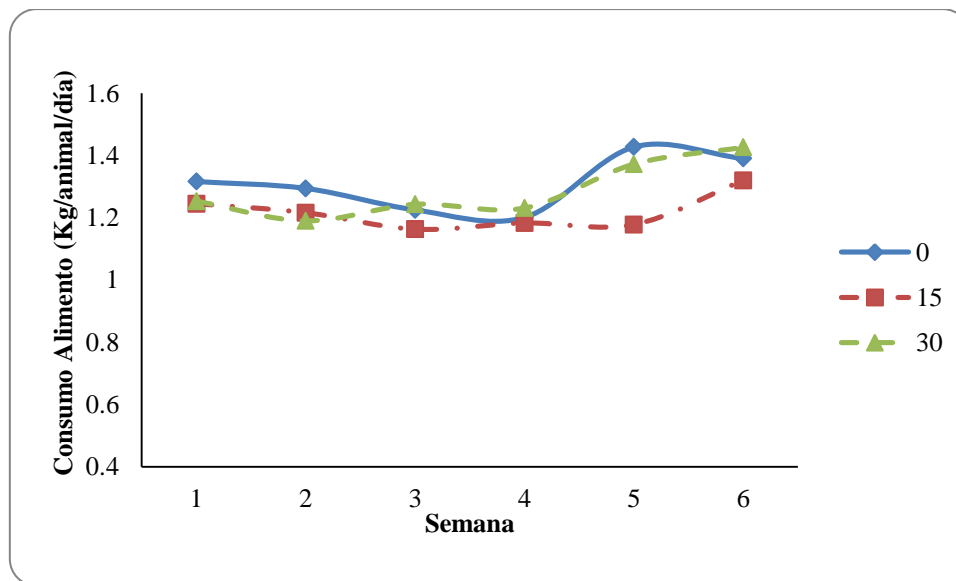


Figura 20. Consumo de Alimento (kg/animal/día) de los borregos alimentados con dieta control (0%) y dietas con la inclusión del 15 y 30% de ensilado de *L. rotundiflorus* a través del periodo experimental.

8.6.2 Peso corporal de los ovinos (kg/animal)

El efecto en el peso vivo de los ovinos por el nivel de inclusión del ensilado de *L. rotundiflorus* a la dieta se muestran en el Cuadro 29 y la Figura 21. El peso corporal de los ovinos no se vio afectado por el consumo de las dietas, no obstante, todos los borregos aumentaron el peso corporal conforme transcurrió el periodo experimental ($P < 0.05$). El peso corporal promedio de los borregos al inicio del periodo experimental

fue de 23.433 kg/animal y al final del periodo experimental (6 semanas después) fue de 31.577 kg para los que consumieron la dieta control (0% de inclusión), de 30.235 kg para el grupo que consumió la dieta del 15% de ensilado y para el grupo de borregos que consumió la dieta con el 30% de inclusión del ensilado fue de 30.247 kg.

Cuadro 29. Peso corporal de los borregos (kg/animal)

Periodo (semanas)	Nivel de inclusión del ensilado en dieta (%)			Media	EEM
	0	15	30		
0	23.417 ^a	23.217 ^a	23.667 ^a	23.43 ^a	1.006
1	26.317 ^a	25.417 ^a	25.217 ^a	25.65 ^a	0.997
2	28.175 ^a	27.000 ^a	26.916 ^a	27.36 ^{ab}	1.007
3	29.983 ^a	28.733 ^a	28.533 ^a	29.08 ^{abc}	1.051
4	31.616 ^a	30.033 ^a	30.016 ^a	30.56 ^{bcd}	1.094
5	33.116 ^a	31.383 ^a	31.850 ^a	32.12 ^{cde}	1.151
6	34.883 ^a	33.383 ^a	33.400 ^a	33.89 ^{de}	1.135
7	36.950 ^a	35.700 ^a	35.800 ^a	36.15 ^e	1.088
Media	31.577 ^a	30.235 ^a	30.247 ^a	30.69	
EEM	0.923	0.756	0.898	0.50	

Medias con distinta literal en una columna o hilera indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

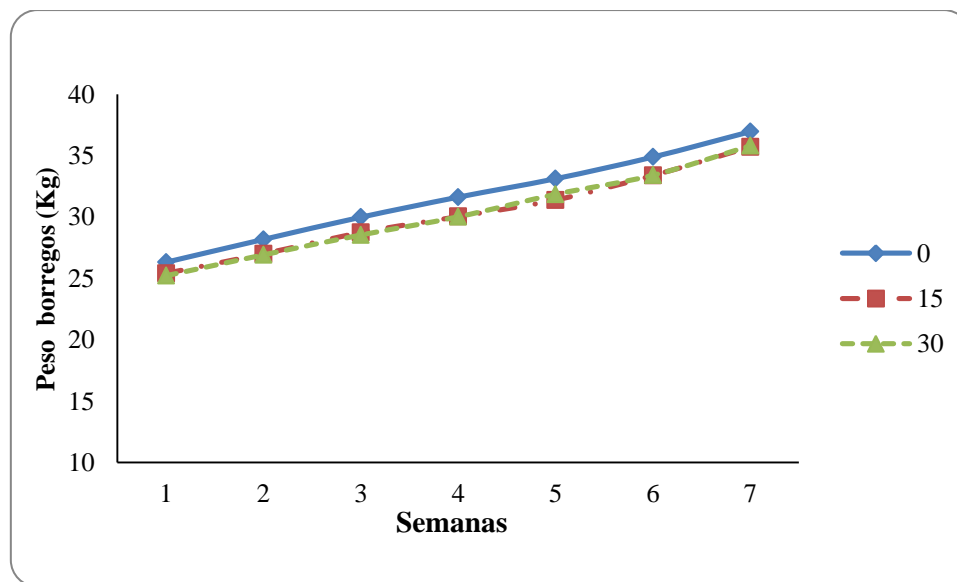


Figura 21. Peso corporal de los borregos (kg/animal) alimentados con dieta control (0%) y dietas con la inclusión del 15 y 30% de ensilado de *L. rotundiflorus* a través del periodo experimental.

8.6.3 Ganancia de peso

En el Cuadro 30 y la Figura 22, se muestra el peso corporal de los borregos por día. El efecto en la ganancia de peso en los ovinos, no se vio afectado por el nivel de inclusión del ensilado en las dietas experimentales ($P>0.05$). Por otra parte, conforme transcurrió el tiempo experimental, la ganancia de peso promedio fluctuó para el grupo de 0% de inclusión de 214.28 a 414.29 g/animal/día, para el grupo de 15% el rango fue de 185.71 a 331.0 g/animal/día y para el grupo de 30% de 211.90 a 342.86 g/animal/día. La mejor ganancia de peso promedio fue para el grupo de borregos que consumió la dieta control (276.19 g/animal/día) seguido del grupo que consumió la dieta de 15% y 30% con valores de 254.76 y 251.02 g/animal/día respectivamente, no obstante, estas diferencias no fueron significativas ($P>0.05$).

Cuadro 30. Efecto de la suplementación de la dieta con el ensilaje de *L. rotundiflorus* sobre la ganancia de peso en ovinos para carne (g/animal/día)

Periodo (semanas)	Nivel de inclusión del ensilado en dieta (%)			Media	EEM
	0	15	30		
1	414.29 ^b	314.29 ^{ab}	245.24 ^a	324.60 ^b	24.711
2	265.48 ^a	226.19 ^a	242.86 ^a	244.84 ^{ab}	20.771
3	258.33 ^a	247.62 ^a	230.95 ^a	245.63 ^{ab}	26.089
4	233.33 ^a	185.71 ^a	211.90 ^a	210.32 ^a	16.848
5	214.28 ^a	192.86 ^a	261.90 ^a	223.02 ^a	17.329
6	252.38 ^a	285.71 ^a	221.43 ^a	253.17 ^{ab}	14.369
7	295.24 ^a	331.00 ^a	342.86 ^a	323.02 ^b	20.761
Media	276.19 ^a	254.76 ^a	251.02 ^a	260.66	
EEM	16.175	13.657	14.010	8.452	

Medias con distinta literal en una columna o hilera indican diferencias significativas ($P\leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

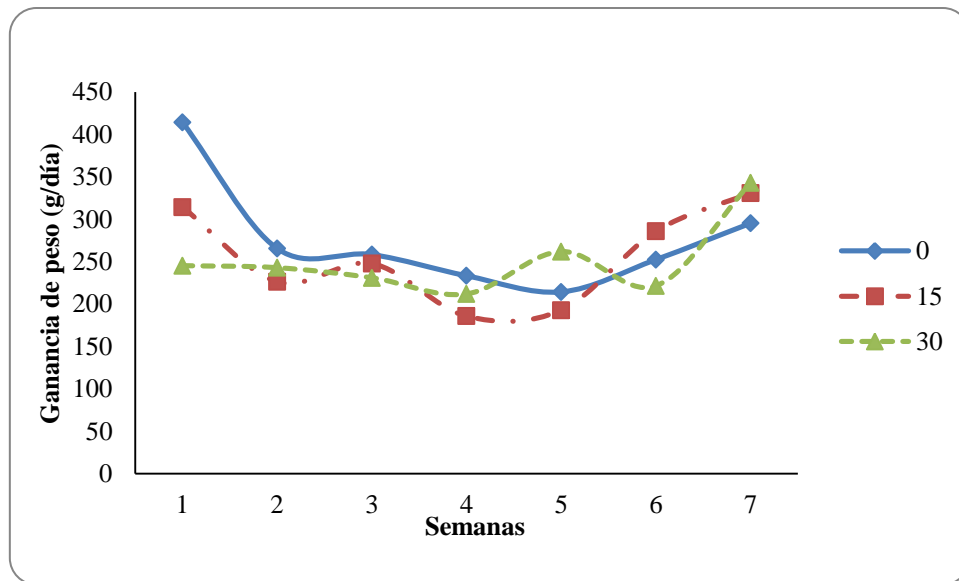


Figura 22. Ganancia de peso corporal (g/animal/día) de los borregos alimentados con dieta control (0%) y dietas con la inclusión del 15 y 30% de ensilado de *L. rotundiflorus* a través del periodo experimental.

8.6.4 Conversión alimenticia

La conversión alimenticia (consumo de alimento/ ganancia de peso) observada en los borregos durante el periodo experimental se presenta en el Cuadro 31 y la Figura 23. La conversión alimenticia promedio en los borregos no presentó cambio significativo por el nivel de inclusión del ensilado a la dieta, ni por tiempo transcurrido (semana experimental), ($P > 0.05$). La conversión alimenticia por periodo resultó diferente en la primera semana en la que el mejor nivel fue para el grupo control, seguido del grupo 15 y 30% con valores de 3.28, 4.21 y 5.43 respectivamente ($P < 0.05$). La conversión alimenticia en los borregos que consumieron la dieta control durante el periodo experimental osciló entre 3.28 y 7.96 con una media de 5.76, los de la dieta con inclusión del 15% del ensilado fue de 4.02 a 7.22 con una media de 5.42 y el grupo de borregos que consumieron la dieta con la inclusión del 30% de ensilado el rango fue de 4.30 a 6.71 con una media de 5.83, resultados sin diferencia significativa ($P > 0.05$).

Cuadro 31. Conversión Alimenticia (Consumo de alimento/ ganancia de peso).

Periodo (semanas)	Nivel de inclusión del ensilado en dieta (%)			Media	EEM
	0	15	30		
1	3.282 ^a	4.208 ^{ab}	5.427 ^b	4.301 ^a	0.345
2	5.662 ^a	5.718 ^a	5.938 ^a	5.773 ^a	0.588
3	6.247 ^a	5.255 ^a	7.092 ^a	6.198 ^a	0.881
4	5.728 ^a	7.217 ^a	6.168 ^a	6.371 ^a	0.573
5	7.962 ^a	6.783 ^a	5.398 ^a	6.714 ^a	0.696
6	5.988 ^a	4.743 ^a	6.458 ^a	5.730 ^a	0.356
7	5.413 ^a	4.022 ^a	4.295 ^a	4.577 ^a	0.345
Media	5.755 ^a	5.421 ^a	5.825 ^a	5.667	
EEM	0.459	0.335	0.367		

Medias con distinta literal en una columna o hilera indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$). EEM: error estándar de la media.

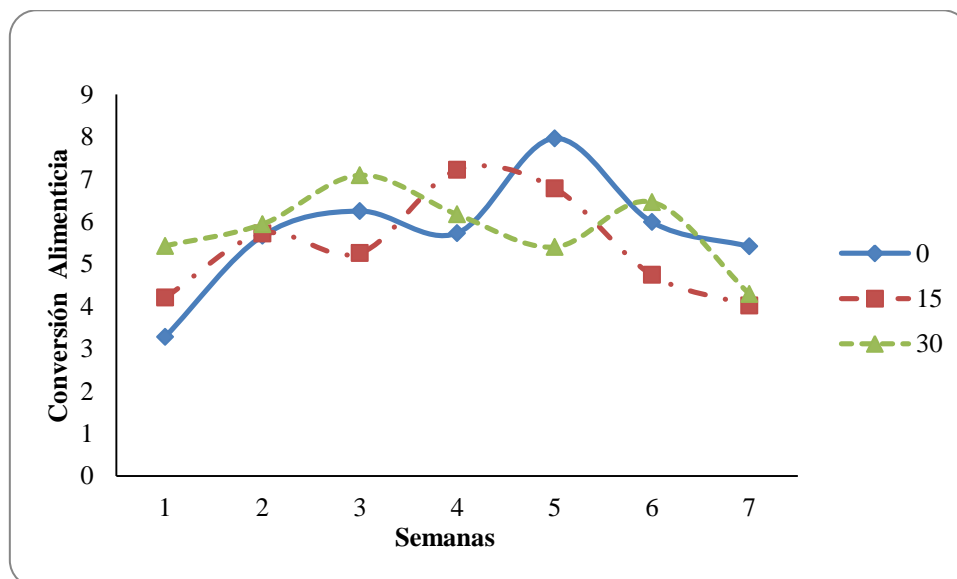


Figura 23. Conversión alimenticia de los borregos alimentados con dieta control (0%) y dietas con la inclusión del 15 y 30% de ensilado de *L. rotundiflorus* a través del periodo experimental.

El desempeño productivo de los borregos alimentados con las raciones estudiadas se muestra en el Cuadro 32.

Cuadro 32. Efecto en los resultados productivos por la inclusión del ensilado de *Lupinus rotundiflorus* en la dieta de borregos.

Variable	Nivel del ensilado de <i>L. rotundiflorus</i> en dieta (%)		
	0	15	30
Peso inicial (kg)	26.32 ± 5.26	25.42 ± 3.57	25.22 ± 4.42
Peso final (kg)	36.95 ± 5.12	35.70 ± 3.98	35.80 ± 5.42
Ganancia diaria de peso (g)	276 ± 104	255 ± 88	251 ± 90
Consumo diario de ensilado (g)	0	184.7 ± 24.4	390.6 ± 69.0
Consumo diario total (g)	1,325 ± 206	1,231 ± 163	1,302 ± 230
Consumo como % del peso vivo	4.20 ± 0.92	4.07 ± 0.85	4.30 ± 0.53
Conversión alimenticia	5.76 :1	5.42 :1	5.83 :1

Los valores, están expresados como medias ± desviación estándar (n=3).

La respuesta en el peso vivo final, el consumo de alimento, la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia, fue similar en los borregos alimentados con todas las raciones ($P > 0.05$). Los resultados obtenidos sugieren que el ensilaje de *L. rotundiflorus* puede incluirse en proporciones del 15 y 30% en las raciones de finalización sin afectar significativamente los parámetros productivos antes mencionados.

En relación a los resultados logrados en los borregos alimentados con las dietas experimentales (control y con la inclusión del 15 y 30% del ensilados de *L. rotundiflorus*) en este trabajo, Speijers *et al.* (2005) reportaron niveles de consumo voluntario mayores en corderos de finalización, cuando se ofreció *ad libitum* los ensilados de alfalfa (*Medicago sativa*), trébol rojo (*Trifolium Pratense*) y ryegrass (*Lolium multiflorum*) en fresco. Un mayor consumo voluntario reporta Phillips *et al.* (2002), (1,706 g/día) cuando los corderos consumieron heno de alfalfa como fuente de forraje, sin embargo cabe señalar que los corderos iniciaron el experimento con mayor peso corporal (etapa de finalización) por lo que a esta condición se le puede atribuir dicho aumento. Consumo similar a nuestro trabajo reportó Palma (2006) en borregos pelibuey al incluir el 10% de heno de *Leucaena leucocephala* en la ración a base de pulido de arroz y pollinaza (1,263 g/día), sin embargo el consumo voluntario resultó menor con la inclusión del 20% (1,150 g/día). Por su parte Verdoljak y Zárate (2008) adicionaron forraje de leguminosas, en sustitución del 25% de la MS total del salvado

de trigo, en la dieta de corderas de pelo y encontraron consumos voluntarios iguales en forraje de *Clitoria* y alfalfa (1,200 y 1,300 g/día) y consumos mayores que en nuestro trabajo en *Desmanthus* y *Leucaena* (1,500 y 1,700 g/día) respectivamente.

La ganancia diaria de peso (g) lograda en los borregos alimentados con las raciones testigo y dos experimentales fueron mayores a los reportados en ensilajes, forrajes y henos de leguminosas. Speijers *et al.* (2005) en los corderos de finalización alimentados con ensilaje de alfalfa, trébol rojo y ryegrass reportaron consumo de 45, 114 y 74 g/día, respectivamente. La ganancia de peso en los corderos obtenida por Phillips *et al.* (2002) fue de 200 g/día, cuando adicionó heno de alfalfa al 4.9% en la dieta. Palma, (2006) encontró ganancias de peso de 151 a 159 g/día al incluir heno de *Leucaena leucocephala* (10 y 20%) a la dieta de borregos.

La conversión alimenticia obtenida en los borregos en estudio fueron menores (mejor eficiencia del alimento) a las de los corderos alimentados con ensilajes, forrajes y henos de otras leguminosas. Speijers *et al.* (2005) en ensilaje de trébol rojo, ryegrass y alfalfa (*Medicago*) obtuvieron conversiones alimenticias de 8.0:1, 10.6:1 y 16.2:1, respectivamente. Phillips *et al.* (2002) reportan conversión alimenticia de 9.17:1 en corderos alimentados con dieta que incluye el 4.9% de heno de alfalfa. Palma, (2006) en borregos alimentados con heno de *Leucaena* en 10 y 20% en las raciones, encontró conversiones alimenticias de 7.8:1 y 9.0:1 respectivamente.

8.7. Alcaloides en sangre

Los alcaloides en sangre analizados por cromatografía de gases (GC) se encontraron en cantidades trazas para los borregos que consumieron las dietas que incluían el ensilado, debido probablemente a) que sea pequeña la cantidad de alcaloides consumida por el animal, b) por que hayan sido fermentadas a nivel ruminal o c) por que el animal los metabolizó. Sin embargo se hace necesario realizar otros estudios de fermentación ruminal y farmacodinamia para rastrear los alcaloides en el organismo. Es importante señalar que los animales no presentaron ningún síntoma de intoxicación aparente y si una afinidad por el consumo del ensilado solo y el incluido en la dieta.

Durante todo el tiempo experimental no se detectaron signos o síntomas aparentes de intoxicación de los corderos a los niveles estudiados de inclusión en las raciones del ensilaje.

López-Ortíz *et al.* (2004) estudiaron el efecto de la condición corporal en la disposición corporal de alcaloides de *Lupinus* en borregos. Se determinó si la suplementación nutricional a corto plazo de ovejas alteró la disposición de los alcaloides dando una sola

dosis oral de semillas molidas de *L. argenteus*. En muestras de sangre de los corderos de 0 a 60 horas se comparó la concentración y se evaluó la absorción de alcaloides y el perfil de eliminación. Los investigadores encontraron que la suplementación a corto plazo no afectó la disposición de los alcaloides. La más alta concentración de alcaloides fue a las 2 h después de la dosificación. Los resultados demostraron que la composición corporal es importante en la disposición de los alcaloides quinolizidínicos de lupinos a corto plazo y que el ganado de buena condición corporal estará en mejores condiciones para hacer frente a la toxicidad de lupinos, sin embargo recomiendan investigaciones adicionales para documentar la toxicocinética de los principales alcaloides de *Lupinus* en especial del alcaloide teratógeno anagirina.

IX. CONCLUSIONES

1. Mediante el proceso de ensilaje se logró conservar apropiadamente el forraje de *L. rotundiflorus*, que se reflejó en las características organolépticas agradables.
2. El forraje de *Lupinus rotundiflorus* y el ensilado proporcionan un adecuado aporte de proteínas, fibra y minerales, el material ensilado presentó una mínima pérdida de nutrientes durante el periodo de fermentación.
3. La fermentación láctica dominó en los ensilados de *Lupinus rotundiflorus* generado un producto conservado de buena calidad fermentativa por el tiempo estudiado.
4. Durante el periodo experimental en los ensilados, la concentración de los alcaloides totales no cambió, sin embargo presentó un efecto de dilución por la combinación del forraje de lupino con el rastrojo de maíz.
5. Los resultados obtenidos en el desempeño productivo de los borregos, sugieren que el ensilado de *L. rotundiflorus* puede incluirse en proporciones del 15 y 30% en las raciones de finalización sin afectar significativamente los parámetros productivos (peso vivo final, el consumo de alimento, la ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia).
6. Durante el tiempo experimental no se detectaron signos o síntomas aparentes de intoxicación de los borregos a los niveles estudiados de inclusión en las raciones del ensilado de *L. rotundiflorus* (15 y 30%).
7. El forraje de *L. rotundiflorus* constituye un recurso alimenticio nativo, de calidad aceptable, que puede ser aprovechado por ovinos.
8. Los lupinos silvestres localizados en el estado de Jalisco constituyen una fuente potencial de forraje de buena calidad, sin embargo se requiere de continuar con estudios en su valor nutritivo, métodos de detoxificación, métodos de conservación y pruebas en animales tanto de producción, así como la observación del efecto de los alcaloides en signos fisiológicos aparentes.

IX. LITERATURA CITADA

- Acuña, R.O. y Meza, C.M. 2010. Espejos de la Crisis Económica Mundial. La crisis alimentaria y las alternativas de los productores de granos básicos en México. *Argumentos*, 23 (63): 189-209.
- ADAS, 2001. Agronomic practicality, economic viability and nutritional value of home-grown soya, lupins and naked oats. Final Report to the Milk Development Council (Project No. 99/T2/31), MDC, UK..
- Alcántara, S.E, Ochoa, E.S, Aguilera, B.A, Pérez, G.R.F.1986. Ensilado de Huizache (*Acacia farnesiana*, L. Willd) como recurso potencial en la alimentación de cabras. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 36(1)::135-151.
- AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemists International (Official Methods of Analysis. 17th ed. Maryland, USA.
- Amaral, F.J. do, and Pinto da Silva, A.R. 1978. *Lupinus L.* In V. H. Heywood [ed.]. *Flora Europea*, 2: 105–106. Cambridge University Press, London.
- Ashwood, A., Kerr, D., Chataway, R. and Cowan, T. 1993. Northern dairy feedbase 2001. 5. Integrated dairy farming systems for northern Australia. *Tropical Grasslands*, 27: 212-228.
- Barnett, C.W. and Batterham, E.S. 1981. *Lupinus angustifolius* (cv. Unicrop) as a protein and energy source for weaner pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 6: 27-34.
- Bermúdez, T.K., Robledo, Q.N., Martínez, H.J., Andreas, J. and Wink, M. 2000. Biodiversity of the genus *Lupinus* in México. En van Santen E, Wink M, Weissmann S, Römer P (Eds.) *Lupin, an Ancient Crop for the Millennium. Proceeding 9th International Lupin Conference*. Klink/Muritz, 20-24/ 06/1999. International Lupin Association. Canterbury, New Zealand. pp. 294-296.
- Bertoia, L., Frugone, M., Amestoy y Sartón.1993. Ensilaje de maíz. *Criadero Morgan*. pp. 20.
- Blagrove, R.J. and Gillespie, F.M. 1975. Isolation, purification and characterisation of the seed globulins of *Lupinus angustifolius*. *Australian Journal of Plant Physiology*, 2: 13-27.
- Blanco, G.M., Chamorro, D.R., Arreaza, L.C., Rey, A.M. 2005. Evaluación nutricional del ensilaje de *Sambucus peruviana*, *Acacia decurrens* y *Avena sativa*. *Revista Corpoica*, 6(2): 81:85

- Bolsen, K., Brent, B., Uriarte, E. 2001. The silage triangle and important practices often overlooked. California, EE.UU. p. 20-65.
- Boschini, 2003 Boschini, C. 2003a. Características físicas y valor nutritivo del ensilaje de morera (*Morus alba*) mezclado con forraje de maíz. *Agronomía Me soamericana* 14(1):51-57.
- Bruno, O.A., Romero, L.A. y Ustarroz E. 1997. Forrajes conservados. Invernada bovina en zonas mixtas. *Agro 2 de Córdoba*. Capítulo III: 58-92. INTA, Centro Regional Córdoba, EEA Marcos Juárez.
- Bruno-Soares A.M., Falcão e C.L., Merry R. and Davies D. 2005a. Effects of additive application on the fermentation characteristics and protein degradation of *Lupinus albus* silage. *Proceedings of the 11th International Lupin Conference*, 4-9 may. Guadalajara, Jalisco, México.
- Bruno-Soares A.M., Falcão e C.L., Merry R. and Davies D. 2005b. Effect of condensed tannin on the protein fraction of white lupin silage. *Proceedings of the 11th International Lupin Conference*, 4-9 may. Guadalajara, Jalisco, México.
- Burt, E.S. 1981. The potential of *Lupinus angustifolius* cv. Uniharvest, in Canterbury as a summer greenfeed for lambs. MAgSc thesis, Lincoln University, Canterbury, New Zealand.
- Buyze, G., van Den Hamer, J.A. and De Haan, P.G. 1957. Correlation between hexose-monophosphate shunt, glycolitic system and fermentation type in lactobacilli. *Antonie van Leuvenhock*, 23: 345-350.
- Camiruaga, L.M., Claire, M.C., Hirsch, R.P. 2010. Fondo de Desarrollo de la Docencia de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía. Depto. de Zootecnia.
- Cárdenas, J.V., Sandoval, C.A., Solorio, F.J. 2003. Composición química de ensilajes mixtos de gramíneas y especies arbóreas de Yucatán, México. *Técnica Pecuaria en México*, 41(3): 283-294.
- Castillo, J.M., Rojas, B.A, WingChing, J.R. 2009. Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asocio con vigna (*Vigna radiata*). *Agronomía Costarricense*, 33(1): 133-146.
- Clavero, T. y Razz, R. 2008. Dinámica de la fermentación inicial de ensilajes de *Albizia lebeck*. *Revista Facultad de Agronomía*, 25:665-673.
- Colombini, S., Odoardi, M., Paoletti, R., Tabacco, E., Borreani, G. 2007. Effects of wilting and lactic acid bacteria inoculation on fermentation quality of white

- lupin and fababean silages. *Italian Journal of Animal Science*, 6 (Suppl. 1), 286-288.
- Cowan, R.T., Kerr, D.V., and Davison, T.M. 1991. Maize silage for dairy systems in northern Australia. p. 228-235, in: J. Moran (ed) *Maize in Australia - Food, Forage and Grain*. Incitec.
- Cowan, R.T. 1997. Cost effective feeding systems for subtropical dairy farms. p. 13-24, in: *Future Feeding Today*. Australia: Ridley Agriproducts.
- Cowling, W.A., Buirchell, B.J, and Tapia, M.E. 1998. Lupin. (*Lupinus spp*). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 23. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, *Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute*, Rome, Italy.
- Cubillos, A., Gädicke' P., von Baer, D., Ahumada F. 1999. Determinación de la dosis letal media (DL₅₀) de alcaloides del lupino en pollas de reposición blancas y marón. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 31 (2): 249-256.
- Davison, T.M., Orr, W.N. and Clark, R. 1984. Changes in silage use on the Atherton Tablelands, North Queensland. In: *Silage in the Eighties* (Eds. T.J. Kempton, A.G. Kaiser and T. E. Trigg). P G Print, Armidale, pp 392-396.
- De la Roza B. 2005. El ensilado en zonas húmedas y sus indicadores de calidad. IV *Jornadas de Alimentación Animal*. Laboratorio de Mouriscade. Lalín (Pontevedra), p. 1-20.
- Doležal, P., Zeman, L., Skládanka J. 2008. Effect of supplementation of chemical preservative on fermentation process of lupine silage. *Slovak Journal Animal Science*, 41(1): 30 – 38.
- Dunn, D.B. 1984. Genetic resources, cytotaxonomy and distribution of New World. Lupin species. Proceedings of the Third International Lupin Conference International of the Lupin Association. *La Rochelle. France*: 68-85 pp.
- Dunn, D.B. 2001. *Lupinus*. En Calderón G, Rzedowski J (Eds.) *Flora Fanerogámica del Valle de México*. 2ª ed. Instituto de Ecología. Pátzcuaro, México. pp 326-333.
- Ehrlich, W.K., and Casey, N.D. 1998. Effects of planting rate, cutting date and chopping on intake of soybean silage fed to dairy cows. *Animal Production Australia*, 22: 378.
- Ehrlich, W., Cowan, T. and Desborough, P. 1999. Summer feed production systems using crop legumes to complement tropical grass pasture. Final report, project

- DAQ 110, *Dairy Research and Development Corporation*, Melbourne, Australia. 43 p.
- ENTEC, 1997. Home Grown Protein Sources for Animal Feeds. ENTEC, Leamington Spa, UK.
- Foy, C.D. 1992. Soil chemical factors limiting plant root growth. *Advances in Soil Science*, 19:97-149.
- Fraser, M.D., Fychan, R. and Jones, R. 2005a. The effect of harvest date and inoculation on the yield and fermentation characteristics of two varieties of white lupin (*Lupinus albus*) when ensiled as a whole-crop. *Animal Feed Science and Technology*, 119, 307–322.
- Fraser, M.D., Fychan, R. and Jones, R. 2005b. Comparative yield and chemical composition of two varieties of narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius*) when harvested as whole-crop, moist grain and dry grain. *Animal Feed Science and Technology*, 120: 43–50.
- Fuentes, J., Magaña, C., Suárez, L., Peña R, Rodríguez S., Ortiz, B de la R. 2001. Análisis químico y digestibilidad “*in vitro*” de rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) *Agronomía Mesoamericana*, 12(2): 189-192
- Fukamachi, K. 1986. Usage of lupin as feed ingredient for cattle in Japan. Proceedings of 4th Conference International of lupins. Geraldton, Western Australia, 1986.
- Garcés, M.A.L, Berrio, R.L, Ruiz, A.S., Serna de León, J.G. Builes AAF. 2004. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1): 66-71.
- García, L.P.M., Muzquiz, M., Ruíz L.M.A., Zamora N.J.F., Burbano C., Pedrosa M.M., Cuadrado C., Garzón M.P. 2001. Chemical Composition and Fatty Acid Profile of Several Mexican Wild Lupins. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14(6): 645-651.
- Gardner, D.R. and Panter, K.E. 1994. Ammodendrine and related piperidine alkaloid levels in the blood plasma of cattle, sheep and goats fed *Lupinus formosus*. *Journal of Natural Toxins*, 3:107-116.
- Gepts, P., Beavis, W.D., Brummer, E.C., Shoemaker R.C., Stalker H.T., Weeden, N.F. and Young, N.D. 2005. Legumes as a model plant family. Genomics for food and feed report of the cross-legume advances through genomics conference. *Plant Physiology*, 137: 1228–1235.

- Gibbs, P.A., 1987. Novel uses for lactic acid fermentation in food preservation. *J. Appl. Bacteriol. Symp. Supp.*, 51S–58S.
- Giraldo, G., Ángel, P.G., Burgos, C. 2004. Ensilaje de Forrajas en Bolsas Plásticas “Una alternativa para los pequeños ganaderos de conservar forrajes en la época seca”. *FAO. Tecnologías para la Agricultura, CIAT*.
- Gladstones, S.J. 1974. The Mediterranean white lupin. Department of Agriculture, Western Australia. *Thechology Bull*, 26:70-74.
- Godfrey, S.I., Rowe, J.B., Speijers, E.J. and Toon, W. 1993. Lupins, barley, or barley plus virginiamycin as supplements for sheep at different feeding intervals. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 33: 135- 140.
- Golovchenko, O.V. 2003. Lupin: An ecologically clean mediterranean crop. *Natura Montenegrina, Podgorica*, 7(2): 423-427.
- Gouveia, A., Teles, O.A, Gomes, E. and Rema, P. 1993. Effect of cooking-expansion of three legume seeds on growth and food utilization by rainbow trout. *Fish Nutrition in Practice*, 61: 933- 938.
- Gross, F. 1987. Conservación de forrajes para ensilados. Seminario para Técnicos Agropecuarios. D.A.T. “*La Serenísima*”. p. 61.
- Haq, N. 1993. Lupins (*Lupinus* species) In: underutilized crops. Pulses and vegetables edited by Williams, J.T. Published by Champan & Hall, London, U.K.
- Harborne, J.B. 2001. Introduction to Ecological Biochemistry, 4th ed. Academic Press. San Diego.
- Herrera, V.J.M., Isaac, V.M.L., Rodríguez, M.R., Zamora, N.J.F., Ruíz, L.M.A., y García L P.M. 2008. Chemical composition and alkaloids content of Silages of *Lupinus exaltatus* and *Lupinus albus* cultivated in Jalisco, Mexico. *Proceedings of the 12th International Lupin Conference*, 14-18 sept. Australia.
- Herrera, V.J.M., Isaac, V.M.L., Rodríguez, M.R., Zamora, N.J.F., Ruíz, L.M.A., y García L P.M. 2010. Conservación del Forraje de *Lupinus rotundiflorus* M. E. Jones Y *Lupinus exaltatus* Zucc. Mediante Ensilaje. *Interciencia*, 35(8):592-599.
- Hill, G. D. 1977. The composition and nutritive value of lupin seed. *Nutrition Abstracts and Reviews B*, 47: 511–529.
- Holland, C. and Kezar, W. 1995. The Pioneer forage manual. A nutritional guide. Pioneer Hi bred International, Inc, Des Moines, Iowa, USA. 55 p.
- Hondelmann, W. 1984. The lupin: Ancient and modern crop plant. *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 68:1–9.

- INEGI. 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Iza, G.A. 1992. Empaquetado de rollos. Henolaje. Manual práctico para la realización de henolaje empaquetado. Apuntes. Santa Fe. Argentina. 36 pp.
- Johnsson, I.D., Obst, J.M. and Davies, R. 1982. Observations on the use of lupin feeding or exogenous hormones to improve the reproductive performance of stud and commercial ewes in the south-east of South Australia. *Wool Technology and Sheep Breeding* March/April, 23-30.
- Kaiser, A.G., and Evans, M.J. 1997. Forage conservation on Australian dairy farms. Animal Industries report 3, NSW Agric. 18 p.
- Kaldmäe, H., Vadi, M., Kirsell R and Olt, A. 2003 Effect of growth stage of legumes on silage digestibility. *ir Zootechnika T. 22(44): 49-52.*
- Keeler, R. F. 1976. Lupine alkaloids from teratogenic and nonteratogenic lupins. III. Identification of anagyrene as the probable teratogen by feeding trials. *Journal of Veterinarija Toxicology Environmental Health* 1:887– 889.
- Kenney PA & Smith RS. 1985. Effects of including lupins with cereal grain rations on the production of lambing ewes during drought. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 25, 529: 535.
- Kenney, P.A. 1995. Lupin grain as sheep feed, Victoria Agriculture. Agric Notes.
- King, R.H. 1990. Lupins. In *Nontraditional Feed Sources for Use in Swine Production*, pp. 237-246 (PA Thacker and RN Kirkwood, editors). Boston, MA: Butterworth Publishers
- Kingsbury, J.M. 1964. *Poisonous plants of the United States and Canada*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J., USA. 626 pp.
- Kinghorn, D.A., Selim, M.A. y Smolenski, S.J. 1980. Alkaloid distribution in some new World *Lupinus* species. *Phytochemistry*, 19:1705-1710.
- Kunkle W.E., Chambliss, C.G., Adesogan, A.T. and Adjei, M.B. 1999. Silage Harvesting, Storing, and Feeding. SS-AGR-177. *University of Florida*. IFAS extension.
- Kung, L. and Shaver, R. 2001. Interpretation and Use of Silage Fermentation Analysis Reports. *Focus on Forage*, 3(13).
- Kung, L. Jr., Taylor, C.C., Lynch, M.P. and Neylon, J.M. 2003. The effect of treating alfalfa with *Lactobacillus buchneri* 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value for lactating dairy cows. *Journal Dairy Science*, 86:336-343.

- Leury, B.J, Murray, P.J .and Rowe, J.B. 1990. Effect of nutrition on the response in ovulation rate in merino ewes following short term lupin supplementation and insulin administration. *Australian Journal of Agricultural Research*, 41:751-759.
- Lewis, G., Schrire, B., MacKinder, B. and Lock, M. 2005. Legumes of the World. Royal Botanical Gardens, Kew, UK.
- Ley de Desarrollo Rural Sustentable. 2011. Cámara de Diputados Del H. Congreso de la Unión. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Diario Oficial. Ultima reforma, 28 de enero.
- Lindsay D.R. 1976. The usefulness to the animal producer of research findings in nutrition on reproduction. *Proceedings of the Australian Society of Animal Production*, 11: 217- 224.
- López-Ortíz, S., Panter, K.E., Pfister, J.A. and Launchbaugh, K.L. 2004. The effect of body condition on disposition of alkaloids from silvery lupine (*Lupinus argenteus* Pursh) in sheep. *Journal Anim.al Science*, 82: 2798-2805.
- Lorca, M.L.A. 1983. Trébol rosado y Lupino. *Chile Agrícola*, 8(82):182-183.
- Mannetje, L.'t. 1999a. Estudio 1.0 - Introducción a la Conferencia sobre el Uso del Ensilaje en el Trópico. In: FAO. 2000. Uso del Ensilaje en el Trópico Privilegiando Opciones para Pequeños Campesinos. L. 't Mannetje (ed). *FAO Estudio*. FAO Producción Protección Vegetal, No.161.
- Mannetje, L. 't. 1999b. Estudio 10.0 - Perspectivas para el uso del ensilaje en los trópicos. In: FAO. 2000. Uso del Ensilaje en el Trópico Privilegiando Opciones para Pequeños Campesinos. L. 't Mannetje (ed). *FAO Estudio*. FAO Producción Protección Vegetal, No.161.
- Mariotti, F., Pueyo, M.E., Tomé, D., and Mahé, S. 2002. The bioavailability and postprandial utilisation of sweet lupin (*Lupinus albus*)-flour protein is similar to that of purified soyabean protein in human subjects: a study using intrinsically ¹⁵N-labelled proteins. *British Journal of Nutrition*, 87: 315–323.
- Martínez, F.A., De la Rosa D.B., Fernández, G. 1999. Nuevas técnicas para determinar la calidad de los ensilados. Tecnología Agroalimentaria. Boletín informativo. 1º época. Edición Especial 1999.
- Mathison, M.J. 1983. Mediterranean and temperate forage legumes. In: J.G. McIvor JG, Bray RA, editors. *Genetic resources of forage plants*. CSIRO, Australia. pp. 64-81.

- McDonald, P., Henderson, A.R., Heron, S.J.E. 1991. *The Biochemistry of Silage*, 2nd ed. Chalcombe Publications, Marlow, UK.
- McKenzie, D.B., and Spaner, D. 1999. White lupin as an alternative to pea in oat-legume forage mixtures in Newfoundland. *Canadian Journal of Plant Science*, 79, 43-47.
- Mc Vaugh, R. 1987. *Lupinus*. In: *Flora Novogaliciana. A descriptive account of the vascular plants of Wester México. Vol. V. Leguminosae*. University of Michigan Press. Ann Arbor, Michigan. pp. 580-599.
- MERCK, 1993. *El Manual Merck de Veterinaria*. (4^a ed.), Océano/Centrum, Barcelona.
- Milford, G.F.J. 1994. The use of a land suitability model to predict where autumn-sown, determinate genotypes of the white lupin (*Lupinus albus*) might be grown in England and Wales. In: *Journal of Agricultural Science*, 123(2):199-205.
- Morcombe, P.W., Ryan, W.J. and Allen, J.G. 1986. Sandplain lupins (*Lupinus cosentinii*) as a summer feed for yearling steers. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 26, 13- 18.
- Moss, B.R., Lin, J.C., Reeves, D.W., Kochapakdee, S., Mask, P.L., van Santen, E. 1999. Lupin in ruminant diets. Towards the 21st century. In: *Proceedings of the Eighth International Lupin Conference*, Asilomar, California, USA, May 11–16, 1996. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand, pp. 102–114.
- Muck, R.E. 1988. Factors Influencing Silage Quality and Their Implications for Management. *Journal of Dairy Science*, 71:2992-3002.
- Muck, R.E. 1989. Initial bacterial numbers on Lucerne prior to ensiling. *Grass Forage Science*, 44:19-25.
- Mullan, B.P, van Barneveld, R.J and Cowling WA. 1997. Yellow lupins (*Lupinus luteus*): A new feed grain for the pig industry. In *Manipulating Pig Production VI. Proceedings of the Sixth Biennial Conference of the Australasian Pig Science Association (APSA)*, p. 237 [PD Cranwell, editor]. Canberra: Australasian Pig Science Association.
- Murray, P.J. 1994. The use of lupins as a feed for sheep. In *Proceedings of the First Australian Lupin Technical Symposium*, pp. 67- 73 [M Dracup and J Palta, editors]. South Perth, Western Australia: Department of Agriculture.
- Muzquiz, E.M. 1988. Factores antinutritivos y tóxicos que afectan a la utilización de las semillas del *Lupinus hispanicus* Boiss. et Reut. para uso alimentario. Tesis Doctoral. Universidad Complutense, Madrid España.

- Nadal, M.S., Moreno, Y.M.T. y Cubero, S.J.I. 2004. Las leguminosas de grano en la agricultura moderna. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Neyra, M. 1995. Manual técnico de la fijación simbiótica del nitrógeno. Leguminosa/Rhizobium. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO, Roma.
- Nottle MB, Hynd PI, Setchell BP & Seamark RF. 1985. Lupin feeding and fertility rate in the Merino ewe. *Proceedings of the Australian Society of Reproductive Biology* 17, 23.
- NRC (National Research Council). 2007. Nutrient requirements of small ruminants. (7th Ed.). National Academy Press. Washington. DC, USA.
- Ojeda, F., Cáceres, O. y Esperance, M. 1991. Conservación de Forrajes. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. P. 80.
- Oude, Elferink S.J.W.H., Driehuis, F., Gottschal ,J.C., y Spoelstra, S.F. 2000. Estudio 2. Los procesos de fermentación del ensilaje y su manipulación. In: Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. *Memorias de la Conferencia Electrónica de la FAO sobre el Ensilaje en los Trópicos*. Editado por L't Mannetje. Roma, Italia.
- Palma, J.M. 2006. Los sistemas silvopastoriles en el trópico seco mexicano. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 14(3):95-104.
- Petterson, D.S. 1998. Composition and food uses of Lupinus. Chap. 12 In: Lupin as crop plants. Biology, production an utilization. Edited by Glastones J.S., Atkins, C. and Hamblin, J. CAB International, UK.
- Phillips, W.A., Reuter, R.R., Brown, M.A., Fitch, J.Q., Rao, S.R. and Mayeux, H. 2002. Growth and performance of lambs fed a finishing diet containing either Alfalfa or Kenaf as the roughage source. *Small Ruminant Research*, 46: 75–79.
- Phiri, M.S., Ngongoni, N.T., Maasdorp, B.V., Titterton, M., Mupangwa, J.F y Sebata, A. 2007. Ensiling characteristics and feeding value of silage made from browse tree legume-maize mixtures. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 7(3):149-156.
- Planchuelo-Ravelo A.M. 1984. Taxonomic studies of *Lupinus* in South America, In: *Proceedings of the Third Interational Lupin Conference*. La Rochelle, Francia. Pp. 39-53.

- Planchuelo, A.M. 1994. Wild lupins distribution and its implication as germplasm resources. In: Neves Martins & Beirao da Costa, Adv. Lupin Res, 65-69, ISA, Lisboa.
- Planchuelo, A.M. 1996. Relationship between South American and European species of *Lupinus*. In: Advances in legume systematic 8: Legumes of economic importance, Edited by: Royal Botanic Gardens, Kew. pp. 109-116.
- Rahman, M.S. and Gladstones, J.S. 1987. Differences among *Lupinus* species in field response to superphosphate. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 14:214-223.
- Ramírez, E., Catani, P. y Ruiz, S. 1999. Silaje de Maíz y Sorgo Granífero, Act. Téc. N° 2. *Marca Líquida*, (9):23-28.
- Reaves, P.M. and Henderson, H.O., 1969. Dairy Cattle Feeding and Management, 5th Ed., p. 25. Wiley Eastern Pvt. Ltd., New Delhi.
- Robiana, L., Izquierdo, M.S., Moyano, F.J., Socorro, J., Vergara, J.M., Montero, D. and Fernández, P.H. 1995. Soybean and lupin seed meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*): Nutritional and histological implications. *Aquaculture*, 130: 219-233.
- Romero, O., Hazard, S., Márquez, M.G., Hiriart, M. 1993. Evaluation of two lupin species *Lupinus albus* and *Lupinus mutabilis* as fodder crops under dryland conditions. *Agricultura Técnica (Chile)*, 53(4): 303-309.
- Romero, L.A. 2004. Ensilaje de leguminosas: Con énfasis en alfalfa y soja. Presentación en Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA, Rivadavia 1439 (1033) Buenos Aires, Argentina.
- Ruiz, L.M.A., García, L.P.M., Castañeda, V.H., Zamora, N.J.F., Garzón-De la M.P. y Bañuelos, P.J., Burbano, C., Pedrosa, M. M., Cuadrado, C. and Muzquiz, M. 2000. Chemical composition and antinutrient content of three *Lupinus* species from Jalisco, México. *Journal of Food Composition and Analysis*, 13(3):193-199.
- Ruíz, L.M.A and Sotelo, A. 2001. Chemical Composition, Nutritive Value, and Toxicology Evaluation of Mexican Wild Lupins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (11): 5336-5339.
- Ruíz, L.M.A., Rodríguez, M.R. y Navarro, P.S. 2006. Evaluación químico-nutricional de *Lupinus exaltatus* Zucc. del nevado de Colima, México, como fuente potencial de forraje. *Interciencia*, 31(10): 758-761.

- Sánchez, M.L. 2005. Estrategias modernas para la conservación de forrajes en sistemas de producción bovina tropical. *Revista Corpoica*, 6 (2): 69-80.
- SDR. Secretaría de Desarrollo Rural. 2007. Manual para la elaboración de ensilaje y construcción de silos. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. Puebla, Puebla, México.
- SIAP. SAGARPA. 2010. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Sigma Chemical Company. 1990. Lactate Procedure No. 826-UV. Sigma Diagnostics, St. Louis, MO.
- Snyman, L.D., Calitz, I. and Ross, A.G. 1987. Ensiling characteristics and Feeding value of silage made from cattle waste and maize residues. *South African Journal of Animal Science*, 17:49-53.
- Speijers, M.H.M., Fraser, M.D., Theobald, V.J. and Haresign, W. 2005. Effects of ensiled forage legumes on performance of store finishing lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 120(3-4): 203–216.
- Stefanie, J., Elfering, O., Driehuis, F., Gottschal., Spoelstra, S. 1999. Silage Fermentation processes and their manipulation. *Institute for Animal Science and Helath*. Lelystad. The Netherlands. p.16.
- Stockdale, C.R. and Beavis, G.W. 1988. Maize silage as a supplement for dairy cows offered pasture of high or low quality. *Animal Production in Australia*, 17: 472.
- Strzetelski, J., Krawczyk, K., Kowalczyk, J., Osieglowski, S., Pustkowiak, H. 2001. Milk yield and composition in cows fed rations with different energy and protein sources. *Journal Animal Feed Science*, 10: 569–588.
- Tobía, C., Uribe, L., Villalobos, E., Soto, H. y Ferris, I. 2003. Aislamiento, selección y caracterización de bacterias ácido lácticas en ensilajes de soya (*Glycine max* L. Merr.). *Agronomía Costarricense*, 27: 21-27.
- Tobía, C., Villalobos, E., Rojas, A., Soto, H., and Moore, K.J. 2008. Nutritional value of soybean (*Glycine max* L. Merr.) silage fermented with molasses and inoculated with *Lactobacillus brevis* 3. *Livestock Research for Rural Development* Volume 20, Article No.106.
- Turner, B. 1995. A new species of lupinus “fabaceae” from Oaxaca, Mexico: A shrub or tree mostly to eight meters high”. *Phytologia*, 79: 102-107.
- Umaña, R., Staples, C., Bates, D., Wilcox, C. and Mahanna, W. 1991. Effects of a microbial inoculants and (or) sugarcane molasses on fermentation, aerobic

- stability and digestibility of Bermuda grass ensiled at two moisture contents. *Journal of Animal Science*, 69(11):4588-4601.
- URL: <http://faostat.fao.org/> (mayo 09 2011)
- Vallejo, M.A. 1995. Efecto del premarchitado y la adición de melaza sobre la calidad del ensilaje de diferentes follajes de árboles y arbustos tropicales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE.
- Van Barneveld, R.J. 1999. Understanding the nutritional chemistry of lupin (*Lupinus* spp.) seed to improve livestock production efficiency. *Nutrition Research Reviews*, 12: 230 -203.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science* 74, 3583–3597.
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant, 2nd ed. Cornell son, WI. University Press, Ithaca, NY.
- Vasiljević S, Milić D, Mikić A 2009. Chemical attributes and quality improvement of forage legumes. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 25(5-6): 493-504.
- Verdoljak, J.J.O. y Zárate, F.P. 2008. Uso de Leguminosas Tropicales en la Alimentación de Ovinos de Pelo. Posgrado – UAM Agronomía y Ciencias Universidad Autónoma de Tamaulipas. Universidad Autónoma de Tamaulipas Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias. pp. 16.
- Vicente, F., Scollo, D., Mora, V., Giraud, M., Ramírez, E., Rechimont, R. 2008. Estudio de la aplicación de inoculantes para el ensilado de forrajes II. Efecto de la adición de un coadyuvante. *Rev. FAVE- Ciencias Agrarias*, 7(1-2): 67-73.
- Voss, N. 1966. Über die Amin- und Ammoniakbildung im Garfutter. *Das wirtschaftseigene Futter*, 12: 161-171.
- Wilkins, R.J. and R. Jones. 2000. Alternative protein sources for ruminants in the United Kingdom. *Animal Feed Science and Technology*, 85: 23-32.
- Wilkinson, J.M., Wadephul, F., & Hill, J. 1996. *Silage in Europe: a survey of 33 countries*. Welton, UK: Chalcombe Publications.
- Williams, W. 1986. Current status of the crop lupins, p. 1-13. In: *Proceedings Fourth International Lupin Conference*. Aug. 15-22, 1986. Geraldton, W. Australia. Int. Lupin Assoc.

- Williams, W. and Harrison, J.E.M. 1983. Alkaloid concentration during development in three *Lupinus* species and the expression of genes for alkaloid biosynthesis in seedlings. *Phytochemistry*, 22:85-90.
- WingChing, J.R. y Rojas-Bourrillon, A. 2006. Composición nutricional y parámetros fermentativos del ensilaje de maní forrajero (CIAT 17434 y CIAT 18744). *Agronomía Costarricense* 30(1): 87-100.
- Wink, M. and Hartmann, T. 1981. Sites of enzymatic synthesis of quinolizidine alkaloids and their accumulation in *Lupinus polyphyllus*. *Z. Pflanzensphysiol. Bd.102*:337-344.
- Wink, M. 1984. Turnover and transport of quinolizidine alkaloids: Diurnal variation of lupanine in the phloem sap. Leaves and fruits of *Lupinus albus* L. *Planta*, 161:519-524.
- Wink, M. 1993. Quinolizidine alkaloids. In: *Methods in Plant Biochemistry*. Vol. 8. Waterman, P.G. (ed.) Academic Press, New York, pp. 197-239.
- Wink, M. 1994. Importance of the polymerase chain reaction (PCR) for plant science. *Bioforum Extra*, 5-11.
- Wink, M., Meißner, C y Witte, L. 1995. Patterns of quinolizidine alkaloids in 56 species of the genus *Lupinus*. *Phytochemistry*, 38(1): 139-153.
- Wink, M. 1998a. Short history of alkaloids. In "Alkaloids: Biochemistry, ecology and medicinal applications; Roberts, M.F. and Wink, M. eds, pp 11-44, Plenum, New York.
- Wink, M. 2003. Alkaloids: Properties and Determination In Trugo, L. and Finglas, P.M., eds. *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*. Academic Press.
- Wysocka, W., Brukwicki, T., Jalszynski, R and Hoffmann, K. 1989. A new and efficient method of extraction of alkaloids from Lupin seed. *Lupin News Letter*, 13: 59-65.
- Wysocka, W. and Przybyl, A. 1994. Alkaloids from *Lupinus albus* L. and *Lupinus angustifolius* L; an efficient method of extraction. *The Science of Legumes*, 1:37-50.
- Yu, P., Leury, B.J., Egan, A.R. 2002. Ruminant behaviour of protein and starch free organic matter of *Lupinus albus* and *Vicia faba* in dairy cows. *Asian-Australasian Journal Animal Science*, 15, 974-981.
- Zamora, N.J.F., Bernal, A.A., Ruíz, L.M.A., Soto, H.M., Escalante, E.A., Vibrans, L.H. 2005. Perfil de Alcaloides de Semillas de *Lupinus exaltatus* Zucc. (Fabaceae) y

la evaluación Antifúngica del extracto Alcaloideo y Lupanina contra Fitopatógenos. *Rev. Mexicana de Fitopatología*, 23(2):124-129.

Zamora, N.F., García, L.P., Ruiz, L.M., Rodríguez, M.R. y Salcedo, P.E. 2009. Composición y concentración de alcaloides en *Lupinus exaltatus* Zucc. durante su crecimiento y desarrollo. *Interciencia*, 34(9):672-676.

XI. ANEXOS

A. CROMATOGRÁMAS AGV'S

Figura 24. Cromatograma de los estándares de ácidos grasos volátiles (Ácido acético, ác. fórmico, ác. piválicos (estándar interno), ác. propiónico, ác. butírico, ác. isovalérico, ác. capróico, ác. isocapóico, ác. valérico, ác. heptanóico.

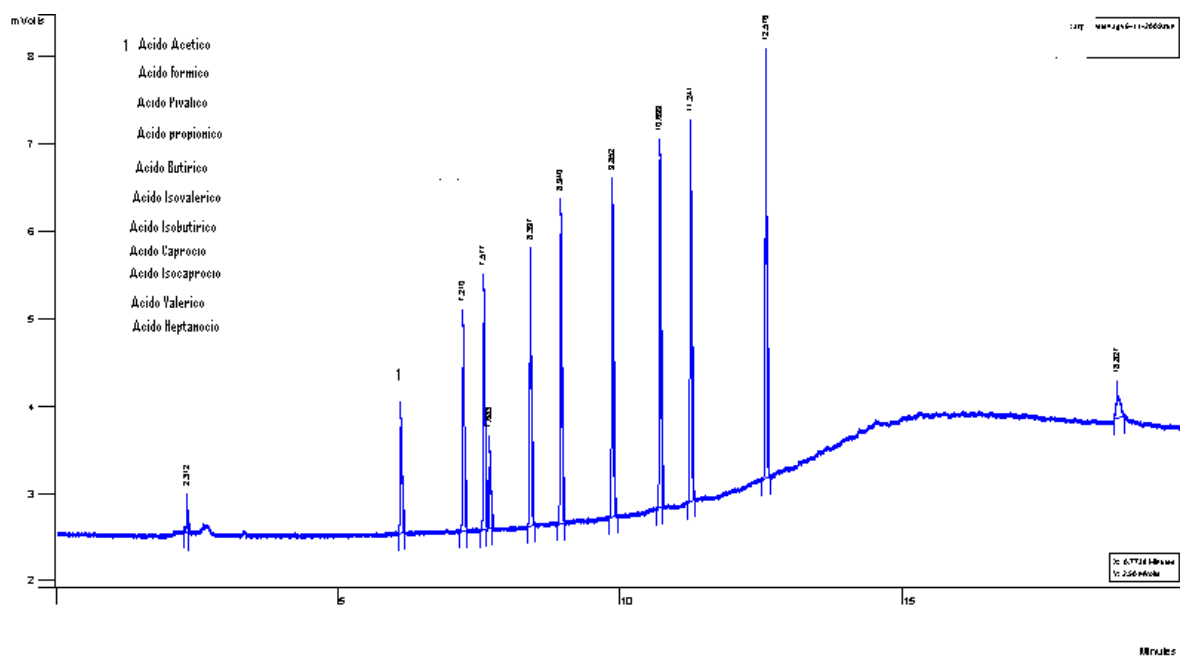


Figura 25. Cromatograma de los Microsilos de *L. rotundiflorus* 100% (ác. acético y estándar interno)

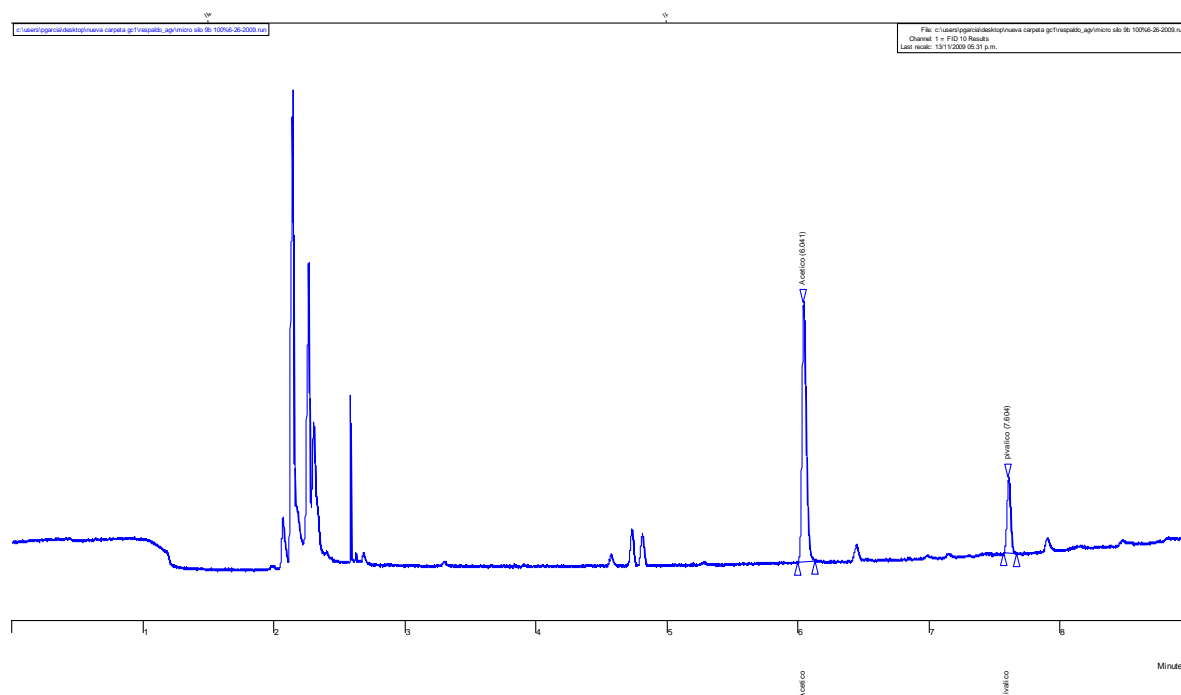


Figura 26. Cromatograma de los Microsilos de *L. rotundiflorus*: Rastrojo de maíz 75:25 (ác. acético)

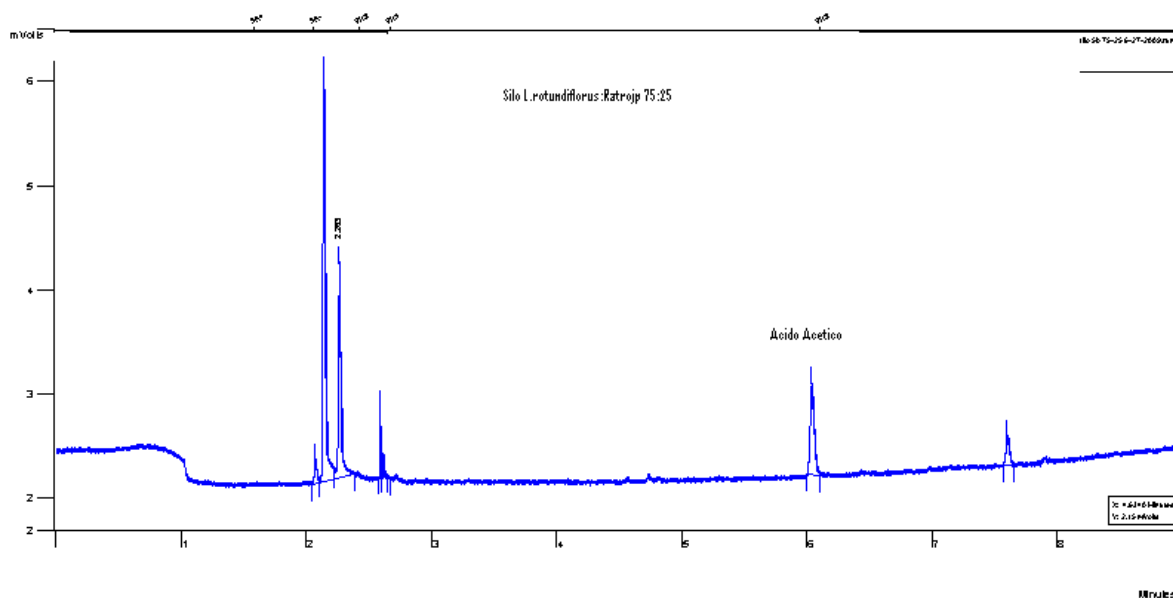


Figura 27. Cromatograma de los Microsilos *L. rotundiflorus*: Rastrojo de maíz 50:50 (ác. acético y estándar interno)

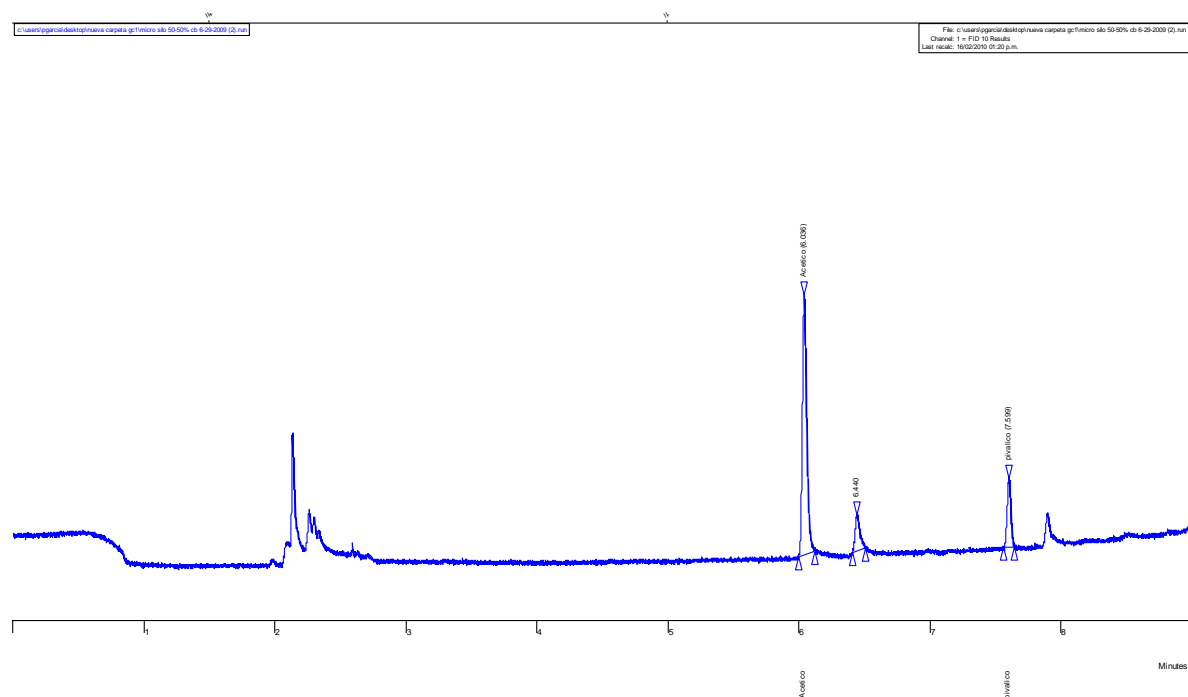


Figura 28. Cromatograma de alcaloides en suero de borrego 658 Dieta 30% (traza de esparteína)

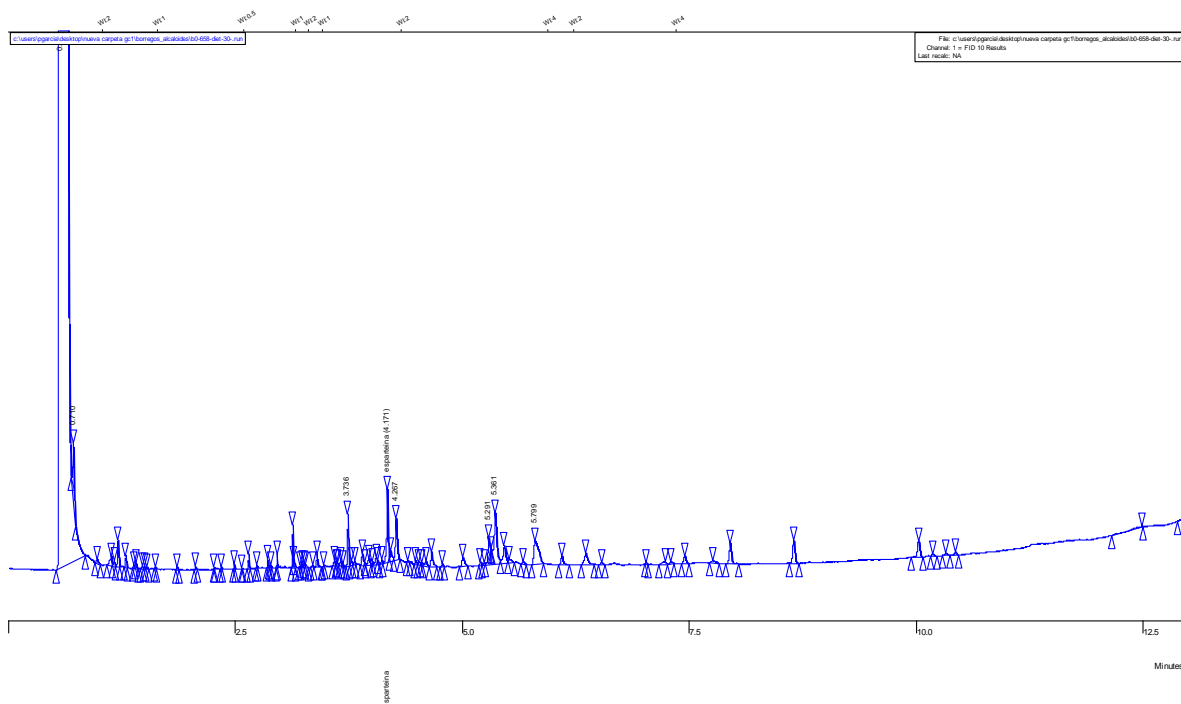


Figura 29. Cromatograma de alcaloides en suero de borrego 651 Dieta 30% (trazas de esparteína, lupanina, y 13hidroxilupanina)

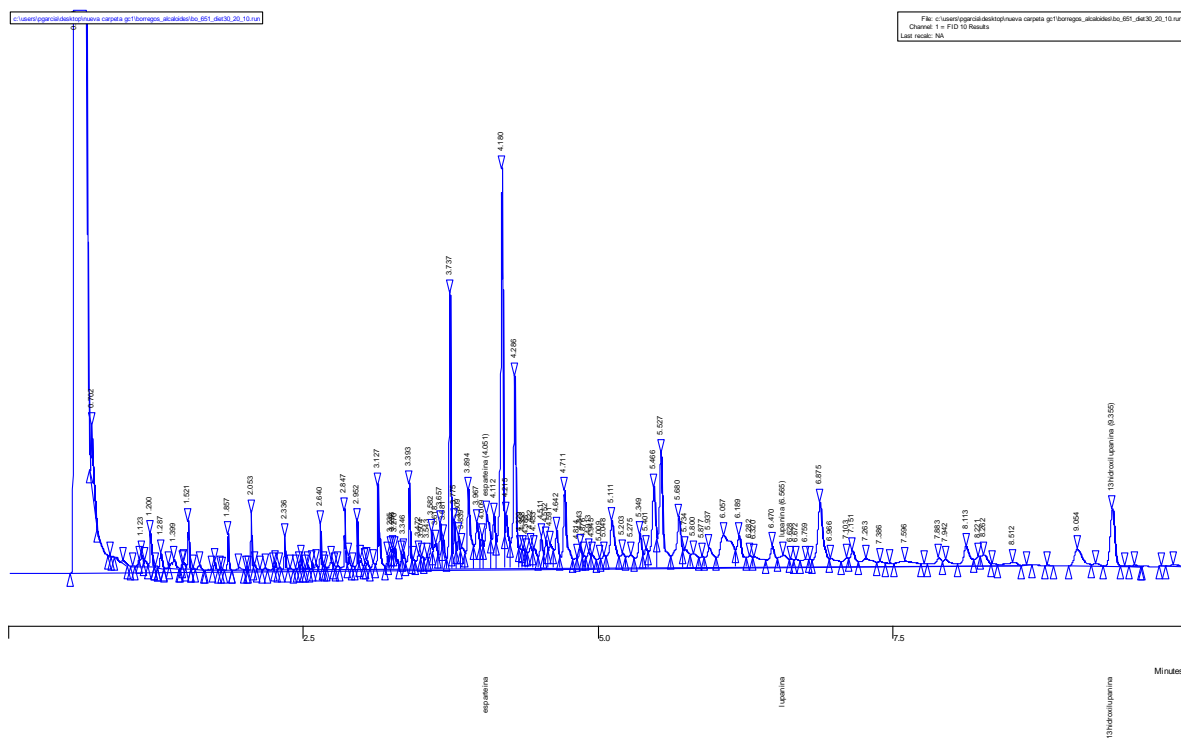
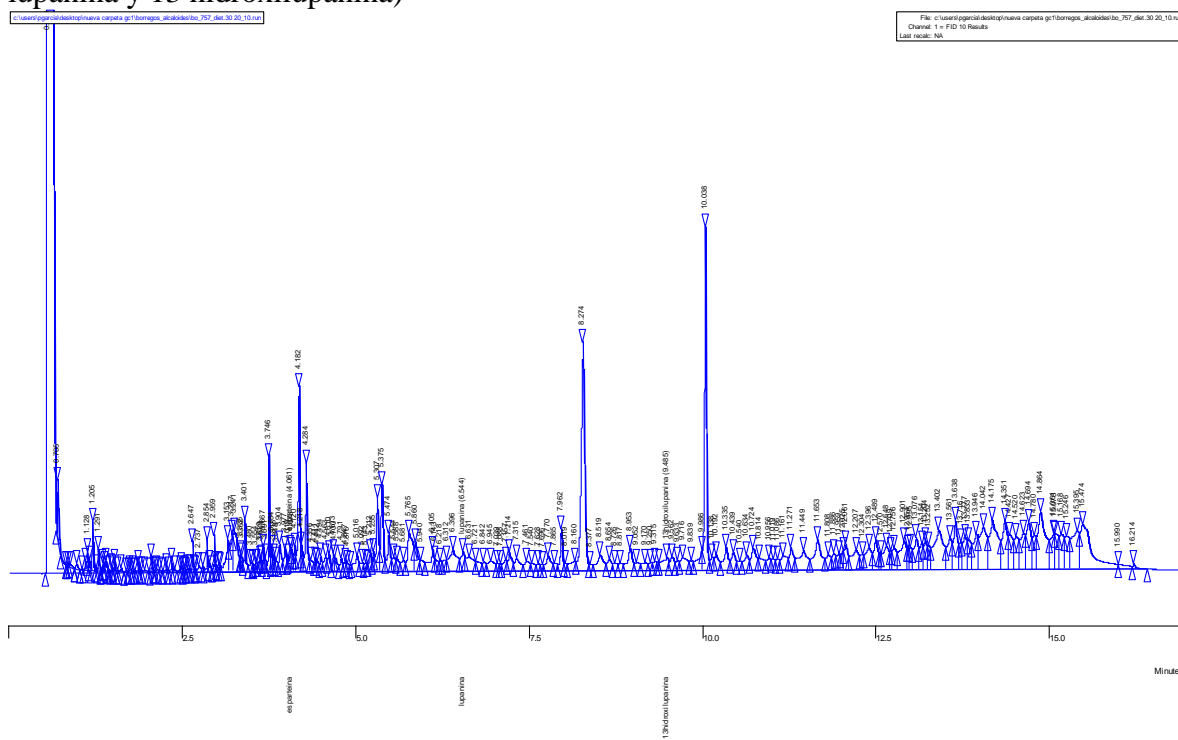


Figura 30. Cromatograma de alcaloides borregos 757 dieta 30% (trazas de esparteína, lupanina y 13 hidroxilupanina)



B. MEMORIAS 12th CONGRESO INTERNACIONAL DE LUPINOS

IN J.A. Palta and J.B. Berger (eds). 2008. 'Lupins for Health and Wealth' Proceedings of the 12th International Lupin Conference, 14-18 Sept. 2008, Fremantle, Western Australia. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand. ISBN 0-86476-153-8.

CHEMICAL COMPOSITION AND ALKALOIDS CONTENT OF SILAGES OF *LUPINUS EXALTATUS* AND *LUPINUS ALBUS* CULTIVATED IN JALISCO, MEXICO

J.M. Herrera-Velazco¹, M.L. Isaac-Virgen², R. Rodríguez-Macías¹, F. Zamora-Natera¹, M.A. Ruiz-López¹ and P.M. García-López¹

¹Laboratorio de Biotecnología, Departamento de Botánica y Zoología, CUCBA, Universidad de Guadalajara

²Laboratorio de Bioquímica, Departamento de Biología Molecular y Genómica CUCS, Universidad de Guadalajara

Corresponding author's email: jherrera@cucba.udg.mx

ABSTRACT

The genus *Lupinus* is widely distributed around the world, and at the present *Lupinus albus*, a sweet lupin species has been utilised as ruminant feedstuff. In contrast wild lupin species are being used experimentally as starting material to prepare silage with similar chemical characteristics than *L. albus*. Therefore, the aim of this study was to determine the chemical composition and alkaloid content of silages elaborated with forages of *Lupinus exaltatus*, or *Lupinus albus*. Plant materials were sown in winter and harvested at early bloom or late bloom stages. After 24 hr wilting plants were chopped manually into 1.5 to 2.5 cm length and combined with corn straw at 100/0, 75/25 and 50/50 ratios, enriched with cane molasses and lactobacillus, and ensiled using plastic flasks of 1 kg capacity. The flasks were opened, after 20 days, and analysed either fresh (pH, lactic acid, ammonia nitrogen), or dry (dry matter, crude protein, neutral detergent fibre NDF, acid detergent fibre ADF, alkaloids). The pH of *L. exaltatus*, and *L. albus* silages ranged between 3.7 to 5.0. The highest crude protein content was 15.19% while the lowest was 10.8%. The highest alkaloid content was in the 100:0 *L. exaltatus* silage, comprising 2.2% (DM), while the lowest was in the 50:50 *L. albus* silage at 0.07% (DM). Based on our results it is possible to obtain silages from wild lupins with similar chemical composition to *L. albus* silages but with high alkaloid levels.

KEYWORDS

silage, alkaloids, *L. exaltatus*, *L. albus*, wild lupins

C. ARTÍCULO INTERCIENCIA

INTERCIENCIA AUG 2010, VOL. 35 N° 8

CONSERVACIÓN DEL FORRAJE DE *Lupinus rotundiflorus* M. E. Jones Y *Lupinus exaltatus* Zucc. MEDIANTE ENSILAJE

José María Herrera-Velazco, María de Lourdes Isaac-Virgen, Ramón Rodríguez-Macías, Juan Francisco Zamora-Natera, Mario Alberto Ruíz-López y Pedro Macedonio García-López

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar la capacidad de conservación de forraje de *Lupinus exaltatus* y *L. rotundiflorus* mediante ensilaje. Plantas de ambas especies en etapa de desarrollo de vainas, fueron picadas en trozos de 2-4cm, y mezclados con rastrojo de maíz (RM), melaza e inóculo. Las mezclas depositadas en frascos plásticos (microsilos), se distribuyeron en un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 3×3, proporciones de forraje de lupino:RM de 100:0, 75:25 y 50:50, y periodos de fermentación de 6, 12 y 20 días, con tres repeticiones. Se determinó la composición química, FDN y FDA, nitrógeno amoniacal (NH₃-N), ácido láctico y pH en los ensilados. Aunque el periodo de fermentación no afectó la composición química de los ensilados, el aumento en la proporción de RM incrementó el contenido de materia seca en los ensilados de *L. exaltatus* de 29 a 51,7% y en *L. rotundiflorus* de 25,2 a 51,4%. Una tendencia similar fue observada en el contenido de FDN y FDA. El porcentaje de proteína cruda disminuyó de 16,2% a 11,0% en *L. exaltatus* y de 13,9% a 7,5% en *L. rotundiflorus* al incrementar el RM. El pH <4,2 en los ensilados se relacionó con un aumento en concentración de ácido láctico, con valores de 8,4 y 6,28% en los ensilados de *L. exaltatus* y *L. rotundiflorus* (100:0), respectivamente. El descenso de pH, bajo contenido de NH₃-N y la producción de ácido láctico indican que el forraje de lupinos puede ser conservado mediante ensilaje.

PALABRAS CLAVE / FDA / FDN / Forraje / Leguminosas / Microsilo / Periodo Fermentativo.