



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS

AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

## **SEMILLA DESCASCARADA DE LUPINO (*Lupinus angustifolius* L.) SUPLEMENTADA CON DIFERENTES MEZCLAS DE ENZIMAS EN DIETAS PARA POLLOS DE ENGORDA**

GERARDO LUNA ZAMORA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019

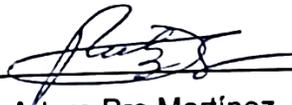
**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN**

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe, "**GERARDO LUNA ZAMORA**", Alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor "**Dr. ARTURO PRO MARTÍNEZ**", por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis "**SEMILLA DESCASCARADA DE LUPINO (*Lupinus angustifolius* L.) SUPLEMENTADA CON DIFERENTES MEZCLAS DE ENZIMAS EN DIETAS PARA POLLOS DE ENGORDA**", y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Campus Montecillo, a 7 de septiembre de 2018.



Gerardo Luna Zamora



Vo. Bo. Dr. Arturo Pro Martínez

La presente tesis titulada **"SEMILLA DESCASCARADA DE LUPINO (*Lupinus angustifolius* L.) SUPLEMENTADA CON DIFERENTES MEZCLAS DE ENZIMAS EN DIETAS PARA POLLOS DE ENGORDA"** realizada por el alumno: **GERARDO LUNA ZAMORA** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

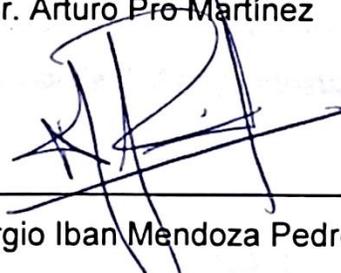
**MAESTRO EN CIENCIAS**  
**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**  
**GANADERÍA**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Arturo Pro-Martínez

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Sergio Iban Mendoza Pedroza

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Omar Hernández Mendo

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2019

**SEMILLA DESCASCARADA DE LUPINO (*Lupinus angustifolius* L.)  
SUPLEMENTADA CON DIFERENTES MEZCLAS DE ENZIMAS EN DIETAS  
PARA POLLOS DE ENGORDA**

**Gerardo Luna Zamora, M. en C.**

**Colegio de Postgraduados, 2019**

**RESUMEN**

Se adicionaron cuatro mezclas de enzimas (ME) [ME0 (testigo), ME1, ME2 y ME3] a dietas a base de pasta de soya (DPS) o semilla de lupino descascarada (DSLSD) como fuentes de proteína (FP) en pollos de engorda. Se utilizaron 240 pollos machos Ross-308 de un día de edad (seis unidades experimentales de cinco pollos cada una). Se midieron, consumo de alimento (CAL), peso vivo (PV), conversión alimenticia (CA), digestibilidad ileal aparente de la materia seca (DIaMS) y de la proteína cruda (DIaPC) y la energía metabolizable aparente de las dietas (EMa). El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo factorial 2×4 (dos FP× cuatro ME). La interacción FP×ME afectó ( $P<0.05$ ) todas las variables evaluadas. El CAL de las aves con DSLSD no se afectó al adicionar ME1, ME2 y ME3 con respecto a ME0, aunque el PV y la CA empeoraron. La ME1 y la ME2 disminuyeron la DIaMS y DIaPC, la EMa disminuyó con la ME1 y ME2 no afectó. Al adicionar ME3 a DSLSD la DIaMS y la DIaPC fue igual a ME0 y aumentó EMa; sin embargo, en la DPS, adicionar ME3 empeoró todas las variables menos CAL y CA que no cambiaron. Excepto con EMa que fue menor y CAL que fue igual, todas las variables fueron mejores con DSLSD que con DPS cuando no se agregan enzimas. Esto sugiere que es posible sustituir la PS por SLD (Sonate) en dietas para pollo de engorda sin afectar las variables productivas.

Palabras clave: lupinus, pollos, enzimas, energía, digestibilidad

**DEHULLED LUPINE SEED (*Lupinus angustifolius* L.) SUPPLEMENTED WITH  
DIFFERENT MIXES OF ENZYMES IN BROILER DIETS**

**Gerardo Luna Zamora, M. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2019**

**ABSTRACT**

Soybean meal (DPS) or dehulled lupine seed (DSLDD) based broiler diets were supplemented with four mixes of enzymes (ME) [ME0 (control), ME1, ME2 and ME3]. Two hundred and forty Ross-308 male chicks of one day of age were used in this experiment (six experimental units of five chicks each). The variables feed intake (CAL), live weight (PV), feed conversion ratio (CA), apparent ileal digestibility of dry matter (DIaMS) and crude protein (DIaPC), and dietary apparent metabolizable energy (EMa) were evaluated. The experimental design used was a randomized complete design with a 2x4 factorial treatment structure. The interaction protein source (FP) [DPS or DSLDD]xME affected ( $P<0.05$ ) all the variables. The CAL of birds fed DSLDD diet was not affected by the addition of ME1, ME2 and ME3 compared to ME0, but worst PV and CA were observed. ME1 and ME2 reduced DIaMS and DIaPC. ME1 also affected the EMa. The addition of ME3 to DSLDD diet did not change DIaMS and DIaPC with respect to ME0 but increased EMa. In contrast, the supplementation of the DPS diet with ME3 negatively affected all the variables except CAL and CA. Without the addition of enzymes, significantly better results were obtained in all the variables evaluated when using PS comparing to SLD, except in EMa and CAL. The results suggest that is possible to use SLD (Sonate) instead of PS in broiler diets without negative effects on productive performance.

**Keywords:** lupinus, chickens, enzymes, energy, digestibility.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por acompañarme siempre en todo momento de dificultad y permitirme concluir satisfactoriamente una etapa más de mi vida

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al **Colegio de Postgraduados Campus Montecillo** por aceptarme y brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al **Dr. Arturo Pro Martínez** por su apoyo, paciencia, consejos y tiempo en la realización de este proyecto. La verdad es un privilegio haber sido su alumno, pocos tenemos la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo y aprender del mejor en esta área.

Al **Dr. Sergio Iban Mendosa Pedroza** y **Dr. Omar Hernández Mendo** por su colaboración, consejos y paciencia en la elaboración del este trabajo. Al igual es un privilegio tener un asesor de su índole, pocos tenemos esta oportunidad.

Al **Dr. Eliseo Sosa Montes** y al **Ing. Benito Bello Olivera** por el apoyo brindado en los análisis de ingredientes y así como el apoyo en la realización de algunas técnicas.

A todo el **Personal Académico y Administrativo del Colegio de Posgraduados.**

A todas aquellas personas que contribuyeron en la realización de este trabajo.

DEDICO ESTA TESIS:

A mi hermosa hija Alelí que se convirtió en lo que más amo en la vida y a mi amada bebe que ya está en camino que, aunque aún no te conozco no puedo concebir mi vida sin ti, las AMO

A mi linda esposa María Inés Sierra Galicia que siempre sonreiste para aliviar mi cansancio, que me apoyaste y aguantantaste tanto, que me abrazabas y llenabas de consuelo, que me diste dos bellas princesas que alimentan mas mi amor por ti, pero sobre todo gracias por comer conmigo en ese comedor, nunca pensaste que jamas te dejaria ir. Siempre estas presente en mi corazón, amo vivir y ser contigo.

A mis padres Manuel Luna Botello y Francisca Zamora Luna que fueron el primer amor que conocí y que en todo momento estan para mi. Gracias por la oportunidad de tener su confianza, su comprensión, amor y ejemplo. Muchas gracias... papá y mamá.

A mis queridos hermanos, Evelio, María Elena y Victoria Guadalupe, que me enseñaron lo que es amar sin importar los errores que cometamos y lo que es querer proteger a alguien con mi propia vida, ustedes forman parte de lo que soy y siempre estaré para ustedes.

A mis queridos abuelitos: Inocencio Luna, Reyes Botello, Esther y Fausta Luna, quienes no solo me enseñaron a trabajar la tierra, sino también a amarla.

A mis tíos y primos, quisiera nombrarlos a cada uno, pero son muchos. Eso no quiere decir que no me acuerde de cada uno de ustedes, a todos los quiero mucho, gracias por todo.

A mis tan queridos amigos y hermanos que a lado suyo aprendí que, en esta vida, si sabemos escoger las amistades se vuelven hermanos y nunca te dejaran solo. Benito, Eliel, Juan Carlos, Uriel, Fredy, Paps, Ana, Diego, Lazo muchos otros que quisiera nombrar.... Muchas Gracias.

Los quiero con todo mi corazón, y este trabajo es para ustedes.

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	2
2.1 Objetivo General .....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	2
<b>4. REVISION DE LITERATURA</b> .....	3
<b>4.1 Situación actual de la carne de pollo en México</b> .....	3
<b>4.2 Soya</b> .....	3
<b>4.3 Lupino</b> .....	3
4.3.1 Origen .....	4
4.3.2 Descripción botánica.....	4
4.3.3 Distribución .....	5
4.3.4 Fertilización .....	7
4.3.5 Factores anti nutricionales .....	7
4.3.6 Composición química .....	9
<b>4.4 Uso de enzimas en la alimentación de aves</b> .....	11
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	12
5.1 Producción y composición química de la semilla .....	12
5.1.1 Producción de semilla.....	12
5.1.2 Composición química de la semilla .....	12
5.2 Comportamiento productivo, lesiones en patas y tamaño de órganos digestivos en pollo de engorda .....	13
5.2.1 Comportamiento productivo .....	13
5.2.2 Lesiones en patas .....	16
5.2.3 Tamaño de órganos digestivos.....	18
5.3 Experimento 3. Energía Metabolizable aparente y Digestibilidad Ileal de la dieta ....	18
5.3.1 Recolección de excretas .....	18
5.3.2 Recolección de contenido ileal .....	19
5.3.4 Cálculos .....	19
5.4 Diseño experimental y análisis estadístico.....	20
<b>6. RESULTADOS</b> .....	20
6.1 Producción y composición química de la semilla .....	20
6.2 Comportamiento productivo, lesiones en patas y tamaño de órganos digestivos en pollo de engorda .....	21

6.2.1 Comportamiento productivo .....	21
6.2.3 Lesiones en Patas .....	24
6.2.4 Tamaño de órganos digestivos.....	26
6.3 Digestibilidad ileal aparente.....	28
6.3.1 Digestibilidad Ileal aparente de la materia seca (DIaMS) .....	28
6.3.2 Digestibilidad Ileal de la proteína cruda (DIaPC) .....	28
6.4 Energía metabolizable aparente de la dieta .....	29
<b>7. DISCUSIÓN .....</b>	<b>30</b>
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>33</b>
<b>9. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>36</b>
<b>10. ANEXOS .....</b>	<b>43</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución de lupino en México (Bermúdez <i>et al.</i> , 1999) .....	6
Cuadro 2. Composición química promedio (g / Kg) de semilla con y sin cáscara de nueve variedades de lupino (Vecerek <i>et al.</i> , 2008). .....	11
Cuadro 3. Composición de las mezclas de enzimas evaluadas .....	13
Cuadro 4. 14	
Cuadro 5. Composición de las dietas de finalización evaluadas (día 1 a 14).....	15
Cuadro 6. Composición química de semilla descascarada de lupino ( <i>Lupinus angustifolius</i> L. var. Sonate).....	21
Cuadro 7. Efecto de la interacción fuente de proteína (FP) x mezcla de enzimas (ME) en la frecuencia de la habilidad para caminar (Hc) en pollos de engorda alimentados con DPS o DSDL con y sin enzimas a las 7 semanas de edad.....	24
Cuadro 8. Efecto de la mezcla de enzima (ME) en la frecuencia de angulación <i>Valgus/varus</i> de patas (An) de pollos de engorda alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad. ....	25
Cuadro 9. Efecto de la fuente de proteína (FP) en la latencia a postrarse (Lp) en pollos de engorda alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad.....	25

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Planta de lupinus angustifolius (Buchoz, 1783).....	16
Figura 2. Distribución de lupino en México (Bermúdez <i>et al.</i> , 1999).....	18
Figura 3. Estructura de los principales alcaloides presentes en la semilla de lupino (Ziola, 2014).....	19
Imagen 4. Estructura de polímero péctico (Cheetham <i>et al.</i> , 1993).....	20
Figura 5. Composición química del grano de lupino Australiano ( <i>L. angustifolius</i> ) (Sipsas y Glencross, 2005.).....	21
Figura 6. Efecto de la interacción FP×ME en consumo de alimento (CAL) de pollos alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad.....	33
Figura 7. Efecto de la interacción FP×ME en peso vivo (PV) de pollos alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad.....	34
Figura 8. Efecto de la interacción FP×ME en conversión alimenticia (CA) de pollos alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad.....	34
Figura 9. Efecto de la interacción FP×ME en peso relativo del intestino delgado de pollos alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad.....	37
Figura 10. Efecto de la interacción FP×ME en peso relativo del hígado de pollos alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad.....	38
Figura 11. Efecto de la interacción FP×ME en peso relativo del bazo de pollos alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad.....	38
Figura 12. Efecto de la interacción FP×ME en digestibilidad ileal aparente de la materia seca (DIaMS) de DPS o DSLD con y sin enzimas de pollos a las 7 semanas de edad.....	39
Figura 13. Efecto de la interacción FP×ME en digestibilidad ileal aparente de la proteína cruda (DIaPC) de DPS o DSLD con y sin enzimas de pollos a las 7 semanas de edad.....	40
Figura 14. Efecto de la interacción FP×ME en energía metabolizable aparente de la dieta (EMa) de DPS o DSLD con y sin enzimas de pollos a las 7 semanas de edad.....	40

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La pasta de soya es la fuente de proteína más utilizada en dietas para pollo de engorda a nivel mundial (WISHH, 2013) y México se considera el cuarto comprador de esta oleaginosa después de China, la Unión Europea y Japón (SAGARPA, 2016).

El aumento en el precio de la pasta de soya ha obligado a la búsqueda de ingredientes proteicos alternativos y de bajo costo (Nalle *et al.*, 2011). Las semillas del género *Lupinus* son una alternativa para la formulación de alimentos para aves por su elevado contenido de nutrientes, entre los cuales destacan: proteína (Mierlita y Popovici, 2013), arginina (White *et al.*, 2002), ácido glutámico y aspártico (Sujak *et al.*, 2006) y ácidos grasos (Suca y Suca, 2015).

Las semillas de lupino han sido utilizadas desde hace décadas en la alimentación humana y animal en Europa y en la región andina, donde se usa para la elaboración de galletas, panes y fideos (Kojhadová y Karavicova, 2011; Carvajal *et al.*, 2013). El mayor productor de lupino es Australia, seguida por Bielorrusia y Alemania (ProChile, 2011). En México, las poblaciones de lupino silvestre crecen desde el nivel del mar hasta más de 4000 m (Ruiz *et al.*, 2000).

Algunas especies contienen alcaloides del tipo quinolizidínico con propiedades anti nutricionales que pueden ser tóxicos y producir un sabor amargo (Bañuelos *et al.*, 2006), además, el contenido de polisacáridos no amiláceos (PNA) es casi dos veces más que en otras proteínas vegetales (Bach Knudsen, 1997); En algunas variedades puede representar hasta el 49% de la semilla entera (Nalle *et al.*, 2011).

Los PNA de lupino son polisacáridos pécticos ramificados denominados ramnogalacturonanos en los que las cadenas de 1-4-D-galacturonan se interrumpen por la inserción de residuos de (1-2) - $\beta$ -L-rhamnosa, y las cadenas laterales largas están constituidas

por D-galactosa, L-arabinosa, D-xilosa, L-fucosa y ácido D glucurónico (Cheetham *et al.*, 1993). Los PNA limitan el consumo de alimento y disminuyen la digestibilidad de los nutrientes, debido a esto se ha restringido el porcentaje de inclusión de lupino en dietas para aves (Naveed *et al.*, 1999).

## **2. OBJETIVOS**

### 2.1 Objetivo General

- Sustituir la pasta de soya por semilla de lupino descascarada en dietas para pollo de engorda.

### 2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la inclusión de cuatro mezclas de enzimas en dietas a base de pasta de soya o semilla de lupino descascarada como fuentes de proteína.
- Medir el comportamiento productivo, tamaño de órganos digestivos y lesiones en patas de pollos alimentados con dietas a base de pasta de soya o semilla de lupino descascarada con y sin enzimas.
- Determinar la digestibilidad ileal aparente y la energía metabolizable aparente de las dietas.

## **3. HIPÓTESIS**

- El uso de enzimas exógenas degradará los polisacáridos no amiláceos presentes en la semilla de lupino lo que mejorarán su utilización en dietas para pollo de engorda sin afectar las variables productivas.

## **4. REVISION DE LITERATURA**

### **4.1 Situación actual de la carne de pollo en México**

México produjo en 2017 casi 3.5 millones de toneladas de carne de pollo; sin embargo, se importaron 517 mil toneladas. En el plano internacional, México ocupa el sexto lugar en producción de pollo, después de Estados Unidos, Brasil, China, India y Rusia. El consumo per-cápita de pollo ha aumentado de 15.83 kg en 1994 a 32.24 kg. durante 2017, para el 2018, se estima que el consumo aparente de pollo alcance los 32.88 kg por habitante. (Financiera Rural, FIRA, 2012).

### **4.2 Soya**

El frijol de soya es una semilla que aporta aceite y pasta, ésta última es un subproducto que se utiliza básicamente en la elaboración de alimento balanceado para consumo animal. La demanda de pasta de soya está determinada por el comportamiento del sector pecuario (SAGARPA, 2004).

La pasta de soya es la fuente de proteína más utilizada en dietas para pollo de engorda a nivel mundial (WISHH, 2013) y México se considera el cuarto comprador de esta oleaginosa después de China, la Unión Europea y Japón (SAGARPA, 2016). México tiene un consumo anual de 59.7 millones de toneladas, del cual casi el 85% se importa de Estados Unidos (CONAGO, 2018). El aumento en el precio de la pasta de soya ha obligado a la búsqueda de ingredientes proteicos alternativos y de bajo costo (Nalle *et al.*, 2011).

### **4.3 Lupino**

Las semillas del género *Lupinus* son una alternativa para la formulación de alimentos para aves por su elevado contenido de nutrientes, entre los cuales destacan: proteína (Mierlita y Popovici, 2013), arginina (White *et al.*, 2002), ácido glutámico y aspártico (Sujak *et al.*,

2006) y ácidos grasos (Suca y Suca, 2015). El género comprende aproximadamente 220 y 230 especies (Lewis *et al.*, 2005), estos géneros pueden ser herbáceas anuales, perennes y bianuales (Bermúdez *et al.*, 2002).

#### 4.3.1 Origen

No se tiene registro de un lugar único de origen, ya que el género lupinus se distribuye ampliamente desde Venezuela hasta Bolivia, norte de Chile y norte argentino; sin embargo, en la actualidad se cultiva en su mayoría en Australia, Ecuador, Perú y Bolivia (Suca, 2015). Los griegos, romanos, egipcios y los andinos han cultivado lupino para mejorar el suelo y para consumo humano. Hoy en día, la gente de algunos países mediterráneos como España e Italia incluyen lupino en su alimentación (Cowling *et al.*, 1998; Gladstones, 1970).

#### 4.3.2 Descripción botánica

Es una leguminosa herbácea, erecta de tallos cilíndricos, robustos, algo leñosos, generalmente de color verde oscuro, alcanza alturas de 0.8 - 1.0 m. Las hojas son palmeadas, digitadas, las flores son de color azul o blanco y se disponen en densos racimos terminales multifloros, en los que cada flor es hermafrodita, zigomorfa y pentámera. El cáliz es globular, la corola es de color azul y forma típicamente amariposada (Flora de Iberia, 2011).

Posee entre sus ramificaciones vainas color verde marrón en las cuales se encuentran de 3 a 7 semillas, las semillas varían en número y forma según la variedad, pueden ser redondas, ovaladas o lenticulares con un tamaño de 4-6 mm de largo, 6-8 mm de ancho y 1 cm de diámetro. El color puede ser blanco, marrón o negras, aunque también pueden presentarse en forma combinada (marmoteado, media luna o salpicado) (Duke, 1981).



Figura 1. Planta de lupinus angustifolius (Buchoz, 1783)

#### 4.3.3 Distribución

Se han identificado cientos de especies dentro del género *Lupinus* a nivel mundial; sin embargo, solo cuatro especies son cultivadas globalmente (*Lupinus angustifolius*, *Lupinus albus*, *Lupinus luteus* y *Lupinus mutabilis* Sweet). Las cuales han sido mejoradas para su uso en alimentación animal y humana (Clements *et al.*, 2005) y se distribuyen desde Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina (Jacobsen, 2015).

En México, las especies silvestres de lupino se distribuyen desde Baja California hasta Chiapas con una mayor concentración en la Sierra Madre Occidental y el Eje Neovolcánico Transversal (Ruíz *et al.*, 2000). Sousa y Delgado (1998) reportan alrededor de 65 especies; de las cuales aproximadamente el 60% son consideradas endémicas. Las poblaciones naturales de lupino crecen en caminos, laderas de cerros y en bosques degradados a altitudes desde el nivel del mar hasta 4000 m. Algunas especies reportadas son: *L. versicolor* Steud., *L. potosinus* Rose y *L. uncinatus* Schldl. (Alderete *et al.*, 2008).

En el Parque Nacional Pico de Orizaba, *L. montanus* Kunth es una de las especies dominantes del estrato herbáceo. (Vargas, 1984). Villaseñor y Espinosa (1998) citan a *L. leptophyllus* Schlttdl. & Cham y *L. campestris* como malezas en la Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Jalisco, Puebla, Tlaxcala y Veracruz.

Sin embargo, a diferencia de Europa, norte de África y de América del Sur, donde se cultiva para uso alimenticio, en México no existen reportes del uso del grano o del forraje como alimento (Bermúdez *et al.*, 2009), aunque, podrían representar una fuente importante de proteínas de buena calidad. En el cuadro 1 y la figura 2 se muestra la distribución de lupino en México

Cuadro 1. Distribución de lupino en México (Bermúdez *et al.*, 1999)

Provincia	Provincias morfotectónicas	Intervalo de elevación	Número de especies	Especies en común con otras áreas
1	Baja California	0-2130	23	3
2	Planicies y Sierras del Noreste	0-2200	0	0
3	Sierra Madre Occidental	200-3000	35	16
4	Mesetas y Cordilleras de Chihuahua y Coahuila	200-2000	5	5
5	Sierra Madre Oriental	200-3000	20	10
6	Planicie Costera del Golfo de México	0-200	0	0
7	Meseta Central	1000-3300	0	6
8	Faja Volcánica Transmexicana	1000-5000	44	16
9	Sierra Madre del Sur	0-3500	15	8
10	Sierra Madre de Chiapas	0-2500	0	0
11	Plataforma de Yucatán	0-200	0	0

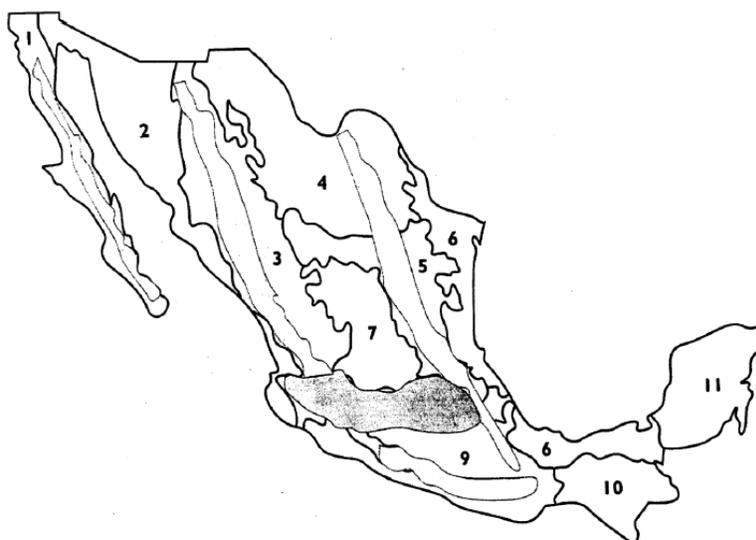


Figura 2. Distribución de lupino en México (Bermúdez *et al.*, 1999)

#### 4.3.4 Fertilización

Una ventaja de lupino es su amplio margen de adaptación a diferentes altitudes y suelos donde otros cultivos no prosperarían. (Barrientos *et al.*, 2002). Por muchos años, en Perú, ha sido utilizado para enriquecer los suelos debido a su capacidad de fijación de nitrógeno. Algunos autores mencionan que puede fijar hasta  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrógeno atmosférico al año, el cual está disponible para otros cultivos. Con los altos precios y la escasez de fertilizantes, lupino puede llegar a ser muy importante al momento de rotar cultivos (Suca, 2015).

#### 4.3.5 Factores anti nutricionales

Los alcaloides fueron considerados una limitante en la alimentación de aves ya que producían un sabor amargo lo que limitaba el consumo de alimento (Bañuelos *et al.*, 2006), además, podían ocasionar problemas respiratorios, deformidad en huesos o parálisis (Jansen *et al.*, 2012). Al respecto, Suca y Suca, (2015) mencionan que las variedades modernas de lupino contienen concentraciones inferiores a 0.05% de alcaloides. Los alcaloides más abundantes

en la semilla son lupanina, 13  $\alpha$ -hidroxilupanina e hidroxiafilidina (Przybylak *et al.*, 2005), esparteína (Bermúdez *et al.*, 2009) y 3 $\beta$ -hidroxilupanina (Ruíz *et al.*, 2010).

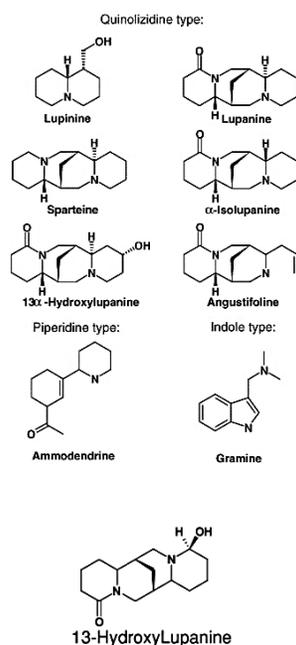


Figura 3. Estructura de los principales alcaloides presentes en la semilla de lupino (Ziola, 2014)

Otra limitante de lupino son los polisacáridos no amiláceos (PNA) que pueden ser hasta el doble de otras proteínas vegetales (Knud and Knudsen, 1997) y en algunas variedades puede representar hasta el 49% de la semilla entera (Nalle *et al.*, 2011). Los PNA limitan el consumo de alimento y disminuyen la digestibilidad de los nutrientes, (Naveed *et al.*, 1999) ya que no son hidrolizados por las enzimas digestivas de los pollos (Mieczcowska, 2004).

Los PNA son polisacáridos pécticos ramificados denominados ramnogalacturonanos en los que las cadenas de 1-4-D-galacturona se interrumpen por la inserción de residuos de (1-2) - $\beta$ -L-rhamnosa, y las cadenas laterales largas están constituidas por D-galactosa, L arabinosa, D-xilosa, L-fucosa y ácido D glucurónico (Cheetham *et al.*, 1993).

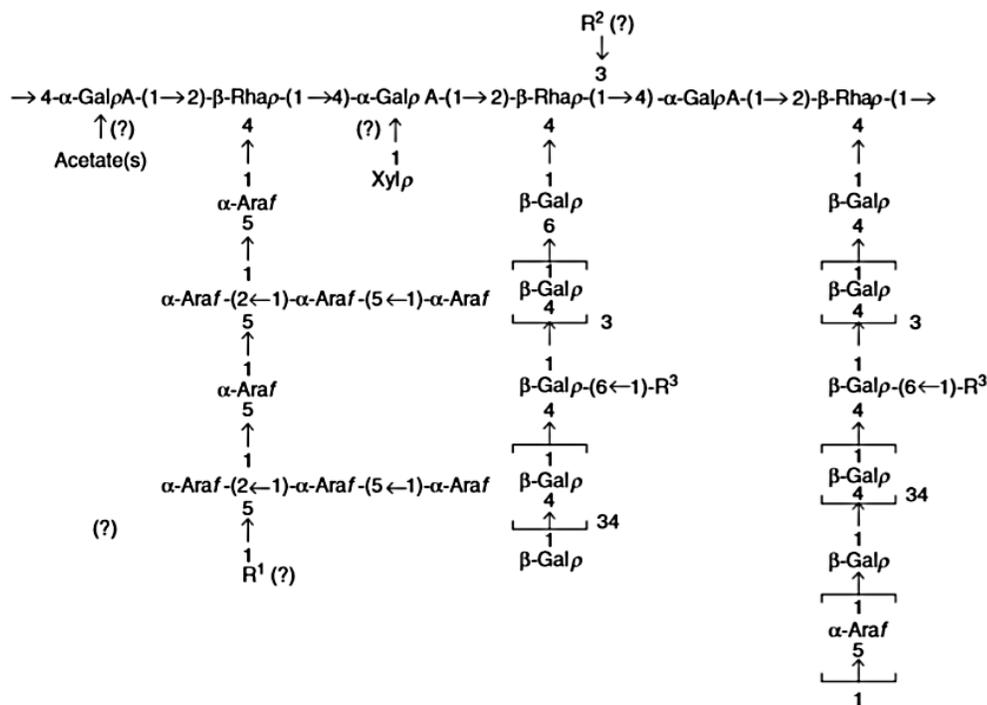


Imagen 4. Estructura de polímero péctico (Cheetham *et al.*, 1993)

#### 4.3.6 Composición química

El género *Lupinus* es conocido por su elevado contenido de proteína (Lewis *et al.*, 2005); sin embargo, el contenido de proteína varía entre especie y variedad. Estudios en más de 300 genotipos diferentes encontraron que la proteína varía de 41 a 51% y el aceite de 14% a 24%.

Por su parte, Schoeneberger *et al.* (1983) mencionan que la composición de lupino es casi similar al de la soya, con 32 a 40% de proteína y 17 a 23% de contenido de aceite.

En la figura 5 se muestra la composición general de la semilla de lupino y en el cuadro 2, la composición química promedio de nueve variedades (Amiga, APR82, Boregine, Bernal, Boruta, LAL, Olezka, Probor y Wodjil) de lupino con y sin cascara.

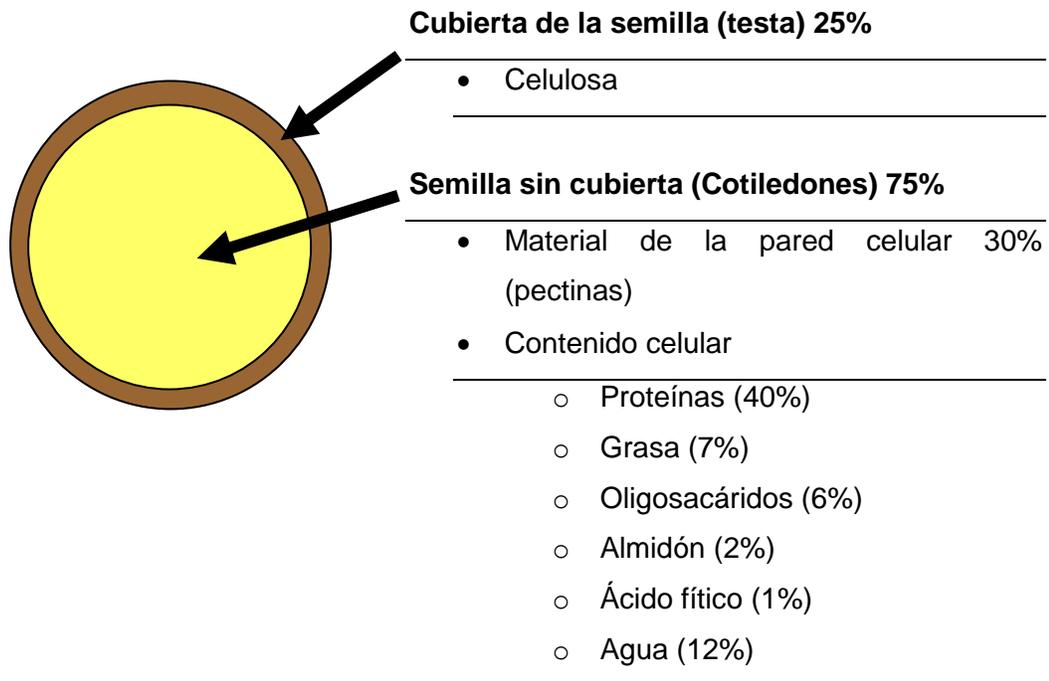


Figura 5. Composición química del grano de lupino Australiano (*L. angustifolius*) (Sipsas y Glencross, 2005.)

Las proteínas de la semilla de lupino son de reserva, casi el 85% corresponde a globulinas y el resto a albuminas (Pettersson, 1998). El perfil de aminoácidos de lupino muestra que es alto el contenido de arginina, lisina, leucina y fenilalanina y es deficiente en metionina y cistina comparado con el de la soya (Glencross, 2001).

La sacarosa constituye el 71 % de los azúcares contenidos en la semilla de lupino (Erbas *et al.*, 2005). El aceite está compuesto por 13.5% de ácidos grasos saturados, 55.4% de ácidos grasos monoinsaturados y 31.1% de ácidos grasos poliinsaturados (Erbas *et al.*, 2005).

La semilla contiene elevados niveles de macronutrientes como N, P y K y de micronutrientes como Fe y Zn, pero niveles bajos de Ca y Mg (Pablo *et al.*, 2013) similares a los de soya (Nacer *et al.*, 2010).

Cuadro 2. Composición química promedio (g / Kg) de semilla con y sin cáscara de nueve variedades de lupino (Vecerek *et al.*, 2008).

<b>Nutriente</b>	<b>Tipo de semilla</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Media</b>	<b>P</b>
Proteína	Semilla entera	437.00	332.30	376.13	< 0.01
	Semilla sin cascara	548.10	411.10	466.97	
Grasa	Semilla entera	80.30	44.90	56.32	< 0.05
	Semilla sin cascara	97.00	55.50	69.24	
Fibra (	Semilla entera	168.90	127.70	148.51	< 0.01
	Semilla sin cascara	51.40	19.80	28.72	
Extracto libre de Nitrógeno	Semilla entera	431.40	301.00	376.08	NS
	Semilla sin cascara	460.40	296.80	386.79	
Almidón	Semilla entera	100.30	64.60	83.27	NS
	Semilla sin cascara	124.00	66.40	91.40	
Polisacáridos no amiláceos	Semilla entera	331.10	230.90	292.81	NS
	Semilla sin cascara	351.90	230.40	295.39	
Cenizas	Semilla entera	52.00	37.70	42.94	NS
	Semilla sin cascara	62.00	41.60	48.24	
Ca	Semilla entera	4.80	2.67	3.50	< 0.01
	Semilla sin cascara	3.10	1.79	2.18	
P	Semilla entera	9.18	5.45	6.61	NS
	Semilla sin cascara	11.26	6.70	8.09	
Mg	Semilla entera	3.62	1.80	2.35	NS
	Semilla sin cascara	4.10	2.10	2.70	
Energía Bruta (MJ /kg)	Semilla entera	20.80	19.70	20.07	< 0.01
	Semilla sin cascara	21.50	20.20	20.71	
Fibra Detergente ácido	Semilla entera	211.10	178.00	195.32	< 0.01
	Semilla sin cascara	72.70	38.40	60.89	
Fibra Detergente neutro	Semilla entera	248.20	198.30	226.18	< 0.01
	Semilla sin cascara	106.30	45.30	72.03	

#### 4.4 Uso de enzimas en la alimentación de aves

El contenido de PNA en lupino afectan el consumo de alimento y la digestibilidad de manera negativa, por lo que el nivel de inclusión de lupino se limita en dietas para aves (Naveed *et al.*, 1999). El uso de enzimas para mejorar el valor nutritivo de los ingredientes fue reportado

en 1925 por Clickner y Follwell, La principal limitación que había en el uso de enzimas era el costo, sin embargo, los avances en la biotecnología los disminuyeron y ahora son de uso común en la industria de alimentos balanceados (Cortés *et al.*, 2002).

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### 5.1 Producción y composición química de la semilla

#### 5.1.1 Producción de semilla

La semilla de lupino (*Lupinus angustifolius* L. var. Sonate) empleada en este estudio se produjo bajo condiciones de temporal (julio-diciembre de 2017) en el municipio de Domingo Arenas, Puebla (19°09' N y 98° 26'O) a una altitud de 2367 m.s.n.m. Para la cosecha de la semilla se removió la planta completa, después se hizo presión para que la vaina se abriera y liberara la semilla, al terminar se almacenó en cajas para su transporte al Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo. La semilla cosechada se descascarilló y se molió con un molino de martillos (marca AZTECA, México) y una criba de 2 mm.

#### 5.1.2 Composición química de la semilla

La composición química de la semilla fue determinada por medio de una muestra y tres repeticiones en el laboratorio de Nutrición Animal del Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Se determinó el análisis proximal de la semilla descascarada de lupino de acuerdo a la metodología de la AOAC (1990) y el análisis de fibra (FDN y FDA) según Van-Soest *et al.*, (1991).

## 5.2 Comportamiento productivo, lesiones en patas y tamaño de órganos digestivos en pollo de engorda

El estudio se realizó en el módulo de avicultura del Colegio de Postgraduados *Campus* Montecillo Texcoco, Estado de México, México (19° 29'N, 98°53'O) a 2250 m.s.n.m. El experimento cumplió con las directrices del reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados.

### 5.2.1 Comportamiento productivo

#### 5.2.1.1 Dietas y enzimas

En cada fuente de proteína (PS o SLD) se evaluaron cuatro mezclas de enzimas [ME0 (testigo), ME1, ME2 y ME3]. La inclusión de enzimas en las dietas se realizó durante el mezclado de los micro ingredientes siguiendo las indicaciones de los proveedores, la composición de las tres mezclas de enzimas utilizadas se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Composición de las mezclas de enzimas evaluadas

ME1	ME2	ME3
<b>Xilanasa</b> (Danisco Xilanasa 40000 G) 65 gt <sup>-1</sup> de AF*	<b>Xilanasa</b> (Hostazym X) 100 gt <sup>-1</sup> de AF	<b>Pectinasa</b> (Zimapect 100 XL) 150 ml de AF
<b>Fitasa</b> (Physame XP 5000 G) 100 gt <sup>-1</sup> de AF	<b>Fitasa</b> (Physame XP 5000 G) 100 gt <sup>-1</sup> de AF	<b>Fitasa</b> (Physame XP 5000 G) 100 gt <sup>-1</sup> de AF
<b>Proteasa</b> (Aextra PRO 301 TPT) 100 gt <sup>-1</sup> de AF	<b>Proteasa</b> (Aextra PRO 301 TPT) 100 gt <sup>-1</sup> de AF	<b>Proteasa</b> (Aextra PRO 301 TPT) 100 gt <sup>-1</sup> de AF

\* Alimento Finalizado

Xilanasa (Danisco Xilanasa 40000 G) se obtuvo de *Trichoderma reesei* y contenía endo-1, 4-beta-xilanasa 40000 Units g<sup>-1</sup>.

Xilanasa (Hostazym® X) se obtiene de *Trichoderma longibrachiatum* contiene 1,4-endo-β Xilanasa (15000 EPUg<sup>-1</sup>), 1,4-endo-β glucanasa (137.5-225 Units g<sup>-1</sup>), 1,3(4)-α-glucanasa (60-110 Units g<sup>-1</sup>), α-amilasa (185-263 units g<sup>-1</sup>) y proteasa (traces).

Pectinasa (Zimapect® 100 XL) obtenida de *Aspergillus niger* con una actividad de 100,000 ADJU ml<sup>-1</sup>

Fitasa (Physame® XP 5000G) obtenida de *Schizosaccharomyces pombe* con una actividad mínima garantizada 6-phytase (EC.3.1.3.26) 5000 FTU g<sup>-1</sup>

Proteasa (Axta® PRO 301 TPT) se obtiene de *Bacillus subtilis* con una actividad mínima garantizada de subtilisin (proteasa) (EC3.4.21.62) 80000 U g<sup>-1</sup>

Las dietas de iniciación y finalización utilizadas fueron formuladas para cubrir las recomendaciones nutricionales de la línea Ross 308 (Aviagen, 2017) y fueron ofertadas en harina durante todo el experimento. Las dietas de iniciación (día 1-14) y su composición química calculada se muestran en el Cuadro 4 y para las dietas de finalización (día 15-49) se hicieron las adecuaciones correspondientes de acuerdo a la edad (Cuadro 5).

Cuadro 4. Composición de las dietas de iniciación evaluadas (día 1 a 14)

INGREDIENTE (%)	DPS <sup>1</sup>				DSL <sup>2</sup>			
	ME0 <sup>a</sup>	ME1 <sup>b</sup>	ME2 <sup>b</sup>	ME3 <sup>b</sup>	ME0 <sup>a</sup>	ME1 <sup>b</sup>	ME2 <sup>b</sup>	ME3 <sup>b</sup>
Maíz amarillo	55.30	55.3	55.3	55.3	46.06	46.06	46.06	46.06
Pasta de Soya	36.67	36.67	36.67	36.67	-	-	-	-
Semilla de lupino	-	-	-	-	43.45	43.45	43.45	43.45
Aceite de soya	3.00	3.00	3.00	3.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Fosfato dicálcico	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71
Carbonato de calcio	1.9	1.87	1.87	1.88	1.31	1.31	1.31	1.31
L-Lisina	0.29	0.29	0.29	0.29	0.9	0.9	0.9	0.9
DL-Metionina	0.38	0.38	0.38	0.38	0.49	0.49	0.49	0.49
L-Treonina	0.10	0.10	0.10	0.10	0.36	0.36	0.36	0.36
L-Triptofano	-	-	-	-	0.06	0.06	0.06	0.06
Ingredientes constantes*	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Mezcla de enzimas(g)	-	0.026	0.03	0.02	-	0.026	0.03	0.02
Pectinasa (ml)	-	-	-	15	-	-	-	15
-----								
COMPOSICIÓN CALCULADA (%)								
PC	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
Calcio	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
Fósforo disponible	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Lisina	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44
Metionina	0.71	0.71	0.71	0.71	0.67	0.67	0.67	0.67
Met+Cis	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08

Treonina	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
Triptofano	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23
EM (Mcal)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

<sup>a</sup>Dietas sin enzimas (testigo), <sup>b</sup>Mezcla de enzimas, <sup>1</sup>Dieta a base de pasta de soya, <sup>2</sup>Dieta a base de semilla de lupino descascarada. \*Todas las dietas contenían 0.3% de Cloruro de sodio, 0.05% de Coccidiostato y 0.3% de Premezcla de vitaminas y minerales que aportarían por kilogramo de alimento: vitamina A, 12,000 UI; vitamina D3, 1,000 UI; vitamina E, 60 UI; vitamina K, 5.0 mg; vitamina B2, 8.0 mg; vitamina B12, 0.030 mg; ácido pantoténico, 15 mg; niacina, 50 mg; ácido fólico, 1.5 mg; colina, 300 mg; biotina, 0.150 mg; tiamina, 3.0 mg. Minerales: Fe, 50.0 mg; Zn, 110 mg; Mn, 100 mg; Cu, 12.0 mg; Se, 0.3 mg; I, 1.0 mg.

Cuadro 5. Composición de las dietas de finalización evaluadas (día 15 a 49)

INGREDIENTE (%)	DPS <sup>1</sup>				DSL <sup>2</sup>			
	ME0 <sup>a</sup>	ME1 <sup>b</sup>	ME2 <sup>b</sup>	ME3 <sup>b</sup>	ME0 <sup>a</sup>	ME1 <sup>b</sup>	ME2 <sup>b</sup>	ME3 <sup>b</sup>
Maíz amarillo	63.48	63.48	63.48	63.48	55.12	55.12	55.12	55.12
Pasta de Soya	28.67	28.67	28.67	28.67	-	-	-	-
Semilla de lupino	-	-	-	-	34.15	34.15	34.15	34.15
Aceite de soya	3.00	3.00	3.00	3.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Fosfato dicálcico	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Carbonato de calcio	1.90	1.87	1.87	1.88	1.97	1.95	1.94	1.95
L-Lisina	0.19	0.19	0.19	0.19	0.66	0.66	0.66	0.66
DL-Metionina	0.28	0.28	0.28	0.28	0.37	0.37	0.37	0.37
L-Treonina	0.03	0.03	0.03	0.03	0.24	0.24	0.24	0.24
L-Triptofano	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03
Ingredientes constantes*	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Mezcla de enzimas(g)	-	0.02	0.03	0.02	-	0.02	0.03	0.02
Pectinasa (ml)	-	-	-	15.00	-	-	-	15.00
COMPOSICIÓN CALCULADA (%)								
PC	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
Calcio	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Fósforo disponible	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Lisina	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Metionina	0.60	0.60	0.60	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50
Met+Cis	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Treonina	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Triptofano	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
EM (Mcal)	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10

<sup>a</sup>Dietas sin enzimas (testigo), <sup>b</sup>Mezcla de enzimas, <sup>1</sup>Dieta a base de pasta de soya, <sup>2</sup>Dieta a base de semilla de lupino descascarada. \*Todas las dietas contenían 0.3% de Cloruro de sodio, 0.05% de Coccidiostato, 0.3% de pigmento y 0.3% de Premezcla de vitaminas y minerales que aportarían por kilogramo de alimento: vitamina A, 12,000 UI; vitamina D3, 1,000 UI; vitamina E, 60 UI; vitamina K, 5.0 mg; vitamina B2, 8.0 mg; vitamina B12, 0.030 mg; ácido pantoténico, 15 mg; niacina, 50 mg; ácido fólico, 1.5 mg; colina, 300 mg; biotina, 0.150 mg; tiamina, 3.0 mg. Minerales: Fe, 50.0 mg; Zn, 110 mg; Mn, 100 mg; Cu, 12.0 mg; Se, 0.3 mg; I, 1.0 mg.

#### 5.2.1.2 Pollos, alojamiento y manejo

Las dietas se asignaron al azar a 240 pollos machos (Ross 308) de un día de edad, cada dieta se ofreció a seis unidades experimentales de cinco pollos cada uno. Los pollos se alojaron en corrales de 1 m<sup>2</sup> con cama de viruta de madera, con un régimen de iluminación de 23 h luz durante las primeras dos semanas y posteriormente se disminuyó a 12 h. La temperatura ambiental fue de 33°C al inicio del experimento y a partir de la semana 3 se redujo a 21°C. El agua y el alimento se ofrecieron *ad libitum* en bebederos automáticos y comederos de tolva.

#### *Comportamiento productivo*

Los pollos se pesaron a un día de edad y posteriormente cada semana, se registró el peso vivo, el consumo de alimento y la conversión alimenticia. Todas las variables se midieron por semana, aunque solo se reportaran los datos acumulados. El periodo de engorda tuvo una duración de siete semanas (iniciación y finalización). Para el registro de datos se utilizó una balanza con aproximación de un gramo marca Torrey con capacidad para 5000 g.

#### 5.2.2 Lesiones en patas

Las variables de bienestar animal se midieron en los 240 pollos del experimento a los 35, 42 y 49 días de edad.

#### *5.2.2.1 Habilidad para caminar*

Se utilizó la metodología descrita por Kestin *et al.* (1992) y modificada por Garner *et al.* (2002); los cuales asignan una calificación de 0 a 6 según sea la facilidad con la que el ave se desplaza. Se asigna 0 cuando el ave muestra una locomoción suave y fluida; 1, si el ave muestra un andar inestable o tambaleante; 2, si en los 20 segundos de observación se puede identificar la pierna que produce el cojeo; 3, si el ave se pone en cuclillas, pero si el observador se acerca o la toca se levanta en cinco segundos o menos; 4, el ave permanece en cuclillas aunque se le acerque el observador o la toque por 5 segundos y el puntaje de 5 se asigna cuando el ave presenta completa cojera, es incapaz de moverse o pararse aunque el evaluador se acerque.

#### *5.2.2.2 Angulación de patas Valgus/varus*

Se midió el grado de angulación de patas en base a la metodología descrita por Leterrier y Nys (1992). Dependiendo de la gravedad de angulación tibia-metatarso se asignaron cuatro calificaciones: 0, se asignó a pollos sin problemas (menos de 10° de angulación), 1 a pollos con ligera angulación (angulación de 10-25°), 2 a pollos con angulación notable (angulación de 25-45°) y 3 a pollos con angulación severa (ángulo de 45° o más).

#### *5.2.2.3 Latencia a postrarse*

Para esta prueba se utilizó la metodología descrita por Berg y Sanotra (2003). El fundamento de la técnica obedece al hecho de que el contacto corporal con el agua caliente genera incomodidad, por lo que el ave evitará postrarse. Cada ave se colocó en un recipiente de plástico sin contacto visual con otras aves y con 3 cm de agua a 32 ° C. Se registró el tiempo hasta que el ave se postró por completo, si el ave permanecía de pie por más de 600 segundos la prueba se suspendía.

#### 5.2.2.4 Lesiones de almohadillas plantares

Se revisaron ambas patas de todas las aves para evaluar lesiones en el cojinete del pie según la metodología descrita por Su *et al.* (1999). Se basa en un puntaje combinado para ambas patas de 0 a 3, donde: 0 se asignó a aves con patas sin signos de daño; 1 a aves con lesión pequeña en el área de la almohadilla (<5%); 2 a pollos con poca lesión en el área de la almohadilla (<25%) y 3 para aves con patas con quemaduras graves, úlceras grandes llenas de costra (área con lesión en almohadilla mayor al 25%).

#### 5.2.3 Tamaño de órganos digestivos

Los pollos sacrificados para la recolección del contenido ileal también se utilizaron para medir el tamaño de órganos digestivos. Muertos los pollos se abrió el abdomen y se extrajo el sistema digestivo para medir la longitud del intestino delgado y de los ciegos con una cinta métrica sobre una superficie de tela húmeda, se removió el mesenterio del intestino y se registró el peso vacío del buche, proventrículo, molleja, intestino delgado y ciegos, también se obtuvo el peso de hígado, bazo y páncreas.

### 5.3 Experimento 3. Energía Metabolizable aparente y Digestibilidad Ileal de la dieta

#### 5.3.1 Recolección de excretas

La EMA se calculó por el método de recolección de excretas, para ello se añadió dióxido de Titanio ( $3 \text{ g kg}^{-1}$  de alimento) como marcador no digerible a las dietas experimentales y se administró *ad libitum* junto con el agua a los pollos durante los cuatro días de adaptación (día 42-45) y los tres días de recolección de excretas (días 46-48), los contaminantes como plumas, alimento y escamas se eliminaron cuidadosamente de las muestras antes de ser almacenadas a  $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , las excretas recolectadas de cada unidad experimental de los tres días se mezclaron y formaron una repetición.

### 5.3.2 Recolección de contenido ileal

Al día 49 se sacrificaron dos pollos por unidad experimental (12 por tratamiento) con un cuchillo aturdidor siguiendo los lineamientos de la Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2015, inmediatamente después, se abrió el abdomen y se expuso el tracto intestinal, se hizo un corte después de la ligadura del fleon para evitar los movimientos *post mortem* y se recolectó el contenido intestinal 2 cm posterior al divertículo de Meckel y a 2 cm antes de la unión ileo-cecal colónica. El contenido intestinal de dos pollos se combinó para formar una repetición. El material se colocó directamente en bolsas de plástico y se almacenó a -20 °C, la recolección del contenido intestinal duró menos de tres minutos por pollo.

### 5.3.3 Análisis químico

Las dietas, excretas y contenido ileal se sometieron a un proceso de liofilización (Labconco, Labconco Corporation, Kansas City, Missouri, EE. UU.) posteriormente se determinó la materia seca (MS) y proteína cruda (PC) (AOAC,1990).

La energía de las dietas y excretas se determinó usando un calorímetro isoperibólico (PARR 1266, Parr Instrument Company, Moline, Illinois, EE. UU.). La concentración de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) se calculó siguiendo la metodología descrita por Myres *et al.*, (2004).

### 5.3.4 Cálculos

Los coeficientes de D<sub>ia</sub> de la MS, PC y el contenido de EMa de las dietas se calcularon con la relación del dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>) con respecto al contenido del nutriente en cuestión en la dieta, contenido ileal o excreta, usando las siguientes fórmulas:

- $D_{ia} MS = [(1/TiO_2)_{dieta} - (1/TiO_2)_{contenido\ ileal}] / (1/TiO_2)_{dieta}$
- $D_{ia} PC = [(PC/TiO_2)_{dieta} - (PC/TiO_2)_{contenido\ ileal}] / (PC/TiO_2)_{dieta}$

Donde, los contenidos de TiO<sub>2</sub> y PC en la dieta y quimo se dan en gramos.

- $EMa \text{ (kcal/kg)} = GE_{dieta} - [GE_{excreta} \times (TiO_{2dieta}/TiO_{2excreta})] - 8.22 \times \{ \%N_{dieta} - [\%N_{excreta} \times (TiO_{2dieta}/TiO_{2excreta})] \}$

Donde, GE es la energía bruta (kcal / kg), N el nitrógeno y TiO<sub>2</sub> el marcador. La EMa se corrigió con un balance de nitrógeno cero usando 8.22 kcal / g de N retenido (Hill y Anderson, 1958).

#### 5.4 Diseño experimental y análisis estadístico

Las variables PV, CAL, CA, EMa, DIaMS, DIaPC y tamaño de órganos se analizaron utilizando un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x4 (dos FP y cuatro ME), mediante el procedimiento GLM y las variables de patas mediante el procedimiento GLIMMIX del paquete estadístico de SAS (SAS Institute Inc. 2011). La diferencia estadística se estableció con valor de P<0.05 y las medias se separaron mediante la prueba de Tukey.

El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + d_{ji} + P_j + (TP)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:  $Y_{ijk}$ = variables respuesta,  $i= 1,2,3,4,5,6,7,8$ ;  $J= 1,2,3,4,5,6,7$ ;  $k= 1,2,3,4,5,6$ ;  $\mu$ = media general,  $T_i$ = Efecto del i-ésimo tratamiento en la variable respuesta,  $P_j$ = Efecto del j-ésimo período,  $(TP)_{ij}$ = Interacción tratamiento por periodo  $i$ = número de tratamiento;  $J$ = número de semanas;  $k$ = número de repeticiones;  $\varepsilon_{ijk}$ = error experimental.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Producción y composición química de la semilla

El costo de producción por kilogramo de semilla fue de \$11.66 con un rendimiento bajo condiciones de temporal de 270 kg con cáscara (Cuadro 1) y 220 kg sin cáscara. El análisis

proximal y de Van Soest dieron como resultado un contenido de MS de 84.5%, 38.32% de PC, 5.72% de EE, 7.26% de FC, 14.23% de FDN, 12.23% de FDA, 3.82% de CEN, 6.38% de lignina y 11.47% de pectina en semilla sin cáscara (Cuadro 3).

Cuadro 6. Composición química de semilla descascarada de lupino  
(*Lupinus angustifolius* L. var. Sonate)

NUTRIENTE	%
Materia Seca	88.26
Cenizas	3.82
Proteína cruda*	38.32
Extracto Etéreo	5.72
Fibra cruda	7.26
Fibra detergente neutro	12.23
Fibra detergente ácido	14.26
Lignina	6.38
Pectina	11.47

\*(N\*6.25)

6.2 Comportamiento productivo, lesiones en patas y tamaño de órganos digestivos en pollo de engorda

6.2.1 Comportamiento productivo

6.2.1.1 Consumo de alimento (CAL)

Solamente la interacción FPxME fue significativa ( $P < 0.05$ ). Los pollos alimentados con DPS con ME1 y con ME2, mostraron mayor CAL, el resto de los tratamientos mostraron un CAL igual al de los pollos alimentados con DPS sin enzimas y DSLD sin enzimas (Figura 6).

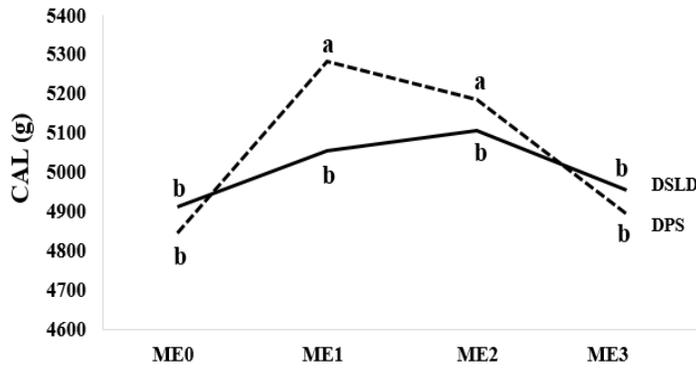


Figura 6. Efecto de la interacción FP×ME en consumo de alimento (CAL) de pollos alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad. Valor de P (FP×ME)=0.01. Error estándar =64.13. ME0 (Testigos): Dietas sin enzimas, ME1, ME2 y ME3 indican las mezclas de enzimas evaluadas, DPS: Dietas a base de pasta de soya, DSLD: Dietas a base de semilla de lupino descascarada.

#### 6.2.1.2 Peso Vivo (PV)

La interacción FP×ME fue significativa ( $P < 0.05$ ) (Figura 7). Los pollos alimentados con DSLD sin enzimas, DPS con ME1 y con ME2 fueron aproximadamente 9% más pesados que el testigo (DPS sin enzimas); Adicionalmente, los pollos alimentados con DSLD con ME2 y con ME3 tuvieron pesos similares a los pollos de la dieta testigo (DPS sin enzimas). Los pesos más bajos (7%) se obtuvieron en los pollos que recibieron DSLD con ME1 y PS con ME3.

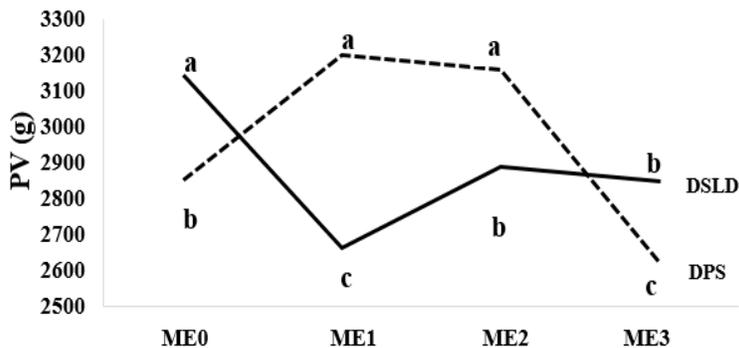


Figura 7. Efecto de la interacción FP×ME en peso vivo (PV) de pollos alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad. Valor de P (FP×ME)=0.002. Error estándar= 48.67. ME0 (Testigos): Dietas sin enzimas, ME1, ME2 y ME3 indican las mezclas de enzimas evaluadas, DPS: Dietas a base de pasta de soya, DSLD: Dietas a base de semilla de lupino descascarada.

### 6.2.1.3 Conversión alimenticia

La interacción FP×ME fue significativa ( $P < 0.05$ ), los pollos alimentados con la dieta de SDL con ME 1 tuvieron la CA más alta. No se observaron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre los pollos alimentados con PS con y sin ME; asimismo, se encontró la misma respuesta en los pollos alimentados con SDL con la ME 2 y la ME3. Con las dietas de SDL sin enzimas los pollos presentaron las CA más baja (Figura 8).

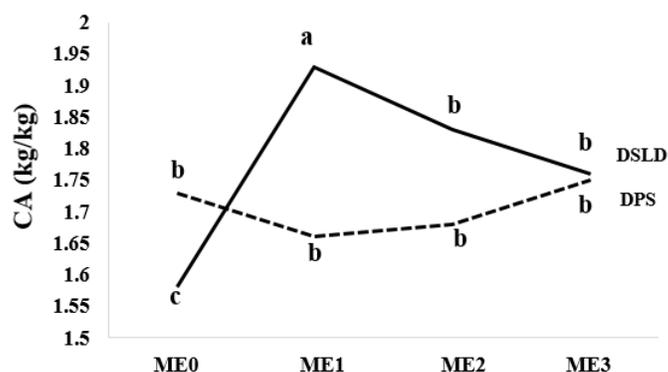


Figura 8. Efecto de la interacción FP×ME en conversión alimenticia (CA) de pollos alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad. Valor de P (FP×ME)=0.01. Error estándar =0.04. ME0 (Testigos): Dietas sin enzimas, ME1, ME2 y ME3 indican las mezclas de enzimas evaluadas, DPS: Dietas a base de pasta de soya, DSLD: Dietas a base de semilla de lupino descascarada.

### 6.2.3 Lesiones en Patas

#### 6.2.3.1 Habilidad para caminar (Hc)

La interacción FPxME fue significativa ( $P<0.05$ ) para la variable Hc (Cuadro 6), donde se observa que los pollos alimentados con DPS disminuyeron ( $P<0.05$ ) la frecuencia de calificaciones 3. Contrariamente a los pollos alimentados con DSLD que, al adicionar enzimas la frecuencia de calificaciones 3 aumentó ( $P<0.05$ ).

Cuadro 7. Efecto de la interacción fuente de proteína (FP) x mezcla de enzimas (ME) en la frecuencia de la habilidad para caminar (Hc) en pollos de engorda alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad.

Tratamiento	Calificación*						Valor de P		
	0	1	2	3	4	5	FP	ME	FPxME
DPS (sin enzimas)	3.33	26.67	40.00	30.00	0.00	0.00	0.05	0.19	0.0001
DPS-ME 1	0.00	26.67	56.67	16.67	0.00	0.00			
DPS-ME 2	0.00	13.13	60.00	26.67	0.00	0.00			
DPS-ME 3	0.00	33.33	56.67	10.00	0.00	0.00			
DSL D (sin enzimas)	6.67	36.67	53.33	3.33	0.00	0.00			
DSL D-ME 1	0.00	30.00	36.67	33.33	0.00	0.00			
DSL D-ME 2	0.00	33.33	53.33	13.33	0.00	0.00			
DSL D-ME 3	0.00	26.67	53.33	20.00	0.00	0.00			

\*Brevemente, una puntuación de 0 denota un ave con locomoción fluida y 5 se asigna cuando el ave presenta completa cojera, es incapaz de moverse o pararse, aunque el evaluador se acerque. (Garner *et al.*, 2002).

#### 6.2.3.2 Angulación de patas (An) Valgus/varus

La ME fue significativa ( $P<0.05$ ), los pollos alimentados con la dieta sin enzimas, con la ME 1 y ME 3 presentaron mayor An *Valgus/varus*. Contrariamente, los pollos alimentados con la ME 2 presentaron la menor An (Cuadro 7). La FP y la interacción FPxME no produjeron efecto ( $P>0.05$ ).

Cuadro 8. Efecto de la mezcla de enzima (ME) en la frecuencia de angulación *Valgus/varus* de patas (An) de pollos de engorda alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad.

	Calificación*				Valor de P		
	0	1	2	3	FP <sup>2</sup>	ME	FPxME <sub>3</sub>
Testigo <sup>1</sup>	1.67	20.00	46.67	31.67			
ME1	5.00	21.67	45.00	28.33	<b>0.81</b>	<b>0.02</b>	<b>0.09</b>
ME2	-	41.67	43.33	15.00			
ME3	1.67	30.00	45.00	23.33			

\*Brevemente, una puntuación de 0 denota un pollo con angulación tibia-metatarso menor a 10° y 3 a pollos con angulación severa (45° o más) (Letierrier y Nys,1992).

<sup>1</sup>Dietas sin enzimas

<sup>2</sup>Fuente de proteína

### 6.2.3.3 Latencia a postrarse

La FP produjo efecto ( $P < 0.05$ ) en la variable Lp (Cuadro 8), donde se observa que los pollos alimentados con DPS presentaron una mayor resistencia a postrarse. Contrariamente, los pollos alimentados con DSLD presentaron la menor resistencia. La ME y la interacción FPxME no produjeron efecto ( $P > 0.05$ ).

Cuadro 9. Efecto de la fuente de proteína (FP) en la latencia a postrarse (Lp) en pollos de engorda alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad.

	Fuente de proteína		Mezcla de enzimas (ME)				EE	Valor de P		
	DPS	DSLDD	Testigo <sup>1</sup>	ME1	ME2	ME3		FP	ME	FPxME
Tiempo (segundos)	429a	369b	361	357	434	443	<b>25.34</b>	<b>0.04</b>	<b>0.08</b>	<b>0.96</b>

Brevemente, el contacto corporal con el agua caliente (32° C) genera incomodidad, por lo que el ave evitará postrarse. Si el ave permanecía de pie por más de 600 segundos la prueba se suspendía (Berg y Sanotra, 2003).

<sup>1</sup>Dietas sin enzimas

<sup>ab</sup>Letras diferentes en una fila indican una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ).

### 6.2.3.4 Lesiones en almohadillas

La FP, la ME y la interacción FPxME no afectó ( $p > 0.05$ ) la frecuencia de lesiones en almohadillas plantare en los pollos del experimento.

#### 6.2.4 Tamaño de órganos digestivos

La interacción FPxME produjo efecto ( $P<0.05$ ) en el peso relativo del intestino delgado. Los pollos alimentados con DSLD con ME 1 y DPS con ME 2 tuvieron un intestino delgado más pesado ( $P<0.05$ ); Por otro lado, aquellos pollos alimentados con DPS con ME 3 presentaron el peso relativo más bajo y los tratamientos restantes mostraron valores intermedios (Figura 9)

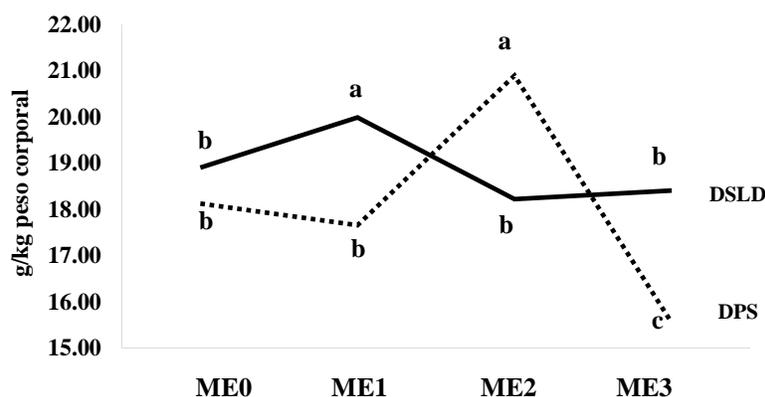


Figura 9. Efecto de la interacción FPxME en peso relativo del intestino delgado de pollos alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad. Valor de P (FPxME)=0.04. Error estándar =1.9. ME0 (Testigos): Dietas sin enzimas, ME1, ME2 y ME3 indican las mezclas de enzimas evaluadas, DPS: Dietas a base de pasta de soya, DSLD: Dietas a base de semilla de lupino descascarada.

La interacción FPxME fue significativa ( $P<0.05$ ) en el peso relativo del hígado (Figura 10), donde se observa que el peso del hígado fue mayor en los pollos alimentados con DSLD con ME 1. Los pollos alimentados con DSLD sin enzimas, DPS con ME 1, DPS con ME 2, DSLD con ME 2, DPS con ME 3 y DSLD con ME 3 presentaron el hígado más pequeño y los pollos alimentados con DPS sin enzimas mostraron un peso intermedio.

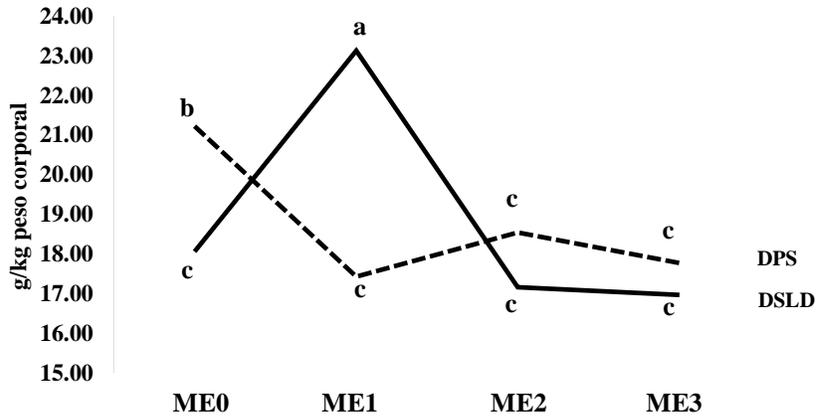


Figura 10. Efecto de la interacción FP×ME en peso relativo del hígado de pollos alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad. Valor de P (FP×ME)=0.002. Error estándar =1.8. ME0 (Testigos): Dietas sin enzimas, ME1, ME2 y ME3 indican las mezclas de enzimas evaluadas, DPS: Dietas a base de pasta de soya, DSLD: Dietas a base de semilla de lupino descascarada.

La interacción FP×ME afectó ( $P < 0.05$ ) el peso relativo del bazo, fue más alto en los pollos alimentados con DPS y DSLD sin enzimas, los pollos alimentados con DPS y DSLD con ME 3 presentaron los pesos más bajos y los pollos alimentados con DPS y DSLD con ME 1 y PS y DSLD con ME 2 presentaron valores intermedios (Figura 11).

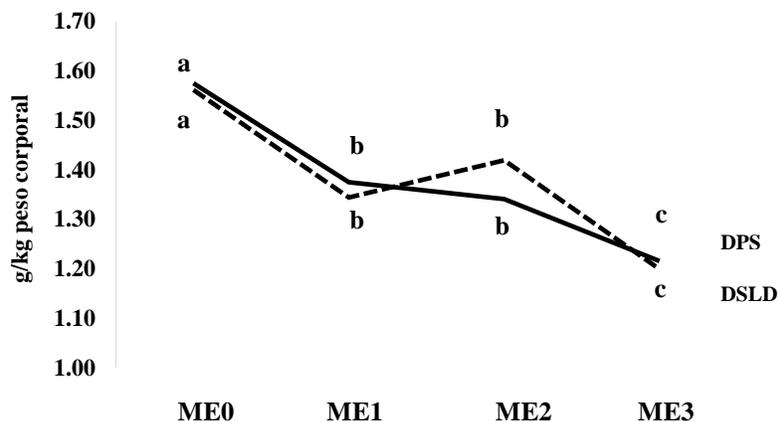


Figura 11. Efecto de la interacción FP×ME en peso relativo del bazo de pollos alimentados con DPS o DSLD con y sin enzimas a las 7 semanas de edad. Valor de P (FP×ME)=0.004. Error estándar =0.12. ME0 (Testigos): Dietas sin enzimas, ME1, ME2 y ME3 indican las

mezclas de enzimas evaluadas, DPS: Dietas a base de pasta de soya, DSLD: Dietas a base de semilla de lupino descascarada

### 6.3 Digestibilidad ileal aparente

#### 6.3.1 Digestibilidad Ileal aparente de la materia seca (DIaMS)

La interacción FPxME fue significativa ( $P<0.05$ ). Los pollos alimentados con DSLD sin enzimas, DPS con ME2 y DSLD con ME3 tuvieron la DIaMS más alta. Contrariamente, la DIaMS más baja se obtuvo con DSLD con ME1 y DPS con ME3. DPS sin enzimas, DPS con ME1 y DSLD con ME2 presentaron valores intermedios (Figura 12).

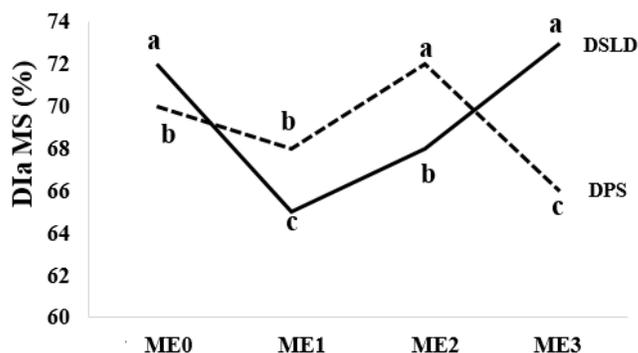


Figura 12. Efecto de la interacción FP×ME en digestibilidad ileal aparente de la materia seca (DIaMS) de DPS o DSLD con y sin enzimas de pollos a las 7 semanas de edad. Valor de P (FPxME)= $<0.0001$ . Error estándar =0.46. ME0 (Testigos): Dietas sin enzimas, ME1, ME2 y ME3 indican las mezclas de enzimas evaluadas, DPS: Dietas a base de pasta de soya, DSLD: Dietas a base de semilla de lupino descascarada.

#### 6.3.2 Digestibilidad Ileal de la proteína cruda (DIaPC)

La interacción FPxME fue significativa ( $P<0.05$ ). Los pollos alimentados con DSLD sin enzimas, DPS con ME2 y DSLD con ME3 tuvieron la DIaPC más alta. Contrariamente, la DIaPC más baja se obtuvo con DSLD con ME1 y DPS con ME3; DPS sin enzimas, DPS con ME1 y DSLD con ME2 presentaron valores intermedios (Figura 13).

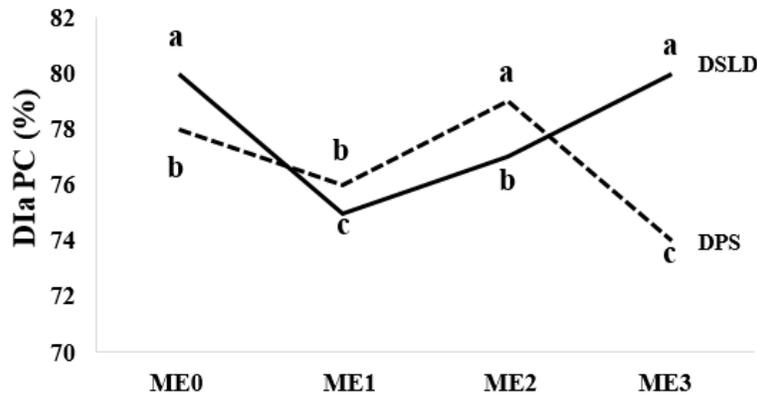


Figura 13. Efecto de la interacción FP×ME en digestibilidad ileal aparente de la proteína cruda (DIaPC) de DPS o DSLD con y sin enzimas de pollos a las 7 semanas de edad. Valor de P (FP×ME)=<0.0001. Error estándar =0.36. ME0 (Testigos): Dietas sin enzimas, ME1, ME2 y ME3 indican las mezclas de enzimas evaluadas, DPS: Dietas a base de pasta de soya, DSLD: Dietas a base de semilla de lupino descascarada.

#### 6.4 Energía metabolizable aparente de la dieta

La interacción FP×ME fue significativa ( $P<0.05$ ) para la variable EMa (Figura 6), donde se observa que DPS sin enzimas, con ME1, ME2 y DSLD con ME3 presentaron el mayor ( $P<0.05$ ) contenido de EMa. DSLD con ME1 tuvo la EMa más baja y los tratamientos restantes mostraron valores intermedios (Figura 14).

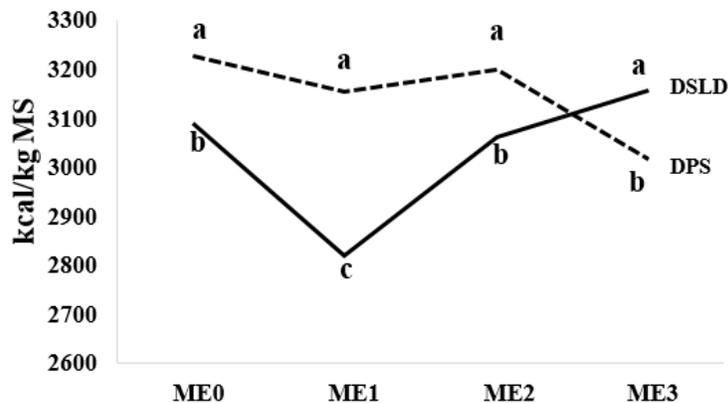


Figura 14. Efecto de la interacción FP×ME en energía metabolizable aparente de la dieta (EMa) de DPS o DSLD con y sin enzimas de pollos a las 7 semanas de edad. Valor de P (FP×ME)=<0.0001. Error estándar =22.04. ME0 (Testigos): Dietas sin enzimas, ME1, ME2 y ME3 indican las mezclas de enzimas evaluadas, DPS: Dietas a base de pasta de soya, DSLD: Dietas a base de semilla de lupino descascarada.

## 7. DISCUSIÓN

El cultivo de lupino presentó un buen desarrollo bajo las condiciones de este trabajo, el rendimiento de semilla fue de 270 kg. FIA, (2007) y Mera, (2016) reportan rendimientos de 300-500 kg en la misma superficie, pero con variedades mejoradas que se utilizan para la alimentación humana; el mayor rendimiento de semilla se puede atribuir también al nivel de tecnificación y a la fertilización, ya que dichos autores tienen una densidad de siembra mucho mayor, además de haber fertilizado. Después de retirar la cubierta de la semilla (testa) el rendimiento mermo en un 20%, lo que coincide con lo reportado por Sipsas y Glencroos (2005) quienes concluyen que testa es aproximadamente el 25% del peso total de la semilla, aunque ésta se puede incrementar si la planta se encuentra en condiciones de estrés.

El costo de producción por kg de semilla fue de \$11.66 (Anexo 1), mientras que la FIA (2007) reporta costos de producción menor a 5<sup>00</sup>, esta diferencia del más del doble en el costo de producción se debe principalmente a los costos de siembra, manejo y cosecha, al uso de fertilizante y semilla mejorada (Ramos *et al.*, 2013). En Chile lupino es considerado un cultivo básico, por lo que se tienen grandes explotaciones con un alto nivel de tecnificación, lo que disminuye los costos. Si se disminuye la distancia entre surcos, se aumenta la densidad de siembra y se fertiliza, se podrían obtener rendimientos superiores a los obtenidos en este estudio, lo cual disminuiría el costo de producción hasta en un cincuenta por ciento.

La composición química de la semilla de lupino indica que es una buena fuente de proteína vegetal, el contenido de proteína y fibra cruda de la semilla cosechada en este estudio fue de 27 % y 18 % respectivamente, estos valores de proteína son menores a lo reportado en estudios previos (Kaczmarek *et al.*, 2014), quienes obtuvieron 31% en semilla con cáscara de la misma variedad, debido probablemente al constante mejoramiento genético de la semilla en las características agronómicas y nutrimentales. Sin embargo, al descascarar

nuestra semilla, aumentó a 38.3 % la PC y disminuyó a 7% la FC. El efecto del descascarado ya ha sido reportado en otros trabajos e indican que la remoción de la cáscara en semillas de lupino disminuyó el contenido de PNA, e incrementó la EMa y las concentraciones de aminoácidos (Nalle *et al.*, 2010).

Las variables productivas acumuladas (CAL, PV y CA) de los pollos alimentados con DSLD sin enzimas fueron mejores o iguales a los pollos alimentados con DPS con y sin enzimas (Figura 1, 2 y 3). Estos resultados son contrarios a los reportados en investigaciones previas donde la inclusión de lupino en dietas para pollo de engorda disminuyeron el rendimiento productivo de los pollos (Smulikowska *et al.*, 2014).

Jansen *et al.*, (2012) mencionan que los alcaloides pueden ocasionar problemas respiratorios, deformidad en huesos o parálisis en pollos de engorda; sin embargo, se ha reportado que las variedades modernas de lupino contienen concentraciones de alcaloides inferiores a 0.05% (Suca G y Suca, 2015), lo que coincide con los resultados de nuestro trabajo donde no se presentaron estos problemas específicos en DSLD por lo que se puede inferir que el efecto anti nutricional de estos compuestos fue mínimo (Brand *et al.*, 2018).

Además, aunque no se determinó la cantidad de PNA en la semilla sin cáscara, se puede inferir que el contenido fue menor que en semilla completa, ya que al retirar la cáscara la concentración de estos compuestos disminuye (Nalle *et al.*, 2010), lo que se corroboró con la baja presencia de heces viscosas en los corrales de los pollos alimentados con DSLD pues la viscosidad del quimo es un indicador de una alta concentración de PNA (Smulikowska, 1998).

La suplementación con enzimas a DSLD no tuvo efecto favorable con respecto a la dieta de SLD sin enzimas, ya que las variables productivas evaluadas se comportaron igual o peor, lo que indica que las enzimas no fueron efectivas en degradar los PNA de la DSLD y no tuvo

el efecto esperado. La actividad de las enzimas depende de factores como las características del sustrato y del intervalo de actividad enzimática (Camiruaga, 2001) y el estado fisiológico del animal (Kaczmarek et al., 2016). Para contrarrestar los efectos adversos de las pectinas en lupino se requiere de una combinación de dos pectinasas (poligalacturonasa y pectina metil esterase) ya que es necesaria de enzimas específicas que desmetilen la cadena de pectina y otras que rompan los enlaces glucosídicos (Ali, 2006), en este trabajo solo se adicionó una pectinasa, lo cual sugiere que la enzima utilizada no fue la adecuada.

Las xilanasas empleadas en este estudio (ME1 y ME2) mejoraron las variables evaluadas en los pollos alimentados con DPS, mostraron mayor CAL y PV que los pollos alimentados con DPS sin enzimas; sin embargo, la pectinasa (ME3) no mejoró el comportamiento productivo de los pollos teniendo resultados similares o más bajos con respecto a los pollos alimentados con DPS sin enzimas. La mayoría de las enzimas en el mercado mexicano son elaboradas para dietas a base de maíz y PS que contienen principalmente Arabino-xilanas (Cortés, 2002), lo cual coincide con los resultados de la ME1 y ME2 de este estudio que fueron más eficientes en SPD en comparación con DSLD.

Kestin *et al.*, (1992) mencionan que entre mayor sea el peso corporal del ave, tendrá una menor Hc. La An *Valgus/varus* anormal puede ser ocasionada por un rápido crecimiento del ave (Applegate y Lilburn, 2002) o por una deformación ósea (Leterrier y Nys, 1992). Sin embargo, en nuestro estudio no se encontró una relación entre el peso del ave y la Hc, aunque la adición de enzimas en DPS redujo la frecuencia de calificaciones 3 en la Hc y An *Valgus/varus*, mientras que en DSLD aumentaron.

Nuestros resultados pueden ser explicados por la deficiencia de fosforo en DPS sin fitasa (testigo) lo cual pudo afectar la mineralización del hueso, aumentando la frecuencia de calificaciones 3 en la Hc y An *Valgus/varus*.

La frecuencia de calificaciones 3 en pollos alimentados con DSLD con enzimas fue mayor a los pollos alimentados con DPS con enzimas. Esto podría ser debido a que los pollos alimentados con DSLD con y sin enzimas presentaron un consumo igual o menor con respecto a los pollos alimentados con DPS sin enzimas lo cual redujo el consumo de fitasa y disminuyó su acción en el fosforo inorgánico, además, no se tiene registro de la utilización de esta enzima en lupino por lo que esta evaluación nos sugiere una baja eficiencia de esta enzima en un ingrediente alternativo a la PS.

Los pollos alimentados con DPS presentaron una mayor Lp que aquellos alimentados con DSLD, posiblemente al mayor consumo de alimento, lo que aumento el consumo de fitasa y dio como resultado una mejor calcificación del hueso y una resistencia a postrarse.

El aumento en el peso relativo del intestino delgado e hígado de los pollos alimentados con DSLD con la ME1 puede ser atribuido a la xilanas utilizada en este estudio que no tuvo el efecto esperado en el desempeño productivo de los pollos por lo que el aumento en el tamaño de los órganos digestivos pudo ser una adaptación fisiológica de las aves para aumentar la capacidad de absorción como respuesta al efecto de los PNA en la dieta de lupino (Olkowski *et al.*, 2005). La disminución en el peso relativo del bazo con la inclusión de enzimas en PS o SLD sugiere que las enzimas deprimieron el sistema inmune, aunque no se observó la presencia de enfermedades durante la evaluación en las aves.

La interacción FPxME fue significativa para la DIaMS ( $P < 0.05$ ), notando que las ME produjeron un efecto diferente en las fuentes de proteína (DPS o DSLD). Con respecto a las dietas sin enzimas se observó una diferencia a favor de DSLD. En este estudio el coeficiente de DIaMS varió de 65 a 73%, valores que son mayores a los reportados por otros autores de 61.5% con la misma variedad (Kaczmarek, 2014). Esta mayor DIaMS con las dietas de DSLD sin enzimas y con ME3 se reflejaron en el PV y en la CA. Nalle *et al.*, (2011) no

observaron diferencias en las variables de GP CAL y CA durante la etapa de iniciación en pollos de engorda con 3 ecotipos de lupino diferentes al empleado en este estudio, lo que confirma parcialmente los resultados del presente estudio.

No todas las ME utilizadas en este estudio tuvieron un efecto benéfico con respecto al testigo, ya que se encontraron valores productivos menores; similares resultados han sido reportados anteriormente (Steenfeldt, 2003) quienes utilizaron tres enzimas y dos mezclas en dietas con *L. angustifolius* y no encontraron efecto positivo en las variables productivas de los pollos a los 21 días de edad con respecto al testigo.

Los resultados de la DIaPC con DSLD sin enzimas fueron ligeramente mayores a los de DPS ( $P < 0.05$ ; 80 vs 78%), lo que indica que la DIaPC de DSLD es tan buena como la DPS. Esto corrobora los resultados obtenidos con las variables productivas (PV y CA).

En trabajos previos se ha determinado la DIaPC en pollos al día 21 con ecotipo ( $300 \text{g kg}^{-1}$ ) y enzimas diferentes y obtuvieron coeficientes de DIaPC de 85.9-89.1%, valores mayores a los obtenidos en este estudio, y concluyeron que la suplementación con enzimas no mejoró la GDP y la CA (Mieczkowska et al., 2004), lo que coincide parcialmente con los resultados de ME1 y ME2 en DSLD de este estudio.

El contenido de EMa fue diferente con DPS o DSLD sin enzimas y con cada una de las ME. La ME3 fue la única que afectó a las dos FP, aunque DSLD produjo menor EMa sin enzimas que DPS, pero con la ME3 fue igual; Contrariamente DPS produjo menor EMa con ME3. Los PNA presentes en la semilla de lupino dificultan el acceso de las enzimas digestivas al almidón, grasa y proteína (Caprita, 2010) ya que aumenta la viscosidad del contenido intestinal (Hughes, 2000), lo que disminuye la cantidad de EMa en las dietas (Mieczkowska, 2004). Esto coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio cuando no se suplementó con enzimas, pero al suplementar con la ME3 los resultados de la EMa fueron

iguales a los de DPS. Esto sugiere que la ME3 fue más eficiente para contrarrestar los PNA de DSLD en comparación con la ME1 y ME2. Ya se ha estudiado la inclusión de enzimas en el contenido de EMa con de una dieta a base de maíz-pasta de soya y siete a base de lupino (200g kg<sup>-1</sup>) complementado con diferentes enzimas y reportaron que sin importar el tipo de enzima utilizada ( $\beta$ - galactanasas o  $\beta$ -galactosidasa) las dietas a base de lupino tuvieron menor cantidad de EMa (Steenfeldt, 2003), lo que coincide parcialmente con nuestros resultados.

## **8. CONCLUSIONES**

Las interacciones en las variables estudiadas fueron significativas ( $P < 0.05$ ). El efecto de adicionar ME3 a DSLD fue positivo sobre la EMa de la dieta, en el resto de las variables fue igual al testigo, excepto en PV y CA que fue menor. Contrariamente, adicionar ME3 a DPS produjo efectos negativos en PV, DIaMS, DIaPC y EMa y en las demás variables no tuvo efecto.

Las ME1 y ME2 no tuvieron efecto favorable en DSLD; contrariamente en DPS mejoraron todas las variables excluyendo CA y EMa que fueron iguales.

Los pollos alimentados con DSLD sin enzimas tuvieron un mejor rendimiento productivo que aquellos alimentados con DPS sin enzimas. Esto sugiere que es posible sustituir la PS por SLD variedad Sonate en dietas para pollo de engorda sin afectar las variables productivas. Esto indica que es necesario seguir investigando sobre el uso de enzimas específicas para mejorar el valor nutrimental de la semilla de lupino y de la pasta de soya.

## 9. LITERATURA CITADA

- Ali A, Williams IH, Martin GB, Sipsas S. Hydrolysis of lupin pectin by pectinases for broilers. Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium 17 2006.**
- Alderete-Chavez A., Espinosa, V., Ojeda, E., Ehsan, M., Perez, J., Cetvina, V. Rodriguez, A. y De la Cruz-Landero, N. 2008. Natural distribution and principal characteristics of lupin in the oriental face of Tlaloc montain in sierra Nevada, México. Journal of Biological Science 8(3): 604-609**
- AOAC, 1995.** Official Methods of Analysis, 16th ed. AOAC, Arlington, VA. USA
- Aviagen. 2017.** Manual de especificaciones de nutrición para pollo de engorda. Ross 308 AP.
- Applegate, J. T., and S. M. Lilburn. 2002.** Growth of the femur and tibia of a comercial broiler line. Poultry Science 81:1289-1294.
- Bach Knudsen K. E. 1997.** Carbohydrate and lignin contents of plant material used in animal feeding. Anim. Feed Sci. Technol. 67: pp. 319-338.
- Bañuelos, J., Ruíz, M. A., Soltero, R. y Castañeda, H. 2006.** Lupinos del occidente de México, estudios biológico, bioquímico y toxicológico. Universidad de Guadalajara. p 6.
- Berg, C. and Sanotra, G. S. 2003.** Can a modified latency-to-lie test be used to validate gait-scoring results in commercial broiler flocks? Anim. Welf. 12: 655-659.
- Bermúdez, K., Robledo, N., Martínez, J., Tei, A. y Wink, M. 1999 Biodiversity of the genus *lupinus* in México. Proceedings 9<sup>th</sup> Internatinal Lupin conference, Klink**

- Bermúdez, K., Robledo, N., Necha, B., y Wink, M. 2002 Alkaloid profile of leaves and seeds of lupinus hintonii. Naturforsch 57c, 243-247**
- Brand TS, Smith N, Hoffman LC, Jordaan L.** Use of sweet lupin, canola oilcake and full-fat canola as alternatives to soybean oilcake in diets for broilers. SA Journal of Animal Science 2018; 48 (3): 553- 562
- Carvajal, F.; Nout, M.; Van Boekel, M.; Koziol, M. & Linnemann, A. 2013.** Modelling of the aqueous debittering process of Lupinus mutabilis Sweet. LWT - Food Science and Technology 53: 507-516.
- Camiruaga M, Garcia F, Elera R, Simonetti C.** Respuesta productiva de pollos broilers a la adición de enzimas exógenas a dietas basadas en maíz o triticale ciencia e investigación agraria. 2001; 28(1): 23-36.
- Cortés, C. A., Águila, S. R. y Ávila, G. E. 2002.** La utilización de enzimas como aditivos en dietas para pollo de engorda. Veterinaria México, vol 33, núm 1, enero-marzo. Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México. p. 2
- Cheetham NW, Cheung PC, Evans AJ..** Structure of the principle non-starch polysaccharide from the cotyledon of Lupinus angustifolius (cultivar Gungurru). Carbohydr. Polym. 1993; 22, 37–47.
- Caprita R, Caprita A, Julean C.** Biochemical aspects of non-starch polysaccharides. Scientific papers: Anim Sci Biotechnol 2010;43(1):368-375.
- Duke, J. A., 198.** Handbook of legumes of world economic importance. Plenum Press. Ed., p 215.
- Flora de Iberia. 2011. Lupinus angustifolius (Altramuz azul).** Disponible en Web: <http://floradeiberia.com/360/lupinus-angustifolius-altramuz-azul/>.

- Financiera Rural (FIRA). 2012.** Monografía del pollo. Disponible en Web:  
[http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaPollo\(feb12\).pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaPollo(feb12).pdf).
- Garner, J. P., Falcone, C., Wakenel, P., Martin, M. and Mench, J. A. 2002.** Reliability and validity of a modified gait scoring system and its use assessing tibial dyschondroplasia in broilers. *Br. Poult. Sci.* **43**: 355-363.
- Hill, F.N. and Anderson, D.L. 1958.** Comparison of metabolizable energy and productive energy determinations with growings chicks. *Journal on nutrition*, 64, 587-603.
- Hughes R.J., Choct M., Kocher A., van Barnevald R.J., 2000.** Effect of food enzymes on AME and composition of digesta from broiler chickens fed on diets containing non-starch polysachca
- Jansen G, Jürgens HU, Schliephake E, Ordon F.** Effect of the soil pH on the Alkaloid content of *Lupinus angustifolius*. *Int J Agro.* 2012; (2012): 1-5.
- Kaczmarek SA, Kasprowicz-Potocka M, Hejdysz M, Mikula R. Rutkowski A.** The nutritional value of narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius*) for broilers. *J. Animal Feed Sci.* 2014; 23: 160-166.
- Kaczmarek, S., Hejdysz, M., Kubis, M and Rutkowski, A. 2016.** Influence of graded inclusion of white lupin (*Lupinus albus*) meal on performance, nutrients digestibility and intestinal morphology of broiler chickens. *British Poultry Science.* 57(3), 364-374.
- Kestin, S. C., Knowles, T. G., Tinch, A. E. and Gregory, N. G. 1992.** Prevalence of leg weakness in broiler chickens and its relationship with genotype. *Vet. Rec.* **131**: 190-194.

- Kojhadová, Z. J. y Karovicova, S. 2011.** Lupin composition and possible use in bakery-  
A review. Czech Journal Food Science. Pp. 203
- Leterrier, C. and Nys, Y. 1992.** Clinical and anatomical differences in varus and valgus  
deformities of chick limbs suggest different aetio- pathogenesis. Avian Pathol.  
21: 429-442
- Mieczkowska A., Smulikowska S., Nguyen C.V., 2004.** Effect of enzyme  
supplementation of white lupin (*Lupinus albus* var. Butan)-containing diets on  
performance, nutrient digestibility, viscosity, pH and passage rate of digesta in  
broiler chickens. J. Anim. Feed Sci. 13, 475–486
- Mierlita, D. and Popovici, D. 2013.** Effect of partial substitution of soybean meal with  
lupine seeds on growth and economic efficiency of broilers. university of  
agricultural sciences and veterinary medicine lasi. university of oradea, romania. p  
2,3.
- Myers WD, Ludden PA, Nayigihugu V, Hess BW. Technical Note:** A procedure for  
the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. J. Anim.  
Sci. 2004; 82: 179–183.
- Nalle CL, Ravindran G, Ravindran V.** Influence of dehulling on the apparent  
metabolisable energy and ileal amino acid digestibility of grain legumes for  
broilers. J. Sci. Food Agric. 2010; 90, 1227–1231.
- Nalle C. L., V. Ravindran and G. Ravindran. 2011.** Nutritional value of narrow-leafed  
lupin (*Lupinus angustifolius*) for broilers. British Poultry Science Volume 52,  
Number 6. Pp. 775—781

- Naveed A., T. Acamovic, M. R. Bedford. 1999.** The influence of carbohydrase and protease supplementation on amino acid digestibility of lupin-based diets for broiler chicks. Proc. Aust. Poult. Sci. Symp. 11: pp 93-96.
- Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2015.** Métodos para dar sacrificio a animales domésticos y silvestres. Procuraduría federal de protección al medio ambiente.
- Olkowski A.A., Olkowski B.I., Amarowicz R., Classen H.L., 2001.** Adverse effects of dietary lupine in broiler chickens. Poultry Sci. 80, 621–625
- Oomah, B. D., & Bushuk, W. (1983).** Characterization of lupine proteins. Journal of Food Science, 48, 38–41 está en resultados
- Orda J., Jamroz D., Wiliczekiewicz A., Wertelecki T., Skorupińska J., Broz J., 2006.** Effects of increased dietary inclusion of yellow lupins and enzyme supplementation on performance, ileal digestibility of nutrients and microbial status of large intestine in broiler chickens. Arch. Geflügelk. 70, 14–21
- Pablo, M., Lagunés, L., López, J., Ramos, J., y Aranda, E. 2013.** Morfometría, germinación y composición mineral de semillas de *Lupinus* silvestres. Bioagro 25(2) :101-108.
- Pablo, M., Lagunés, L., López, J., Ramos, J., y Aranda, E. 2015.** Composición química de especies silvestres del género *Lupinus* del estado de Puebla, México. Revista Fitotecnia. México. Vol. 38 (1):49-55
- ProChile. 2011.** Estudio de mercado de lupino (Altramuz) en España. Disponible en Web.
- Roura E., Baldwin M.W., Klasing K.C., 2013.** The avian taste system: Potential implications in poultry nutrition. Anim. Feed Sci. Tech. 180, 1–9

- Ruiz, J.J., Ruiz, M.A. and Zamora, J. F. 2000.** The genus *Lupinus* taxonomy and distribution in Jalisco, Mexico.
- SAGARPA. 2016.** Oleaginosas: Canola, Cártamo, Girasol y Soya Mexicanas. Planeación Agrícola Nacional 2017-2013. p.11
- SAS Institute, Inc. 2011.** SAS User's Guide: Statistics version. SAS Institute, Inc. Cary, NC. 959.
- Sipsas S. and B. Glencross. 2005.** Implications of variability amongst Lupin cultivars in processing. In: Proceedings of the Third Workshop for Seeding a Future for Grains in Aquaculture Feeds. 14 April 2005, Fremantle, Western Australia. Pp. 8-13.
- Su, G., Sorensen, P. and Kestin, S. C. 1999.** Meal feeding is more effective than early feed restriction at reducing the prevalence of leg weakness in broiler chickens. Poult. Sci. 78: 949-955.
- Suca, G. y Suca, C. 2015** Potencia del tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*) como futura fuente proteínica y avances de su desarrollo agroindustrial. Rev. Per. Quím. Ing. Quím. Vol. 18, 2. 55-71
- Smulikowska S.** Relationship between the stage of digestive tract development in chicks and the effect of viscosity reducing enzymes on fat digestion. J. Anim. Feed Sci. 1998; 7(1): 125–134.
- Steenfeldt S, Gonzalez E, Bach-Knudsen KE.** Effects of inclusion with blue lupins (*Lupinus angustifolius*) in broiler diets and enzyme supplementation on production performance, digestibility and dietary AME content. Anim. Feed Sci. Tech 2003; 110: 185–200.

**Smulikowska S, Konieczka P, Czerwinski J, Mieczkowska A, Jankowiak J.** Feeding broiler chickens with practical diets containing lupin seeds (*L. angustifolius* or *L. luteus*): effects of incorporation level and mannanase supplementation on growth performance, digesta viscosity, microbial fermentation and gut morphology. *J. Animal Feed Sci.* 2014; 23: 64–72.

**The World Initiative For Soy in Human Health (WISHH), 2013.** American Soybean Association (ASA). Saint Louis, MO. USA

**Sujak A., Kotlarz A., Strobel W. 2006.** Compositional and nutritional evaluation of several lupin seeds. *Food Chemistry*, 98: 711–719

**Van Soest, P.J., Robertson, J. B. y Lewis, B. A. 1991.** Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy. Sci.* 74:3883-3597.

**Vecerek V., Suchý P., Straková E. y Macháček M. 2008.** Nutritive Composition of sedes of the lupin varieties registered in the Czech Republic. In J.A. Palta and J.B. Berger (eds). ‘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

**White CL, Hanbury CD, Young P, Philips N, Wiese SC, Milton JB, Davidson RH, Siddique KM, Harris D.** The nutritional value of *Lathyrus cicera* and *Lupinus angustifolius* grain for sheep. *Anim. Feed Sci. Technol* 2002; 99 (1-4): 45-64

## 10. ANEXOS

Cuadro 1. Costo de producción de semilla de *Lupinus angustifolius* var. sonate

Actividad	Costo
Renta de terreno	500
Preparación (barbecho rastra y surcado)	300
Siembra	300
Mantenimiento (limpia y riego)	1150
Cosecha	900
Total	3150
Semilla cosechada(kg)	260
Costo (kg)	12.1