

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



TESIS:

“Proporción de ácido linoleico y α -linolénico en dietas de codorniz japonesa reproductora y su efecto en el desempeño productivo y reproductivo”

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PRESENTA:
CARLOS BELL CASTRO TAMAYO**

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. JESÚS JOSÉ PORTILLO LOERA**

**CO-DIRECTOR DE TESIS:
DR. FRANCISCO GERARDO RÍOS RINCÓN**

Culiacán Rosales, Sinaloa, México; Marzo de 2019.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



TESIS:

“Proporción de ácido linoleico y α -linolénico en dietas de codorniz japonesa reproductora y su efecto en el desempeño productivo y reproductivo”

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

PRESENTA:

CARLOS BELL CASTRO TAMAYO

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JESÚS JOSÉ PORTILLO LOERA

CO-DIRECTOR DE TESIS:

DR. FRANCISCO GERARDO RÍOS RINCÓN

ASESORES:

DR. GERMÁN CONTRERAS PÉREZ

DR. RAMÓN IGNACIO CASTILLO LÓPEZ

DR. RAMÓN MIGUEL MOLINA BARRIOS

Culiacán Rosales, Sinaloa, México; Marzo de 2019.

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **CARLOS BELL CASTRO TAMAYO**,
BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO
APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR DR. JESÚS JOSÉ PORTILLO LOERA

CO-DIRECTOR DR. FRANCISCO GERARDO RÍOS RINCÓN

ASESOR DR. GERMÁN CONTRERAS PÉREZ

ASESOR DR. RAMÓN IGNACIO CASTILLO LÓPEZ

ASESOR DR. RAMÓN MIGUEL MOLINA BARRIOS

CULIACÁN ROSALES, SINALOA, MÉXICO, MARZO DE 2019.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 20 de enero del año 2020, el que suscribe Carlos Bell Castro Tamayo, alumno del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta **8818981-3**, de la Unidad Académica Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. **Jesús José Portillo Loera** y del Dr. **Francisco Gerardo Ríos Rincón** y cede los derechos del trabajo titulado **“Proporción de ácido linoleico y α -linolénico en dietas de codorniz japonesa reproductora y su efecto en el desempeño productivo y reproductivo”**, a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor. La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE

Carlos Bell Castro Tamayo
Carlos Bell Castro Tamayo

CORREO ELECTRÓNICO: castrotamayo@uas.edu.mx
CURP: CATC690919HSLSMR01



UAS- Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

DEDICATORIA

A mis padres quienes son mi mayor ejemplo de constancia, bondad a quien debo

todo lo que soy.



A mi esposa Guadalupe, compañera de vida por tu amor, paciencia y

comprensión.



A mis hijas, Karla y Magda



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mis más sinceros agradecimientos, a mi gran Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, que hizo posible poder realizar mis estudios de postgrado en el Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, al CIAD unidad Culiacán, por recibirme y poder desarrollar mi estancia, al CONACyT por el apoyo económico otorgado para el estudio del postgrado.

Así también, en forma muy especial manifiesto mi más profundo y sincero reconocimiento a los integrantes de mi comité de tesis, Dr. Jesús José portillo Loera, Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón, Dr. Germán Contreras Pérez, Dr. Ramón Ignacio Castillo López y Dr. Ramón Miguel Molina Barrios, por su asesoría, acompañamiento y compartir sus conocimientos científicos y ante todo generosidad y paciencia.

Al Director de la FMVZ-UAS y ante todo mi amigo M.C. Jaime Eleazar Borbolla Ibarra, por todo su apoyo.

Al Dr. Jesús José Portillo Loera, por su guía, dirección esencial para la elaboración de esta tesis doctoral.

Al Dr. José Basilio Heredia, Dra. Verónica Pérez Rubio, Nieves Briceida Pérez Meza y Eduardo Sanchez Valdez por su apoyo en los procedimientos de laboratorios en el CIAD, a Vladimir Martínez Cruz por su apoyo en la unidad avícola.

A las codornices "*las Cholis*", esta especie, a sus plumas y huevos que me ha acompañado a lo largo de mi desempeño veterinario y que forman parte de mi vida, y permitir el desarrollo de esta investigación.

A mi familia, por su amor y apoyo incondicional.

A *Di-s*.

CONTENIDO	PÁG.
LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
1.2.1. Producción de codorniz japonesa	4
1.2.2. Los ácidos grasos	4
1.2.2.1. Ácidos grasos poliinsaturados	6
1.2.3. Los eicosanoides	7
1.2.4. Efecto de los AGP en los desórdenes metabólicos	8
1.2.5. Fuentes de AGP	9
1.2.5.1. Semilla de chía	10
1.2.5.2. Aceite de chía	11
1.2.5.3. Aceite crudo de soya	11
1.2.5.4. Aceite de soya refinado	12
1.2.6. Composición del huevo	13
1.2.6.1. El Huevo	15
1.2.7. Manipulación de los ácidos grasos de los huevos	16
1.2.8. La gallina reproductora en la modulación de los ácidos grasos ..	17
1.2.9. Los lípidos y la capacidad reproductora de machos	18
1.2.10. Desarrollo embrionario	20
1.2.10.1. Sistema enzimático del embrión	21
1.2.10.2. La manipulación de los ácidos grasos del embrión	22
1.2.10.3. Desarrollo de los vasos sanguíneos en el embrión	24
1.2.10.4. Formación de los vasos sanguíneos extraembrionarios ..	25
1.2.11. Importancia del equilibrio omega-6/omega-3	26
1.3. CONCLUSIÓN	28

CONTENIDO	PÁG.
CAPÍTULO 2. EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE SEMILLAS DE LINAZA (<i>Linum usitatissimum</i> L.) Y CHÍA (<i>Salvia hispanica</i> L.) EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO, REPRODUCTIVO Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN HUEVO DE CODORNIZ JAPONESA (<i>Coturnix coturnix japonica</i>)	29
2.1. RESUMEN	31
2.2. ABSTRACT	32
2.3. INTRODUCCIÓN	33
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS	35
2.4.1. Lugar de trabajo	35
2.4.2. Animales y manejo	35
2.4.3. Análisis estadístico	38
2.4.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
2.4.4.1. Respuesta productiva	39
2.4.4.2. Perfil de ácidos grasos	40
2.4.4.3 Respuesta reproductiva	41
2.5. CONCLUSIONES	43
2.6. AGRADECIMIENTOS	43
2.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
CAPÍTULO 3. Effect of essential fatty acid proportion in feed on productive and reproductive performance of Japanese quail (<i>Coturnix coturnix japonica</i>)	47
3.1. ABSTRACT	49
3.2. INTRODUCTION	49
3.3. MATERIALS AND METHODS	50
3.4. RESULTS AND DISCUSSION	53
3.4.1 Fatty acids in the yolk	53
3.4.2 Productive response	54
3.4.3 Reproductive response	55
3.5. DISCUSSION	57

CONTENIDO	PÁG.
3.6. ACKNOWLEDGEMENTS	57
3.7. REFERENCES	57
CAPÍTULO 4. DISCUIÓN GENERAL	65
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	67
CAPÍTULO 6. LITERATURA CITADA	68
CAPÍTULO 7. ANEXOS	79

LISTA DE CUADROS

REVISIÓN DE LITERATURA	PÁG.
Cuadro 1. Información nutrimental de aceite de chía	11
Cuadro 2. Especificaciones de composición de ácidos grasos de aceite de soya de la variedad natural y original (<i>Glycine max</i> L.)	12
Cuadro 3. Información etiqueta Nutrioli TM	13
Cuadro 4. Información etiqueta Nutrioli DHA TM	13
 EXPERIMENTO I	
Tabla I. Composición y aporte nutrimental calculado de las dietas experimentales	36
Tabla II. Perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales (como % del total de lípidos)	37
Tabla III. Respuesta reproductiva de codorniz japonesa con inclusión de semilla de linaza y chía en el alimento	39
Tabla IV. Perfil de ácidos grasos en yema de huevo crudo de codorniz japonesa con inclusión de semilla de linaza y chía en el alimento (como % del total de lípidos)	40
Tabla V. Respuesta reproductiva de codorniz japonesa con inclusión de semilla de linaza y chía en el alimento	41
Tabla VI. Embriodiagnóstico de huevo no eclosionado de codorniz japonesa con inclusión de semilla de linaza y chía en el alimento	42

LISTA DE CUADROS	PÁG.
EXPERIMENTO II	
Table 1. Fatty acids profile of oils included in the diet	61
Table 2. Composition and nutritional contribution of experimental diets ..	62
Table 3. EFA composition and contribution of n-6:n-3 as well as index peroxide of quail diet	63
Table 4. Fatty acid profile and n-6:n-3 proportions in quail egg yolk	63
Table 5. Effect n-6:n-3 proportion on productive performance of quail.....	64
Table 6. Effect of n-6:n-3 proportion of in diets in hatchability, fertility and embryo diagnosis an non eclosionated quail egg	64

LISTA DE FIGURAS

Título	PÁG.
Figura 1. Metabolismo de los AGE, elongación y desaturación de los AGPI n-6 y n-3	7
Figura 2. Esquema de la proporción de omegas incluidos en la alimentación	26

RESUMEN

Proporción de ácido linoleico y α -linolénico en dietas de codorniz japonesa reproductora y su efecto en el desempeño productivo y reproductivo”

Carlos Bell Casatro Tamayo

Con el objetivo de determinar el efecto de los ácidos grasos esenciales (AGE) omega-6, omega-3 en dietas para codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) sobre el desempeño productivo, reproductivo y perfil de ácidos grasos en yema de huevo, se desarrollaron dos estudios. En el primer estudio se utilizaron 120 codornices (100 hembras; 20 machos) de siete semanas de edad, alojadas en 10 jaulas durante once semanas. Las codornices de cinco jaulas se asignaron al azar a los tratamientos: Grupo I) Dieta a base de maíz y pasta de soya, con 20% de PC y 2.9 Mcal kg⁻¹ de EM (Testigo). Grupo II) Dieta testigo más 1.86% de semillas de linaza y 0.10% de chía, con 21% de PC y 3.1 Mcal kg⁻¹ de EM. Se registró el consumo de alimento por codorniz, porcentaje de postura, alimento consumido por pollito nacido viable, incubabilidad, fertilidad, mortalidad embrionaria y ácidos grasos en yema. Los resultados no mostraron diferencia significativa ($P > 0.05$) en consumo de alimento (34.56 g por codorniz), postura (80.73%) y huevo para incubar (65.48%). Las codornices del grupo II consumieron menos alimento (16 g) por pollito nacido, tuvieron 5.52% más huevos fértiles, de los que nacieron 3.48% más pollitos, con 3.61% menor mortalidad embrionaria ($P < 0.01$). La inclusión de semillas de linaza y chía, aumentó en la yema 2.96% los AG Poliinsaturados (AGP), y redujo a 7.39:1 la relación n6:n3, y a 0.5:1 la relación de AG Saturados (AGS)/AGP ($P < 0.05$). Concluyendo que incluir semillas de linaza y chía como fuente de AGE disminuye el consumo de alimento por pollito nacido, la relación de omegas n6/n3 y AGS/AGP en yema de huevo, y además mejora la incubabilidad, fertilidad y mortalidad embrionaria en huevos de codorniz japonesa. El segundo estudio se realizó para evaluar el efecto de la proporción de AGE (n-6 y n-3) en el alimento al mezclar aceite de soya, oliva, canola o chía sobre el perfil de AGE en el huevo, rendimiento productivo y reproductivo de codorniz japonesa. Se utilizaron 120 codornices de 7 a 22 semanas de edad, en 15 jaulas en grupos de 6 hembras y 2 machos asignados conforme al diseño completamente al azar a 3 tratamientos con 5 réplicas. Los tratamientos fueron las proporciones n-6:n-3: 10:1 (Testigo), 4:1 y 1:1. Se midió el perfil de AG en yema, consumo de alimento, tasa de postura, peso del huevo, fertilidad, incubabilidad y mortalidad embrionaria. Los resultados en yema del huevo mostraron que el contenido de n-6 fue similar entre proporciones ($P > 0.05$), mientras que el contenido de n-3 aumentó ($P < 0.01$) al disminuir en el alimento la proporción n-6:n-3. El consumo de alimento por codorniz fue similar entre tratamientos ($P > 0.05$). En las proporciones 4:1 y 1:1 el porcentaje de postura fue mayor, pero el peso del huevo fue menor ($P < 0.01$). La fertilidad e incubabilidad fueron similares entre proporciones n-6, n-3 ($P > 0.68$). La mortalidad embrionaria temprana y total fue menor en las proporciones 10:1 y 4:1 ($P < 0.01$); mientras que la mortalidad intermedia y tardía fue similar ($P > 0.30$). Estos resultados indican que la mezcla de aceite de soya, oliva, canola o chía, para

obtener la proporción n-6:n-3 de 1:1 hasta 10:1 no modifica el consumo de alimento, tasa de postura, peso del huevo, fertilidad e incubabilidad; pero, la proporción 4:1 a 10:1 favorece una menor mortalidad embrionaria.

Palabras clave: n-6:n-3; *Linum usitatissimum* L; *Salvia hispanica* L; incubabilidad; fertilidad, mortalidad embrionaria.

ABSTRACT

Proportion of linoleic and α -linolenic acid in Japanese reproductive quail diets and their effect on productive and reproductive performance

Carlos Bell Castro Tamayo

In order to determine the effect of omega-6, omega-3 essential fatty acids (EFAs) in diets for Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) on productive and reproductive performance, and fatty acid profile in egg yolk, two studies were developed. In the first study, 120 quails (100 females, 20 males) of seven weeks of age were used, housed in 10 cages for eleven weeks. The quail of five cages were randomized to the treatments: Group I) Diet based on corn and soybean meal, with 20% of CP and 2.9 Mcal kg⁻¹ of ME (Control). Group II) Control diet plus 1.86% flax and 0.10% chia seeds, with 21% CP and 3.1 Mcal kg⁻¹ of ME. The feed intake by quail, laying quail rate, feed intake by viable born chick, hatchability, fertility, embryonic mortality and fatty acids profile in yolk was registered. The results showed no significant difference ($P > 0.05$) in feed intake (34.56 g per quail), laying rate (80.73%) and hatchability egg (65.48%). The quail of group II has less feed intake (16 g) per chick born, had 5.52% more fertile eggs, of which 3.48% more chicks were born, with 3.61% lower embryonic mortality ($P < 0.01$). The inclusion of flax and chia seeds increased in the yolk 2.96% the Polyunsaturated FA (PUFA), and reduced to 7.39:1 the ratio n6:n3, and to 0.5:1 the ratio of FA Saturated (SFA)/PUFA ($P < 0.05$). Concluding that including flax and chia seeds as a source of EFAs decreases the feed intake for chick born, the ratio of omegas n6:n3 and SFA/PUFA in egg yolk, and also improves hatchability, fertility and embryonic mortality in eggs of Japanese quail. The second study was conducted to evaluate the effect of the proportion of EFAs (n-6 and n-3) in the feed by mixing soy, olive, canola or chia oil on the profile of EFAs in the egg, productive and reproductive performance of Japanese quail. We used 120 quail from 7 to 22 weeks of age, in 15 cages in groups of six females and two males assigned according to the completely randomized design to 3 treatments with five replicas. The treatments were the proportions n-6:n-3 10:1 (Control), 4: 1 and 1:1. The FA profile was measured in yolk, feed intake, laying rate, egg weight, fertility, hatchability and embryonic mortality. Egg yolk results showed that the n-6 content was similar between proportions ($P > 0.05$), while the n-3 content increased ($P < 0.01$) as the n-6:n3 ratio decreased in the feed. The feed intake per quail was similar between treatments ($P > 0.05$). In the proportions 4:1 and 1:1 the laying rate was higher, but the egg weight was lower ($P < 0.01$). Fertility and hatchability were similar between proportions n-6:n-3 ($P > 0.68$). The early and total embryonic mortality was lower in the proportions 10:1 and 4:1 ($P < 0.01$); while intermediate and late mortality was similar ($P > 0.30$). These results indicate that the mixture of soy, olive, canola or chia oil, to obtain the n-6:n-3 ratio of 1:1 to 10:1 does not modify the feed intake, laying rate, egg weight, fertility and hatchability; but, the 4:1 to 10:1 ratio favors a lower embryonic mortality.

Key words: n-6:n-3; *Linum usitatissimum* L; *Salvia hispanica* L; hatchability, Fertility, embryonic mortality.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 INTRODUCCIÓN

La dieta de gallinas reproductoras influye en la producción de huevos y posteriormente en la embriogénesis e incubabilidad de huevos destinados a producir pollitos (Peebles *et al.*, 1998, 2000). Las grasas se incluyen en dietas de pollos de engorda para aumentar la densidad de energía. Se ha incluido grasa hasta 5% de la dieta para reproductoras pesadas, sin modificar contenido total la energía metabolizable (EM). Además se ha reportado el aumento en el peso, producción de huevo y número de pollitos producidos por gallina, con la inclusión de grasa de ave en un 4% de la dieta (Brake *et al.*, 1990). Las diferentes grasas o aceites en las dietas, muestran cambios en la composición de ácidos grasos de la yema de huevo en gallinas ponedoras (Hargis *et al.*, 1991). Varios estudios mostraron que un incremento en la concentración de energía con grasa provoca una disminución en el consumo de alimento, pero no tienen efecto negativo sobre la ganancia diaria, lo que resulta en una mejora de la eficiencia alimenticia (Scaife *et al.*, 1994). Los ácidos grasos juegan una importante, función en la fisiología estructural y metabólica; Estudios realizados en ratas y humanos evaluando el desarrollo del sistema nervioso, aprendizaje, sueño y niveles de colesterol, recomiendan que una alimentación correcta debe proporcionar omega-6 (n-6) y omega-3 (n-3) equilibrados en una proporción de 4:1 (Simopoulos, 2003). Otros investigadores recomiendan una proporción de 5:1 de n-6:n-3, cuando esta proporción se pierde lleva a la pérdida de n-3 derivados endógeno de la síntesis de los ácido Docosahexaenoico (DHA, C22: 6, n-3) y el Eicosapentaenoico (EPA, C20: 5, n-3), conocidos como factores importantes en la prevención de enfermedades cardiovasculares en humanos. Una relación de n-6:n-3 correcta en los alimentos debe ayudar al mantenimiento y mejora de la salud humana (Pfeuffer, 2001). Los ácidos grasos esenciales (AGE) son precursores de los ácidos grasos altamente insaturados o poliinsaturados, también llamados PUFA (del inglés Poly Unsaturated Fatty Acid). Estos regulan genes que codifican para proteínas implicadas en el metabolismo lipídico y energético, modulando procesos inmunitarios innatos y adquiridos (Deckelbaum *et al.*, 2006). La estructura química de los ácidos grasos poliinsaturados (AGP) es determinada por la familia a la

que pertenecen los ácidos grasos de origen, la familia (Omega n-6 o ω -6) y (Omega n-3 o ω -3). Los n-6 derivan del ácido graso linoleico (LA) o ácido graso omega-6. La familia de n-3 deriva del ácido graso alfa linolénico (ALA) o ácido graso omega-3 (Van Elswyk, 1997; Cherian y Sim, 2001; Leaf *et al.*, 2003; Carrero *et al.*, 2005). El LA y ALA son ácidos grasos esenciales, ya que los animales carecen del sistema enzimático, que los produzca, y deben ser aportados por la dieta (Van Elswyk, 1997; Cherian y Sim, 2001; Leaf *et al.*, 2003; Carrero *et al.*, 2005). En cambio en los cloroplastos de las plantas verdes, algas y fitoplancton estas pueden alargar el LA para producir ALA (n-3) (Leaf *et al.*, 2003). El pescado es una de las fuentes más conocidas de AGP n-3 en la dieta humana, ya que es rico en ácidos grasos Eicosapentaenoico (EPA) y Docosapentaenoico (DHA) ácidos grasos (Chen *et al.*, 1994). Otras fuentes de AGP n-3 son las semillas oleaginosas, especialmente linaza, que tiene un alto nivel de contenido de ácido linolénico (50-55%) (Chen *et al.*, 1994). Las variedades comunes de linaza tienen concentraciones altas de ácidos grasos poliinsaturados, especialmente el ácido linolénico (Genser, 1994). Varios estudios han demostrado que nivel de n-3 en yema de huevo se incrementó con la adición de semilla de linaza (*Linum usitatissimum* L) en la dieta de aves (Milinsk *et al.*, 2003, Jiang y Sim, 1991). Además dietas con aceite de linaza, disminuyen significativamente el contenido de ácidos grasos omega-6 y la proporción de ácidos grasos n-6:n-3, aumentando la cantidad de ácidos grasos n-3 (Balevi, 2000; Hargis *et al.*, 1991). Otra fuente vegetal con gran contenido es la Chía (*Salvia hispanica* L) la cual es reportada por Albarado (2011) trabajando el perfil de ácidos grasos del aceite de esta semilla reportó que contenía 7.63% de palmítico, 3.77% de esteárico, 8.12% de oleico, 20.68% de linoleico y de 59.8% alfa linolenico similar a lo encontrado por Ayerza y Coates (2005) 6.9%, 2.8%, 6.65%, 19% y 63.8%, respectivamente. El aumento de n-3 promueve un cambio cualitativo, composición de ácidos grasos en la yema de huevo, con el aumento de la relación n-3:n-6 contribuye más al efecto para la nutrición humana (Simopoulos, 1998). Generalmente, las grasas animales contienen principalmente triglicéridos, predominando los ácidos palmítico o esteárico, a excepción del pescado. Como es conocido, el ácido palmítico y ácido esteárico son ácidos grasos saturados de cadena larga. Se atribuye a estos ser frecuentemente responsables de problemas de salud como las enfermedades

cardiovasculares en humanos (Grundy 1986). El enriquecimiento de huevos de gallinas o codornices es una estrategia exitosa para asegurar el suministro adecuado de n-3 para la salud de la población. La producción de huevos enriquecidos con n-3 se puede realizar mediante la adición de fuentes comunes de n-3 (aceite de pescado, algas marinas o de linaza) a dieta de gallinas ponedoras (Baucells, *et al.*, 2000). Los ácidos grasos omega-3 y los omega-6, son fundamentales para el organismo humano y se absorben siguiendo una proporción de equilibrio. Estudios realizados en ratas y humanos evaluando el desarrollo del sistema nervioso, aprendizaje, sueño y niveles de colesterol, recomiendan que, una alimentación correcta debe proporcionar omega-6 y omega-3 equilibrados adecuadamente, con una proporción de 4:1 (Simopoulos, 2003). Las recomendaciones de necesidades de ácidos grasos en codorniz para ácido linoleico es de 10 g/kg de alimento (Shanaway, 1994). Summers y Leeson (1985) señalan que las dietas contienen de 2 a 3.9% de grasa y 0.6 a 1.2% de ácidos grasos esenciales. (<http://books.google.com.mx/books?id=-MSy78He6-wC&lpg=PP6&pg=PP9#v=onepage&q&f=true>), los ácidos grasos esenciales no se referencian en la tablas de requerimientos para codorniz.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la inclusión de AGE (n-6:n-3) en proporción más estrecha en dietas de codornices japonesas sobre fertilidad, incubabilidad, muerte embrionaria, contenido AGE en la yema de huevo.

1.2. REVISIÓN DE LITERATURA

1.2.1 Producción de codorniz japonesa

Las codornices son originarias de Europa, Norte de África y Asia, pertenecen a la familia *phasianidae*, subfamilia *perdicionidae* y género *Coturnix* (Neumann, 2001); existen más de 100 variedades de codornices, entre las más conocidas están *Coturnix coturnix coturnix* (Codorniz europea) y la *Coturnix coturnix japonica* (Codorniz japonesa), caracterizándose por un rápido ciclo de crecimiento, buen índice de conversión alimenticia, precocidad, resistencia a enfermedades y elevada productividad, siendo la codorniz japonesa la más explotada a nivel mundial por alcanzar pesos vivos mayores que la codorniz europea (Pérez, 1966, Lee *et al.*, 1977; Lucotte, 1980;) y a que tiene la capacidad genética de poner un huevo cada 22 horas (Villegas *et al.*, 2005). La coturnicultura como rama de la avicultura es una de las actividades de ganadería diversificada, la cual ha tomado importancia en México desde 1972 (Neumann, 2001). En la producción de codorniz se diferencian tres etapas: a) juvenil o de rápido crecimiento, b) de transición o crianza y finalmente c) de producción de huevo fértil y para plato, esta última del día 30 de edad en adelante (Pérez, 1966); en estas fases las aves deben ser alimentadas con dietas que cubran sus requerimientos para sus necesidades fisiológicas en periodo de postura y reproducción (Soares *et al.*, 2003). La coturnicultura tiene como finalidad zootécnica la producción de carne, de huevos para incubar o consumo; además en explotaciones intensivas se puede considerar aprovechar los subproductos como las plumas, cama, excremento, entre otros (Pérez, 1966).

La producción de carne de codorniz se concentra en Europa especialmente en España y Francia, en América Estados Unidos; y para producción de huevo, China, Japón y últimamente Brasil (Minvielle, 2004).

1.2.2. Los ácidos grasos

Los lípidos son compuestos formados por una parte constante, los ácidos grasos, y glicerol para formar triglicéridos (tres ácidos grasos mas un glicerol) y constituyen una reserva de energía importante para los organismos (Mazur y Harrow,

1970; Mayes, 2001). Los lípidos como fosfolípidos glicolípidos y esteroides son componentes principales de las membranas celulares (Lehninger, 1985). Los ácidos grasos son una cadena de átomos de carbono o cadena hidrocarbonada, cuyas particularidades se relaciona con la variación en longitud de estos ácidos. Un ácido graso está compuesto de un grupo metilo (CH_3 -) en un extremo de la cadena y un grupo carboxilo o ácido (COOH) en el otro extremo (Lehninger, 1985). La nomenclatura clásica de un ácido graso, se representan el número de carbonos que hacen el largo de la cadena, seguido de dos puntos (:) y del total de dobles enlaces en la molécula. La posición del último doble enlace es señalado por la letra "n", menos el número de átomos de carbono entre el doble enlace y el grupo metilo (Mazur y Harrow, 1970; Leskanich y Noble, 1997). Un ejemplo, el ácido palmítico de 16 carbonos en su cadena y ningún doble enlace, por lo tanto se representa 16:0. El ácido docosahexaenoico de 22 átomos de carbono (ácido graso de cadena larga), 6 dobles enlaces de los cuales el último está a tres átomos de carbono del grupo metilo, se representa de esta forma 22:6 n-3. El número de carbonos, el número de dobles enlaces (:) y el emplazamiento del primer enlace son importantes en la clasificación de los ácidos grasos (Leskanich y Noble, 1997). La presencia o ausencia de dobles enlaces en la cadena de los ácidos grasos permiten su clasificación básica: ácidos grasos saturados, monoinsaturados y los poliinsaturados. Esta característica es muy importante pues determina las propiedades físicas y biológicas de los ácidos grasos (Lehninger, 1985; Mayes, 2001). Las membranas celulares están compuestas principalmente de ácidos grasos, las que funcionan como puertas de entrada y salida de la célula, es por donde se comunican e intercambian sustancias químicas y nutrientes. También son el centro de diferentes receptores sensibles a los mediadores celulares, por ejemplo las prostaglandinas, tromboxanos, leucotrienos, los cuales son sintetizados de forma continua y tienen una vida corta (Lehninger, 1985; Mayes, 2001). Las membranas celulares están compuestas de una doble capa de fosfolípidos, glicolípidos, colesterol y proteínas. Los tipos de ácidos grasos (saturados o insaturados) determina la rigidez o la fluidez de las membranas celulares, es decir, sus propiedades y su capacidad de intercambios fisiológicos (Lehninger, 1985; Mayes, 2001).

1.2.2.1. Ácidos grasos poliinsaturados

Los ácidos grasos esenciales son precursores de los ácidos grasos altamente insaturados o poliinsaturados, estos modulan la expresión de genes que codifican las proteínas involucradas en la inflamación, metabolismo lipídico, utilización de energía, modulan procesos involucrados en la inmunidad innata y adquirida (Deckelbaum *et al.*, 2006). La estructura química de los AGP se determina de acuerdo a la familia a la que pertenecen los ácidos grasos de origen, la familia n-6 y n-3. Los n-6 derivan del ácido graso poliinsaturado linoleico (LA) o ácido graso omega-6. Los n-3 derivan del ácido graso poliinsaturado alfa linolénico (ALA) o ácido graso omega-3 (Van Elswyk, 1997; Cherian y Sim, 2001; Leaf *et al.*, 2003; Carrero *et al.*, 2005). El LA y ALA son ácidos grasos esenciales, ya que los animales carecen del sistema enzimático necesario para insertar un doble enlace antes del carbono seis contando desde el extremo metilo, y por lo tanto no pueden producir los ácidos grasos esenciales *de novo*, los cuales deberán ser aportados por la dieta (Van Elswyk, 1997; Cherian y Sim, 2001; Leaf *et al.*, 2003; Carrero *et al.*, 2005). En cambio en los cloroplastos de las plantas verdes, algas y fitoplancton, el LA puede ser largamente desaturado para producir ALA n-3 (Leaf *et al.*, 2003). Las diferentes posiciones y números de los dobles enlaces de la cadena de carbonos de los ácidos grasos le confieren diferentes propiedades fisiológicas derivadas de su metabolismo. El LA (18:2 n-6) tiene 18 átomos de carbono en su cadena y tiene dos dobles enlaces, caracterizándose por tener su primer doble enlace en el carbono número seis, contado desde el extremo metilo de la cadena. El ALA (18:3 n-3) tiene tres dobles enlaces, cuyos primer doble enlace se encuentra en el carbono número tres de la cadena, contado desde el extremo metilo de la misma (Mazur y Harrow, 1970; Van Elswyk, 1997; Carrero *et al.*, 2005). En los animales, el LA es elongado y desaturado para formar el ácido Araquidónico (AA), C20:4 n-6. El ALA emplea y compite por las mismas rutas metabólicas y enzimas para formar el ácido eicosapentaenoico (EPA), C20:5 n-3 (Cherian y Sim, 2001; Leaf *et al.*, 2003; Knoch *et al.*, 2009). En esta competición por las elongasas y desaturasas, los ácidos grasos n-3 son usados como sustratos preferidos (Garg *et al.*, 1988; Cherian y Sim, 2001; Cherian, 2008) como se muestra en la Figura 1. El EPA será elongado a ácido

docosapentaenoico (DPA) C22:5 n-3, para producir finalmente el ácido graso más largo y más insaturado, el docosahexaenoico (DHA) C22:6 n-3. El EPA y DHA son fisiológicamente los más importantes de la clase n-3, pues son acumulados en los fosfolípidos de las membranas celulares del cerebro, corazón y testículos principalmente (Van Elswyk, 1997; Leaf *et al.*, 2003; Carrero *et al.*, 2005).

1.2.3. Los eicosanoides

El EPA y el AA se incorporan a las membranas de las células, que pueden ser liberados por la fosfolipasa A2, siendo luego sustratos para la ciclooxigenasa y lipooxigenasa, produciendo mediadores celulares que se conocen como eicosanoides.

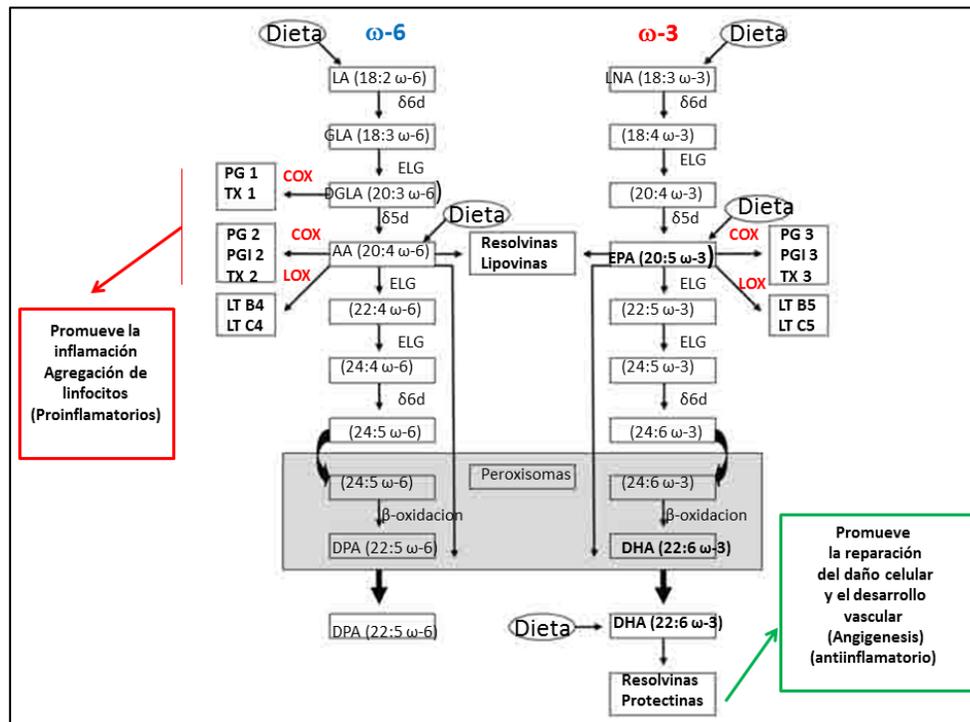


Figura 1. Metabolismo de los AGE, elongación y desaturación de los AGPI n-6 y n-3. (Simopoulos, 2003).

Los eicosanoides son mediadores celulares locales que intervienen en numerosos procesos fisiológicos como coagulación de la sangre y respuesta inmune (Mayes, 2001; Leaf *et al.*, 2003; Carrero *et al.*, 2005; Cherian, 2007). Los eicosanoides

están clasificados como prostaglandinas, tromboxanos, leucotrienos, lipoxinas y resolvinas (Cherian y Sim, 2001; Mayes, 2001; Knoch *et al.*, 2009). El AA es el ácido graso disponible en mayor cantidad cuando se alimenta con una dieta típica comercial, siendo fuente de eicosanoides n-6, los cuales ejercen propiedades pro inflamatorias en su mayoría, además de liberar radicales libres que causan daños importantes a las membranas celulares. El EPA es fuente de eicosanoides n-3, los cuales tienen actividad antiinflamatoria (Mayes, 2001; Dommels *et al.*, 2002; Leaf *et al.*, 2003; Mills *et al.*, 2005). Las resolvinas (Rv) son eicosanoides derivados del EPA y DHA, tienen acción antiinflamatoria al ser agonistas endógenos que bloquean la síntesis de citosinas pro inflamatorias. Las Rv controlan la inflamación y estimulan eventos que remueven las células inflamatorias y restablecen la integridad tisular, fase llamada resolución (Schmitz y Ecker, 2008; Serhan y Chiang, 2008).

1.2.4. Efecto de los AGP en los desórdenes metabólicos

En investigaciones recientes el consumo de los AGP n-3, se les relaciona con disminución de incidencias de enfermedades metabólicas, inflamatorias y cardíacas en humanos (Novak y Scheideler, 2001; Leaf *et al.*, 2003; Cherian, 2007). Los n-3 al unirse dentro de los fosfolípidos de las membranas celulares alteran el metabolismo de los eicosanoides, produciendo un efecto protector. Los n-3 regulan las propiedades eléctricas del miocardio y disminuyen las arritmias ventriculares, paro cardíaco y riesgo de muerte súbita (Carrero *et al.*, 2005; Cherian, 2007). La salud y viabilidad de las aves comerciales dependen de la habilidad de éstas para responder efectiva y apropiadamente a los desafíos externos como, calidad de la dieta, patógenos, medio ambiente, amoníaco, etc., e internos como el estrés oxidativo e inflamación, como respuesta inmediata a daños internos y externos de los tejidos.

Las aves tienen crecimiento acelerado, consecuentemente se incrementa el trabajo del sistema cardiovascular predisponiéndose a desórdenes metabólicos e inflamatorios, como desórdenes cardiopulmonares y muerte súbita (Cherian, 2007, 2008).

1.2.5. Fuentes de AGP

Los huevos incubables con niveles bajos de n-3 reflejan el tipo de lípidos proporcionados en la dieta de las gallinas reproductoras. Las grasas comúnmente utilizadas contienen n-6, trans, saturados, y son pobres en n-3. Un ejemplo son las grasas hidrogenadas o sebo animal utilizadas en las dietas comerciales (Cherian y Sim, 1997; Carrero *et al.*, 2005). La carne de rumiantes y productos lácteos también proporcionan ALA, sin embargo, las técnicas de crianza modernas han originado un descenso en el contenido de n-3, debido al uso generalizado de concentrados de cereales ricos en ácidos grasos n-6 en su alimentación (Leaf *et al.*, 2003; Cherian, 2007). Peebles *et al.* (2000) cambiaron el aceite de maíz de la dieta de reproductoras de pollos de engorda por una grasa de baja calidad, provocando una baja de AGP del huevo, incluido el LA. Ding y Lilburn (1997) y Sari *et al.* (2002) encontraron resultados similares. Los aceites de pescado son las fuentes de mayor contenido de EPA y DHA debido al consumo de fitoplancton que contiene n-3, el que varía con la especie, localización, estación del año y disponibilidad de fitoplancton (Dommels *et al.*, 2002; Carrero *et al.*, 2005). Sin embargo, la estabilidad oxidativa de los AGP n-3 tiene un problema por su naturaleza altamente insaturada, lo cual afecta su valor nutricional, por ello se limita el uso en dietas basadas en productos marinos, por su sensibilidad al deterioro, además del sabor a pescado de sus productos (Van Elswyk, 1997).

Hargis *et al.* (1991) midieron durante 18 semanas el cambio en los n-3 en la yema, en respuesta a la alimentación de gallinas con una dieta que contenía 3% de aceite de pescado. Los huevos tuvieron altos niveles de n-3. Una vez que el contenido de n-3 deseado es alcanzado es importante la fuente de n-3 para mantenerlo. Hargis *et al.* (1992) reportaron una reducción del 20% en el ALA y el DHA después de sólo una semana del retiro de n-3 en la dieta de gallinas previamente suplementadas.

Entre los aceites vegetales, el aceite de linaza es considerado como una de las fuentes más abundantes de ALA, constituyendo el 57% de los ácidos grasos totales, además de tener buena estabilidad oxidativa (Van Elswyk, 1997). Se ha utilizado la linaza para enriquecer la dieta de las gallinas (Cherian y Sim, 2001; Jia *et al.*, 2008) con resultados variables sobre los parámetros productivos (Phetteplace y Watkins 1990; Caston *et al.*, 1994; Scheideler y Froning, 1996; Novak y Scheideler, 2001).

Además, otros investigadores como Ayerza (2001) han incluido hasta 14% de semilla de chía (*Salvia hispanica* L) una fuente abundante en omega n-3, en dietas de gallina ponedoras aumentando la concentración en yema del huevo, además el aceite de chía puede contener hasta 62% de omega n-3.

Sin embargo se han presentado resultados negativos en los parámetros productivos que se relacionan a la presencia de factores anti nutricionales y fitoestrógenos con el uso de la linaza fuente rica en n-3 (Scheideler *et al.*, 1995; Daun *et al.*, 2003; Thompson, 2003).

1.2.5.1. Semilla de chía

La semilla de chía (*Salvia hispanica* L) es un alimento que fue considerada sagrada por los pueblos precolombinos, sus principales usos fueron medicinales y alimentarios, tiene forma ovalada, es de color gris oscuro con pequeñas líneas negras y mide aproximadamente dos milímetros de largo por un milímetro de ancho. Su composición química varía dependiendo del lugar de procedencia o área de cultivo (Ayerza y Coates, 2009). Sin embargo, puede generalizarse que contiene un alto contenido de nutrientes, como proteínas 23.60%, carbohidratos 18.6%, lípidos 29.8% (Bushway *et al.*, 1981). Una de las características por la que sobresale, es el contenido de ácidos grasos esenciales, ya que su aceite contiene 19% de ácido graso linoleico y 63.8% de α -linolénico, clasificado como omega-3. De este último contiene más que las algas, aceites de arenque y salmón según datos de la USDA (Ayerza y Coates, 2005). Los aceites de uso común (oliva, cártamo, soya, maíz, canola) tampoco superan el contenido del aceite de chía en cuanto al contenido de dicho ácido graso pues ninguno tiene más de 9% (O'Brien, 1998). El aceite de linaza es el único con un contenido similar siendo de 57.5% (Ayerza y Coates, 2005). La semilla de chía es una excelente fuente de calcio, fósforo, magnesio, hierro, potasio, zinc y cobre (Ayerza y Coates, 2005). Además, la fracción fibrosa de la chía demostró capacidad antioxidante (488.4 μ M Et/g) lo cual es comparado con el vino, té, café y jugo de naranja (Vázquez-Ovando, 2009), los antioxidantes encontrados en las semilla son: ácido caféico, clorogénico y cinámico además de flavonoides como son miricetina, quercetina y kaempfenol (Taga *et al.*, 1984, Reyes-Caudillo *et al.*, 2008).

1.2.5.2. Aceite de chía

Albarado (2011) determinó que el contenido de ácidos grasos en el aceite de chía es: 7.63% de palmítico, 3.77% de esteárico, 8.12% de oleico, 20.68% de linoleico y 59.8% de alfa linolénico; estos valores son similares a los reportados por Ayerza y Coates (2005) con 6.9%, 2.8%, 6.65%, 19% y 63.8%, respectivamente. En el mercado Mexicano se encuentra la marca comercial Santa Inés® con aceite chía y en el contenido de la etiqueta reporta 60% de omega-3 y 20% de omega-6 (Cuadro 1).

Cuadro1. Información nutrimental de aceite de chía.

INFORMACIÓN NUTRIMENTAL

	Cantidad por porción
Tamaño por porción	10 ml
Porciones por envase	75
<hr/>	
Contenido energético 368 Kj (88 Kcal)	
Proteínas	0 g
Grasas totales	10 mg
Grasas saturadas	1.10 mg
Grasas mono insaturadas	0.9 mg
Grasas poliinsaturadas	8 g
Ácidos grasos omega 3	6 g
Ácidos grasos omega 6	2 g
Grasas trans	0 g
Carbohidratos	0 g
Colesterol	0 mg
Sodio	0 mg

(Acceso 26/07/2013 <http://www.sesajal.com.mx/es/?products=aceite-de-chia>)

1.2.5.3. Aceite crudo de soya

Es un líquido graso de color ambarino obtenido por extracción mecánica o por extracción por solventes, provenientes de la semilla de soya (*Glycine max* L) y/o de sus variedades biotecnológicas que sean aptas para el consumo humano. El aceite crudo puede ser el resultado de la extracción de una mezcla de diferentes variedades de soya. (Especificaciones de calidad aceite crudo desgomado de soya, Acceso

26/07/2013, <http://aceiteimperial.com.mx/imagenes-aceite/seccion-productos/Aceite-Crudo-Imperial.pdf>).

1.2.5.4. Aceite de soya refinado

Es el producto obtenido del aceite crudo de soya cuando es sometido a un proceso completo de refinación, que puede ser llevado a cabo por vía de refinación química o refinación física. La refinación química consiste de desgomado (opcional), neutralización, lavado, blanqueo, deodorización, filtración y envase. La refinación física consiste en desgomado, pre-tratamiento, blanqueo, deodorización, filtración y envase. Como lo muestra el Cuadro 2 de acuerdo a la norma mexicana (NMX-F-252-SCFI-2005ALIMENTOS – ACEITE COMESTIBLE PURO DE SOYA), y los Cuadros 3 y 4 para la marca comercial Nutrioli.

Cuadro 2.- Especificaciones de composición de ácidos grasos de aceite de soya de la variedad natural y original (*Glycine max* L.).

Ácido graso	Mínimo	Máximo
Laúrico C12:	0.0	0.1
Mirístico C14:	0.0	0.2
Palmítico C16:0	9.7	13.3
Palmitoléico C16:	1.0	0.2
Esteárico C18:0	3.0	5.4
Oléico C18:1	17.7	28.5
Linoléico C18:2	49.8	57.1
Linolénico C18:3	5.5	9.5
Araquídico C20:0	0.1	0.6
Gadoléico C20:1	0.0	0.3
Eicosadiénoico C20:2	0.0	0.1
Behénico C22:0	0.3	0.7
Erúcico C22:1	0.0	0.3
Lignocérico C24:0	0.0	0.4

NOTA: Estos valores corresponden a la variedad natural de la semilla de soya y no son representativos de las variedades desarrolladas por biotecnología. Estos valores, por lo tanto, pueden variar en el grado y proporción en que se utilicen para obtener el aceite crudo de soya.

(<http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2005/nmx-f-252-scfi-2005.pdf>)

Cuadro 3. Información etiqueta Nutrioli™

INFORMACIÓN NUTRIMENTAL	Nutrioli
Tamaño por porción	15.4 ml
1 cucharada	Cantidad por porción
Contenido energético	532 Kj (126 Kcal)
Proteínas	0 g
Hidratos de carbono	0 g
Grasas totales	14 mg
Del cual:	
Poliinsaturadas	8.5 g
Ácido linoleico omega-6	7.5 g
Ácido linolénico omega-3	1.0 g
Monoinsaturadas omega 9	3.4 g
Saturada	2.1 g
Ácidos grasos trans	6 g
Colesterol	0 mg
Sodio	0 mg
Vitamina E	6% VMN (Méx)*

(Acceso 26/07/2013 <https://www.nutrioli.com/es/productos-nutrioli/aceite-nutrioli-dha/>)

Cuadro 4. Información etiqueta Nutrioli DHA™

INFORMACIÓN NUTRIMENTAL	Nutrioli DHA
Tamaño por porción	15.4 ml
1 cucharada	Cantidad por porción
Contenido energético	532 Kj (126 Kcal)
Proteínas	0 g
Hidratos de carbono	0 g
Grasas totales	14 mg
Del cual:	
Poliinsaturadas	8.5 g
Ácido linoleico omega-6	7.5 g
Ácido linolénico omega-3	1.0 g
Ácido Docosahexaenoico (DHA)	16 mg
Monoinsaturadas omega 9	3.4 g
Saturadas	2.1 g
Ácidos grasos trans	6 g
Colesterol	0 mg
Sodio	0 mg
Vitamina E	6% VMN (Méx)*

* Valor nutrimental de referencia ponderado para la población mexicana NOM-051 SCFI-SSA 12010

1.2.6. Composición del huevo

El huevo fértil está compuesto por tres partes: cáscara, albúmina y yema. La cáscara es un depósito de minerales, principalmente calcio, aunque se encuentra

también magnesio y fósforo. La albúmina o clara está compuesta por cuatro capas proteicas distintas y agua, siendo los lípidos y los minerales de mínimas concentraciones. La ovoalbúmina es el principal componente (54%), es de alto valor biológico pues es un inhibidor enzimático. En la clara se encuentra también ovotransferrina y lisozima, que tienen acción antibacteriana (López y Valverde, 2006). Un huevo de gallina de 60 g contiene 20 g de yema, de los cuales seis gramos son lípidos y tres gramos son proteínas, principalmente en forma de lipoproteínas de muy baja densidad. Una de ellas es la vitelogenina, la cual es producida por el hígado de las aves durante la reproducción en respuesta a los estrógenos. Esta proteína da origen a otras dos proteínas importantes, la fosvitina y lipovitelina. Los carbohidratos de la yema no constituyen más del uno por ciento, del cual 0.3% es glucosa libre (Van Elswyk, 1997; Speake *et al.*, 1998).

Los principales lípidos presentes en la yema son triglicéridos (67%), fosfolípidos (25%), predominantemente fosfatidilcolina y colesterol (5%). Los ácidos grasos libres solo se encuentran como trazas. Los ácidos grasos son el componente mayor de los lípidos de la yema y constituyen más de cuatro gramos en un huevo con peso promedio. Los principales ácidos grasos de la yema son el palmítico y esteárico (alrededor de 30% de los triglicéridos) (Speake *et al.*, 1998; Cherian, 2008) en dietas típicas de cereales.

En pollitos recién eclosionados queda una porción de yema que no es utilizada durante la incubación y está presente en el saco vitelino residual. A la eclosión, el saco vitelino residual constituye cerca del 10% del peso del ave, la cual se ubica dentro de la cavidad abdominal del pollito y contribuye a su mantenimiento durante los primeros días. Más de 50% del saco vitelino se absorbe durante las primeras 48 horas de nacido, por vía sanguínea e intestinal (Padrón, 2005).

Al tercer día, posterior a la eclosión, las reservas nutricionales del saco vitelino, han sido utilizadas casi completamente. Estas reservas, comprenden el 50% de la energía y el 43% de la proteína requerida por el ave en su primer día de vida. Está constituido principalmente por agua, grasa y proteínas, que son absorbidas directamente vía membrana del saco vitelino a través de fagocitosis no específica. Otra función importante es la protección contra microorganismos después de la

eclosión, a través de la acción de IgA y IgG depositadas en la albúmina y la yema que permanecen mezcladas en el contenido del saco vitelino (López y Valverde, 2006).

1.2.6.1. El Huevo

El huevo es una estructura completa para el desarrollo de un nuevo ser vivo capaz de ejercer las actividades inherentes a su especie. En los ovíparos, el embrión depende de los nutrientes almacenados en el huevo por las gallinas reproductoras para sostener su crecimiento y desarrollo. Es decir, el origen de los nutrientes para el embrión es la dieta materna, la cual es un factor limitante en el desarrollo embrionario al ser este susceptible a cambios (Couch *et al.*, 1973; Speake *et al.*, 1998; Cherian, 2008).

Después de la fecundación, el éxito del desarrollo embrionario dependerá de si todos los nutrientes aportados por la madre estuvieron disponibles en cantidad y forma. A partir de los componentes del huevo, cascara, yema y clara se movilizan los nutrientes específicos para el embrión. Estos nutrientes son utilizados directamente o parcialmente, al ser modificados por el metabolismo del propio embrión (Ding *et al.*, 1997; Speake *et al.*, 1998; Cherian, 2008).

La yema es abundante en lípidos, los cuales son la única fuente de energía, ácidos grasos esenciales y vitaminas liposolubles disponibles para el desarrollo embrionario (Cherian y Sim, 1997; Cherian y Sim, 2001; Cherian, 2007). La proteína puede ser obtenida de la yema por absorción directa, por la vía del saco vitelino y de la albúmina, a partir de la segunda semana de incubación, cuando pasa a ser ingerida en un proceso que mezcla también contenido residual de la yema. Los minerales son obtenidos a partir de la yema y después de la cáscara (López y Valverde, 2006).

Se ha estimado que los ácidos grasos de la yema representan más del 90% del total de los requerimientos energéticos para el desarrollo, producción de energía y síntesis estructural de membranas de los embriones de las aves (Ding *et al.*, 1997; Latour *et al.*, 1998; Cherian, 2007; Cherian, 2008). Por lo tanto, los ácidos grasos disponibles en el huevo afectarán la composición de las membranas celulares embrionarias durante el crecimiento y desarrollo del embrión (Speake *et al.*, 1998; Cherian, 2007).

1.2.7. Manipulación de la composición de los ácidos grasos en el huevo

Vilchez *et al.* (1991) concluyeron en un estudio durante 24 semanas en codorniz japonesa, que la composición de ácidos grasos de la dieta de la codorniz ponedora puede afectar la composición de los ácidos grasos de la yema de huevo. Link *et al.* (1994) demostraron que los huevos fértiles pueden modificarse mediante la dieta materna, pero no encontraron diferencias en la incubabilidad. Latour *et al.* (1998) determinaron que la manipulación de los ácidos grasos en la dieta, no afecta el contenido total de los lípidos del huevo. En general, la manipulación de las dietas de las gallinas reproductoras influencia el desarrollo embrionario, sin tener efecto posterior en la incubabilidad y fertilidad de los huevos.

El DHA es importante en los estadios del desarrollo embrionario, al ser parte importante del tejido cerebral. Los requerimientos del DHA del pollito recién eclosionado pueden proporcionarse mediante una adecuada fuente de ALA en la dieta materna (Cherian y Sim, 1997; Cherian, 2007; Cherian, 2008). En los huevos de gallinas reproductoras alimentadas con aceites n-3, el DHA y la proporción de DHA/AA incrementa, mientras que la proporción de n-6:n-3 se reduce. En huevos con niveles bajos de n-3 se observa una mayor cantidad total de AA (Sari *et al.*, 2002; Ajuyah *et al.*, 2003; Cherian, 2008). Cuando se incluye al aceite de pescado o de linaza, abundantes en ácidos grasos n-3, en la dieta de las gallinas, se observa una reducción del AA en los lípidos de las yemas de los huevos (Cherian, 1993; Cherian y Sim, 1997; Van Elswyk, 1997). En ratas, estas dietas disminuyeron el contenido de AA de los microsomas de los hígados, acompañado de un incremento de EPA y DHA en las membranas (Garg *et al.*, 1988).

Existe un incremento en n-3 después de sólo una semana de alimentación con dietas ricas en estos ácidos grasos, pero la estabilización de los ácidos grasos de la yema requiere más tiempo (Hargis *et al.*, 1991). La formación de la yema de huevo toma sólo nueve días, pero los contenidos estables del ALA, EPA y DHA de la yema se observan después de cuatro semanas de alimentación, siendo un proceso gradual. La concentración consistente de ALA se obtiene entre los 14 y 90 días de alimentación (Hargis *et al.*, 1991; Van Elswyk, 1997).

1.2.8. La gallina reproductora en la modulación de los ácidos grasos

Existe relación entre el peso del huevo fértil y del pollito recién eclosionado, con el peso del pollo a la edad del sacrificio. Al nacer, el peso del pollito representa el 66 a 68% del peso del huevo al momento de ser incubado. El peso del pollito recién eclosionado está determinado por dos factores: el peso del huevo y la pérdida de peso durante la incubación, esto último determinado por la porosidad del cascarón y la humedad relativa dentro de la máquina incubadora (Padrón, 2005).

El peso del huevo incrementa progresivamente con la edad de la gallina reproductora, los huevos de gallinas de 62 semanas de edad fueron 17% más pesados que los huevos de gallinas de 26 semanas de edad, sin embargo, entre más edad tuvo la gallina más se deterioró el grosor de la cáscara y el peso de la cáscara de huevo. Los huevos puestos durante la mitad del ciclo productivo de la gallina muestran mejores parámetros durante la incubación, comparados con los huevos de las gallinas jóvenes o de mayor edad. De forma similar se ha reportado que la mortalidad en la primera semana de vida de los pollitos es mayor en aves de reproductoras jóvenes (Cherian, 2008).

El metabolismo de las gallinas reproductoras en función de la edad determina los cambios en las concentraciones de los ácidos grasos linoleico, araquidónico, oleico y esteárico de la yema de huevo (Latour *et al.*, 1998; Peebles *et al.*, 2000). Los embriones de las reproductoras maduras presentan niveles superiores de lípidos en el plasma y en el hígado a los 19 días de incubación. En las aves jóvenes se observa una menor efectividad en la absorción de lípidos. El pico de incorporación de ácidos grasos fue observado a las 38 semanas de edad de la gallina reproductora para los ácidos saturados, monoinsaturados, y poliinsaturados (Cherian, 2008). Se ha demostrado, que entre más incrementa la edad de la gallina, también aumenta la incorporación de AA e incrementa la proporción de n-6:n-3 en los huevos (Ajuyah *et al.*, 2003).

Latour *et al.* (1998) reportaron que al alimentar a gallinas reproductoras con 3% de aceite de maíz (dieta baja en ácidos grasos saturados) las concentraciones de LA en los huevos fueron mayores cuando las gallinas tenían 64 semanas de edad, en la progenie el LA fue mayor comparado con las concentraciones en los huevos de

origen. Así mismo, las concentraciones de LA en la progenie fueron mayores cuando procedieron de gallinas reproductoras de 36 semanas de edad.

1.2.9. Los lípidos y la capacidad reproductora de machos

Los lípidos que componen las membranas de los espermatozoides proporcionan una serie de propiedades fisicoquímicas metabólicas definidas que permiten algunas de las actividades de alta especialización de estas células. Por ejemplo, la composición de lípidos determina la flexibilidad de la membrana (Stubbs y Smith, 1984; Salem *et al.*, 1986) para el movimiento de los flagelos característico de los espermatozoides y también las propiedades de fusión de las membranas asociadas con la reacción del acrosoma y fertilización (Bearer y Friend, 1982). Además, se ha demostrado que mediadores derivados de lípidos están implicados en mecanismos de transducción de señales que regulan las funciones de los espermatozoides (Oliver y Sprecher, 1989; Roldan y Harrison, 1993) donde los espermatozoides poseen una composición de lípidos altamente inusual, caracterizado por un contenido extremadamente alto de grupos acilo grasos C20-22 poliinsaturados. En mamíferos el principal componente de ácido graso de fosfolípidos (FL) en espermatozoide es DHA (C22:6 n-3) [(Jain y Anand, 1967; Salem *et al.*, 1986; Lin *et al.*, 1993)], mientras en las aves (al menos para las especies investigadas hasta ahora) es muy diferente, donde el esperma aviar muestra un predominio de AA (C20:4 n-6) y Docosatetraenoico (C22:4 n-6) (Darrin-Bennett *et al.*, 1974; Kelso *et al.*, 1996). Por lo tanto el esperma de mamíferos contiene más ácidos grasos poliinsaturados C20-22 de la serie n-3, mientras que las aves contienen más la serie n-6.

La función de los componentes acilo altamente poliinsaturados de los FL del espermatozoide es importante, los casos de reducción de la motilidad y alteración de la capacidad de fertilización se asocia a espermatozoides con deficiencias en el contenido de estos ácidos grasos (Salem *et al.*, 1986; Sebastián *et al.*, 1987; Kelso *et al.*, 1996). Algunos estudios mostraron una serie de cambios en las proporciones de las diversas clases de FL y sus perfiles de ácidos grasos asociados, que acompañó a deficiencias en la calidad del esperma en los gallos al avanzar su edad (Sebastián *et al.*, 1987).

La naturaleza de como las alteraciones en la composición de los lípidos y los cambios relacionados con la edad y fertilidad quedan por explicar, sin embargo, es razonable que los niveles decrecientes de fosfatidilserina y de los C20-22 del total de FL con el avance de la edad puede conducir a alteraciones en las propiedades físicas y o transducción de señales de la membrana del espermatozoide. En el cerebro y la retina, la fosfatidilserina es altamente enriquecida en C20-22 (Salem *et al.*, 1986; Cullis y Hope, 1991; Maldjian *et al.*, 1996), se ha sugerido que esta fracción FL particular, tiene un papel importante en la regulación de la fluidez de membrana con interacciones iónicas y la membrana de excitación y que también interactúa regulando una gama de proteínas de la membrana y enzimas (Salem *et al.*, 1986). Además, se ha propuesto que la interacción de Ca^{2+} con fosfatidilserina en las membranas puede provocar transiciones de fase al iniciar los eventos de fusión de membrana (Cullis y Hope, 1991) similar a la de la reacción del acrosoma. La disminución de las proporciones de la C20:4 n-6 y C22:4 n-6 en los FL de los espermatozoides, no es explicado solo por contenerlo la dieta, Parece, pues, que con la edad avanzada, tales cambios pueden surgir de una capacidad para sintetizar C20-22 o de sus precursores C18 e incorporar estos ácidos grasos se reduce. Esto sugiere que los ácidos grasos poliinsaturados pueden desempeñar un papel en el mantenimiento de la supervivencia de los espermatozoides en el tracto reproductivo de la hembra antes de la interacción con el ovocito.

Al-Daraji *et al.* (2010) observaron, que la adición de aceites abundantes en n-3, como el de linaza y pescado a la dieta de machos de codorniz, resultó en una mejora en las características de volumen de eyaculado, concentración espermática, espermatozoides vivos totales, vivos normales, en comparación con la inclusión de los aceites de girasol y maíz, sugiriendo la inclusión en las dietas de los aceites de pescado y linaza como herramienta para mejorar el rendimiento reproductivo de los machos de codorniz.

La posibilidad que la inclusión dietética adecuada de C20-22 puede atenuar la disminución relacionada con la edad y la fertilidad actualmente es objeto de investigación (Cerolini, *et al.*, 1997).

1.2.10. Desarrollo embrionario

Los componentes lipídicos de la yema son sintetizados en el hígado de la gallina, y se unen a las lipoproteínas para ser liberados a la circulación sanguínea materna, luego son transportados al ovario para la incorporación al oocito en desarrollo (Speake *et al.*, 1998). La formación de la yema de huevo requiere de nueve días (Hargis *et al.*, 1991).

La mayor deposición de nutrientes en el folículo ocurre en la semana que precede a la ovulación (Van Elswyk, 1997). La ovulación ocurre cuando el oocito maduro es liberado del ovario al oviducto. La fertilización ocurre en la parte alta del oviducto. Durante el pasaje del huevo por el oviducto, este recibe las proteínas de la albúmina, las membranas del cascarón y el cascarón (Speake *et al.*, 1998).

La membrana del saco vitelino tiene una importante función con relación al metabolismo de los lípidos, siendo responsable de transferir los lípidos de la yema al cuerpo del embrión. La membrana del saco vitelino es en una capa de células columnares simples, con gran capacidad de absorción. La capa basal de esta superficie endodermal es abundante en capilares los cuales alimentan una vena de mayor tamaño que entra en el sistema portal del embrión (Noble y Cocchi, 1990)

Solo una pequeña parte de los lípidos de la yema son transportados al embrión durante la primera mitad del desarrollo. Sin embargo, alrededor del día 12 de incubación el embrión entra en una fase de mayor metabolismo, caracterizada por una muy rápida transferencia de lípidos de la yema hacia el embrión vía la membrana del saco vitelino. Al momento de la eclosión, aproximadamente el 75% de los lípidos inicialmente presentes en la yema han sido absorbidos por el embrión (Noble y Cocchi, 1990).

Las evidencias morfológicas y bioquímicas demuestran que los lípidos de la yema son absorbidos por la membrana del saco vitelino a través de fagocitosis no específica (Noble y Cocchi, 1990; Cherian y Sim, 1997). Las vesículas fagocitadas se unen para formar grandes vacuolas citoplasmáticas con abundantes lípidos, que eventualmente predominan en la apariencia celular. La presencia de enzimas lisosomales en las vacuolas citoplasmáticas, sugieren que la hidrólisis de estos lípidos derivados de la yema puede iniciarse con la fusión de los lisosomas con estas

estructuras. Los productos de esta hidrólisis serán transferidos desde las vacuolas hacia el retículo endoplásmico para su re-esterificación (Lambson, 1970; Noble y Cocchi, 1990).

La principal fuente de energía durante el desarrollo embrionario es la derivada de la beta oxidación de los ácidos grasos. La utilización de esta energía se divide entre la energía requerida para la síntesis de tejido nuevo y la necesidad de mantener el tejido existente y esto dependerá de la masa del embrión, la cual se requiere, principalmente, al final de desarrollo, periodo de mayor síntesis de tejido, alrededor de los días 13 y 17 de la incubación y es menor al final de la incubación. Así mismo, el embrión, mantiene su temperatura de fuentes externas de calor, pero desarrollará rápidamente la termorregulación, para lo cual requerirá energía (Speake *et al.*, 1998). El embrión evita utilizar los AGP por la beta oxidación (Speake *et al.*, 1998), pues requiere de estos para la síntesis de los lípidos de membrana y eicosanoides (Cherian y Sim, 2001). Esto se manifiesta con un incremento en el contenido de AGP y la actividad de las desaturasas embrionarias hacia el día de eclosión (Cherian y Sim, 2001).

Existen mecanismos selectivos con los cuales se envían el DHA desde el saco vitelino hacia el cerebro de los embriones, confirmando la importancia de estos ácidos grasos para el proceso crucial del desarrollo neuronal (Speake *et al.*, 1998; Cherian, 2008). Los n-3 componen las membranas celulares confiriéndoles propiedades biofísicas únicas, impartiendo un grado superior de flexibilidad y compresibilidad, que puede ser vital para la extensión neuronal, la formación y función de sinapsis y en la fotorecepción. Los n-6 están presentes en grandes cantidades en los fosfolípidos neuronales en los que cumplen importantes funciones en los procesos de transducción de señal, síntesis de PG y otros eicosanoides n-6 (Neuringer *et al.*, 1988).

1.2.10.1. Sistema enzimático del embrión

El embrión en desarrollo necesita más EPA y DHA, indicado por la incorporación preferencial de estos ácidos grasos dentro del hígado y cerebro del embrión (Cherian y Sim, 2001). Los AGP de cadena larga no son proporcionados

directamente por la dieta, puesto que los niveles de estos son mayores en los pollitos recién eclosionados que en los lípidos de la yema (Cherian, 1993). Durante la incubación de huevos enriquecidos con n-3, se observa incremento en la incorporación de DPA, EPA y DHA en los tejidos hepático y cerebral del embrión. Esto sugiere que el hígado del embrión sintetiza estos ácidos grasos desde su precursor el ALA, es decir la producción es *in vivo* (Van Elswyk, 1997; Cherian y Sim, 2001). Los sitios de la síntesis de AGP de cadena larga en el hígado de las aves son los microsomas.

Los cambios en los ácidos grasos palmitoleico, oleico, AA y LA de la yema derivan de los cambios en las actividades de varios procesos enzimáticos; Específicamente de las actividades de los sistemas de desaturación de los ácidos grasos n-6 y n-9, en la membrana del saco vitelino. La enzima n-6 desaturasa es capaz de convertir el ácido esteárico a ácido oleico n-9 (Noble y Shand, 1985; Giron y Suarez, 1996). Mientras que la enzima n-6 desaturasa produce AA desde LA y EPA desde ALA, es decir es la limitante en la síntesis de los AGP. La enzima n-6 desaturasa del hígado de los pollitos procedentes de huevos enriquecidos con ácidos grasos n-3, sufre una disminución de su actividad (Mandon *et al.*, 1987; Latour *et al.*, 1996; Cherian y Sim, 2001). Los resultados observados por Cherian y Sim (2001) indican que los microsomas del hígado de los pollitos recién eclosionados responden a diferentes cantidades de AGP. El contenido de los ALA, EPA, DPA y DHA es mayor en los microsomas de los hígados de pollitos cuyas madres fueron alimentadas con linaza, se observa una reducción en el AA y en el total de ácidos grasos saturados en la progenie proveniente de madres alimentadas con linaza, comparados con los pollitos del grupo testigo; Así mismo, determinaron que la actividad de las n-6, n-5, y n-9 desaturasas disminuye en el hígado de rata alimentada con dietas ricas en EPA y DHA procedentes del aceite de pescado.

1.2.10.2. La manipulación de los ácidos grasos del embrión

En los últimos años, ha habido un gran interés en la función del AGP maternal en la modulación de la salud de la progenie (Hall *et al.*, 2007; Cherian, 2008). Diversos estudios respaldan que la modulación de los ácidos grasos n-3 del huevo ejerce

efectos positivos sobre la salud durante varias etapas de la vida después de la eclosión (Ajuyah *et al.*, 2003), siendo la dieta del ave reproductora un factor importante en el crecimiento embrionario (Ding *et al.*, 1997; Peebles *et al.*, 1998). La modulación de los ácidos grasos n-3 del huevo conduce a incrementar la retención de n-3 en los tejidos de la progenie. Así, los ácidos grasos de cadena larga maternales influenciarán su incorporación proporcional dentro de los lípidos de la yema. De esta forma el perfil de los ácidos grasos de la dieta materna influencia en el perfil de los ácidos grasos del tejido embrionario, repercutiendo en el metabolismo de los ácidos grasos del embrión (Couch *et al.*, 1973; Ding *et al.*, 1997; Ajuyah *et al.*, 2003; Cherian, 2008); Posteriormente imparte cambios únicos en la respuesta inmune y en la síntesis de eicosanoides n-3 en la progenie (Cherian y Sim, 2001; Wang *et al.*, 2004). Los pollitos procedentes de gallinas reproductoras alimentadas con dietas abundantes en ácidos grasos n-3 retienen niveles elevados de n-3 en tejido hepático, cerebral y cardíaco, comparado con pollitos procedentes de gallinas reproductoras alimentadas con niveles reducidos o carentes de n-3 (Ajuyah *et al.*, 2003; Cherian y Goeger, 2005; Cherian, 2008). Cherian y Sim (1997) determinaron que el contenido del DHA en el hígado y plasma de pollitos recién eclosionados, es mayor cuando proceden de gallinas alimentadas que contenían niveles abundantes de n-3. Concuerdia con lo observado por Ajuyah *et al.* (2003), que obtuvieron huevos con niveles de n-3 reducidos, medios y abundantes mediante la alimentación de las gallinas reproductoras con diferentes dietas, los pollitos eclosionados de estos huevos fueron alimentados con una dieta conteniendo ALA pero desprovisto de DHA y EPA; posteriormente se determinó que la composición de ácidos grasos del tejido cardíaco corresponde a la dieta materna al día uno, pero con el tiempo el nivel de todos los AGP disminuyen; Ninguno de los tratamientos fue efectivo para mantener los niveles de DHA después del día 14, mostrando que la alimentación con ALA a pollitos no mantuvo niveles altos de EPA y DHA. Los pollitos procedentes de madres alimentadas con niveles altos y medios de n-3, tuvieron mayores contenidos en EPA, DPA, y DHA en el tejido cardíaco en los días 1 y 14, comparado con el grupo de madres alimentadas con n-3 reducido.

En el estudio de Cherian (2007) se alimentó a gallinas reproductoras con n-3 (H) y con dietas bajas en estos ácidos grasos (L), obteniendo sus progenies. Los pollitos procedentes de ambos tipos de reproductoras, fueron a su vez alimentados con dietas abundantes en n-3 (h) o reducidas (l). Obteniendo así cuatro tratamientos H-h, H-l, L-h, y L-l, en donde el contenido de DHA hepático fue más alto en H-H que en L-H hasta el día 40 de crecimiento. Consecuentemente se observó que la concentración de AA fue mayor hasta el día 14 después de la eclosión en pollitos provenientes de reproductoras alimentadas con niveles reducidos de los n-3 comparados con los provenientes de madres alimentadas con niveles abundantes; concluyendo que los n-3 proporcionados por la madre y fijados en el huevo mantienen una concentración abundante de ácidos grasos en los tejidos de la progenie.

1.2.10.3. Desarrollo de los vasos sanguíneos en el embrión

El estudio de embrión de pollo (*Gallus gallus domesticus*) como modelo experimental se remonta al antiguo Egipto, pasa por Aristóteles y se sigue utilizando como modelo experimental (Stern, 2004). En él se han estudiado muchas incógnitas embrionarias por ser un modelo experimental con un rápido desarrollo y de fácil manejo y de bajo costo. Se han probado dos procesos involucrados en la formación de vasos sanguíneos durante del desarrollo embrionario: a) La vasculogénesis, es decir el desarrollo de vasos sanguíneos a partir del desarrollo *in situ* de las células endoteliales; b) La angiogénesis, que es el proceso mediante el cual un nuevo vaso crece a partir de otro preexistente. (Risau y Lemmon, 1988; Pardanao *et al.*, 1989). Los vasos del embrión de pollo (*Gallus gallus domesticus*), intraembrionarios y extraembrionarios, vienen utilizándose experimentalmente para estudiar la diferenciación arteriovenosa y su futuro uso en cirugía (Noble *et al.*, 2004); ciertas toxicidades (Rosenbruch y Holst, 1990); así como en la angiogénesis, con el objetivo de conseguir resultados extrapolables para el control tumoral (Siambliis *et al.*, 1996; Nikiforidis *et al.*, 1999).

1.2.10.4. Formación de los vasos sanguíneos extraembrionarios.

En el embrión de pollo (*Gallus gallus domesticus*) los primeros vasos sanguíneos que se forman son los extraembrionarios. Se desarrollan en las membranas extraembrionarias sobre el vitelo, y se denominan vasos onfalomesentéricos o vitelinos, se encargan de transportar la sangre entre el saco vitelino y el embrión para que le provean los nutrientes necesarios para su desarrollo; Romanoff (1960) describió un patrón de formación de los vasos sanguíneos del saco vitelino, aproximadamente en el estadio ocho del desarrollo, a partir de grupos aislados de células mesodérmicas en el área opaca se forman los islotes sanguíneos, las células periféricas de cada islote se transformarán en endotelio mientras que las células restantes se diferencian en corpúsculos sanguíneos (Balinsky, 1983).

El sistema vascular está envuelto en el crecimiento, proliferación normal y patológica, los procesos de reparación de tejidos en los disturbios circulatorios. Este sistema responde directamente a los factores inhibitorios, moduladores y estimulantes con regresión, proliferación y remodelación de la microvasculatura, alterando la dinámica de flujo sanguíneo y por tanto, modificando el aporte de oxígeno y nutrientes a los diversos tejidos del organismo. Se ha estudiado la forma de como los factores de estímulo, actúan modulando e inhibiendo el proceso de crecimiento vascular, buscando comprender la interacción entre los diversos factores y sus implicaciones para el metabolismo celular. Dentro de estos factores que interfieren en la dinámica de crecimiento vascular están los lípidos y sus derivados que comienzan a ser caracterizados. La posibilidad de estudiar este proceso de crecimiento se está utilizando en modelos *in vivo*, como la membrana vitelina de embriones de aves, debido a su accesibilidad en observación experimental.

Un posible mecanismo de control de crecimiento de los vasos por parte de los n-3 y n-6 puede ser modulando la producción del Factor de crecimiento vascular y endotelial (VEGF) y de la Prostaglandina E₂ (PGE₂). Blondeau *et al.* (2007) observaron que al adicionar más n-6 a las dietas estas promueven la producción de niveles elevados de PGE₂ que en dietas abundantes en n-3.

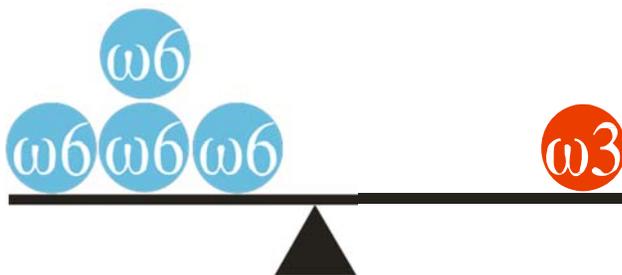
La relación entre el consumo de n-6 y la inflamación provocada por el AA, que puede ser formado del ácido linoleico (AL) involucrados en la estrategia de inicio de la

inflamación, aunque también los n-6 participan como antiinflamatorios suprimiendo la producción de moléculas como las quimiosina e interleucinas (Harris *et al.*, 2009). Una vez que la proporción de AGP presentes en las membranas es determinante para el tipo de eicosanoides que se generará, la reducción de AA en relación con el DPA n-3 eleva la formación del eicosanoides de serie impar derivados de EPA y suprime la formación de los eicosanoides de la serie AA, como la PGE₂ compitiendo por la actividad de la enzima ciclooxigenasa; este mecanismo inhibe la apoptosis e induce la proliferación celular y la angiogénesis (McCann y Carrik, 1998; Pai *et al.*, 2013). Los eicosanoides que derivan del DPA son menos reactivos que los derivados de AA (Hong *et al.*, 2003).

1.2.11. Importancia del equilibrio omega-6/omega-3

Los ácidos grasos omega-3 y los omega-6, son fundamentales para el organismo humano y se absorben siguiendo relaciones de equilibrio. Una alimentación correcta debe proporcionar un equilibrio entre ambos omega, es decir en una relación de 4:1 (Figura 2).

Figura 2. Esquema de la proporción de los omegas incluidos en la alimentación.



Accesado 23/07/2013

(Ore Q. <http://www.institutobiologico.com/downloads/Q%20ore%20omega%203%20.pdf>).

Algunos estudios desarrollados en los años 40 en EE.UU. establecieron un vínculo entre el exceso de colesterol y grasas saturadas de la alimentación y la mayor incidencia de afecciones cardiovasculares. Como consecuencia de este hecho,

durante años se ha potenciado indiscriminadamente la ingesta aceites de semillas (Maiz, soya, girasol, etc.), lo que ha provocado un gran excedente de ácidos grasos omega-6 en detrimento de los saludables omega-3. Esta práctica no es en absoluto recomendable, ya que una dieta que proporciona gran cantidad de omega-6 a expensas de una reducción en los omega-3 estimula los fenómenos inflamatorios en el organismo (Oliver y Sprecher, 1989).

La relación de equivalencia entre estos dos tipos de ácidos grasos (n-6:n-3) es crítica porque permite regular cientos de funciones metabólicas. En la actualidad la dieta humana presenta un consumo de ácido linoleico muy superior a las necesidades del cuerpo humano, con una relación n-6:n-3 que puede llegar a ser de 25:1 o incluso más (por ejemplo en EE.UU. es casi 100:1). El sistema circulatorio es como un sistema hidráulico, compuesto por una bomba el corazón, del que parte una extensa red de tuberías, algunas de gran calibre como la aorta y las grandes arterias, otras poco a poco más pequeñas las arterias y arteriolas, hasta llegar a los capilares que alcanzan todos los puntos del cuerpo. La función del sistema cardiovascular es la de permitir la circulación de la sangre, que como sabemos, transporta el oxígeno, nutrientes y en general, todos aquellos elementos que sirven para el funcionamiento de las células, además de expulsar los materiales de “desecho” como el anhídrido carbónico, sustancias derivadas de los procesos celulares, etc. (Oliver y Sprecher, 1989).

Las recomendaciones de necesidades de ácidos grasos en codorniz para ácido linoleico es de 10 g/kg de alimento (Shanaway, 1994). Acerca del aporte en grasas de la dieta, Summers y Leeson (1980) señalan que la grasa en la dietas de crianza varía de 2 a 3.9% y los ácidos grasos esenciales entre 0.6 y 1.2 %. Los ácidos grasos esenciales no se referencian en las tablas de requerimientos para codorniz. Vilchez *et al.* (1992) trabajando con tres ácidos grasos: palmítico, oleico y linoleico (3%) en la dieta de codornices reproductoras mencionan que al incluir ácido palmítico el consumo, producción de huevos, pollos nacidos y peso de los pollitos son mayores. El linoleico favorecería un mayor peso del huevo, aunque con una mayor mortalidad embrionaria. Estos autores, finalmente concluyen que parece que el ácido palmítico tiene algún papel fisiológico en la reproducción. Liu *et al.* (2003) trabajando con varias fuentes de

omega n-3 y n-6 con relación n-6:n-3 de 12.5:1 en codornices, sugieren que el consumo a largo plazo con una dieta de 3% inclusión de aceite pescado con relación n-6:n-3 de 18.5:1 consumiendo 3622.8 mg/día de n-6 y 195.6 mg/día de n-3; o aceite de soya hidrogenado con relación n-6:n-3 de 17.9:1 consumiendo 2193.73 mg/día de n-6 y 123.42 mg/día de n-3 tiene un efecto benéfico significativo sobre el metabolismo óseo de las codornices. Añadir aceite de maíz, ácido palmítico, ácido oleico o ácido linoleico a una dieta basal aumentó la capacidad de eclosión y la disminución de la mortalidad embrionaria tardía y que el ácido palmítico facilita una mayor movilización de yema por el embrión (Vilchez *et al.*, 1992). En aves reproductores jóvenes el menor porcentaje de nacimientos se ha asociado con una reducción de la movilización de lípidos de la yema por el embrión, así como los ácidos grasos alteran la composición de la yema (Noble y Yafei, 1988).

1.3. CONCLUSIÓN

De acuerdo a los conocimientos generados hasta 2017, se puede considerar que la cantidad y profundidad del conocimiento en este tema aún no está suficiente claro, por lo que la pertinencia de los trabajos realizados para la presente tesis se vuelven relevantes con el fin de contribuir en los aspectos con relación a aves reproductoras y los ácidos grasos omega-3 y omega-6, especialmente la proporción de ácido linoleico y α -linolénico en la dieta de codornices japonesas reproductoras.

CAPÍTULO 2. EFECTO DE LA INCLUSIÓN DE SEMILLAS DE LINAZA (*Linum usitatissimum* L.) Y CHÍA (*Salvia hispanica* L.) EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO, REPRODUCTIVO Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN HUEVO DE CODORNIZ JAPONESA (*Coturnix coturnix japonica*)

De acuerdo con la reglamentación del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, el capítulo 2 se integra por el artículo aceptado o publicado en revistas científicas incluidas en el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) o en *Journal of Citation Reports*®. El escrito que integra este apartado pretende contribuir parcialmente al objetivo general del documento de tesis; el artículo fue publicado en Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia (FCV-LUZ), cuya orientación se define en cuatro núcleos prioritarios de desarrollo científico y tecnológico: Salud Animal, Salud Pública, Reproducción Animal y Producción animal. Además, impulsa actividades con el sector productivo de Latinoamérica lo que constituye un programa muy amplio en investigación científica y tecnológica.

Artículo 1.

Título: Efecto de la inclusión de semillas de linaza (*Linum usitatissimum* L.) y chía (*Salvia hispanica* L.) en el desempeño productivo, reproductivo y perfil de ácidos grasos en huevo de codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*)

Autores: Carlos Bell Castro Tamayo, Francisco Gerardo Ríos Rincón, Germán Contreras Pérez, Juan Carlos Robles Estrada y Jesús José Portillo Loera

Revista: Revista Científica, FCV-LUZ.

Factor de impacto: 0.263

 UNIVERSIDAD DEL ZULIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS
DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN 
CS. VETERINARIAS
LUZ

MARACAIBO, ESTADO ZULIA, VENEZUELA



Efecto de la Inclusión de Semillas de Linaza (*Linum usitatissimum* L.) / Castro-Tamayo, C. y col. ___

EFFECTO DE LA INCLUSIÓN DE SEMILLAS DE LINAZA (*Linum usitatissimum* L.) Y CHÍA (*Salvia hispanica* L.) EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO, REPRODUCTIVO Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN HUEVO DE CODORNIZ JAPONESA (*Coturnix coturnix japonica*)

EFFECT OF INCLUDING FLAX (*Linum usitatissimum* L.) AND CHIA (*Salvia hispanica* L.) SEEDS ON PRODUCTIVE AND REPRODUCTIVE PERFORMANCE AND FATY ACID PROFILE OF JAPANESE QUAIL (*Coturnix coturnix japonica*) EGG

*Carlos Bell Castro-Tamayo, Francisco Gerardo Ríos-Rincón, Germán Contreras-Pérez, Juan Carlos Robles-Estrada y Jesús José Portillo-Loera**

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Sinaloa. Blvd. San Ángel s/n. Culiacán, Sinaloa, 80236 México.

*Fax: +52 (667) 718-1650. *Correspondencia al correo electrónico: portillo6422@yahoo.com*

2.1. RESUMEN

Para determinar el efecto de incluir semillas de Linaza (*Linum usitatissimum* L.) y Chía (*Salvia hispanica* L.) como fuente de Ácidos Grasos Esenciales (AGE [omega n3, n6]) en dietas para codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) sobre el desempeño productivo, reproductivo y perfil de AG en yema de huevo, se utilizaron 120 aves (100 hembras; 20 machos) de siete semanas de edad, alojadas en 10 jaulas durante once semanas. Las codornices de cinco jaulas se asignaron al azar a los tratamientos: Grupo I) Dieta a base de maíz y harina de soja, con 20% de PC y 2,9 Mcal kg⁻¹ de EM (Testigo). Grupo II) Dieta testigo más 1,86% de semillas de linaza y 0,10% de chía, con 21% de PC y 3,096 Mcal kg⁻¹ de EM. Se registró el consumo de alimento por codorniz, porcentaje de postura, alimento consumido por pollito nacido viable, incubabilidad, fertilidad, mortalidad embrionaria y AG en yema. Los resultados no mostraron diferencia significativa ($P \geq 0,05$) en consumo de alimento (34,56 g por codorniz), postura (80,73%) y huevo para incubar (65,48%). Las codornices del grupo II consumieron menos alimento (16 g) por pollito nacido, tuvieron 5,52% más huevos fértiles, de los que nacieron 3,48% más pollitos, con 3,61% menor mortalidad embrionaria ($P \leq 0,01$). La inclusión de semillas de linaza y chía, aumentó en la yema 2,96% los AG Poliinsaturados (AGP), y redujo a 7,39:1 la relación n6/n3, y a 0,5:1 la relación de AG Saturados (AGS)/AGP ($P \leq 0,05$). Se concluye que la inclusión de semillas de linaza y chía como fuente de AGE disminuye el consumo de alimento por pollito nacido, la relación de omegas n6/n3 y AGS/AGP en yema de huevo, y mejora la incubabilidad, fertilidad y mortalidad embrionaria en huevos de codorniz japonesa.

Palabras clave: *Linum usitatissimum* L; *Salvia hispanica* L; AGE; incubabilidad; fertilidad.

2.2. ABSTRACT

To determine the effect of including flax (*Linum usitatissimum* L.) and chia (*Salvia hispanica* L.) seed as a source of Essential Fatty Acids (EFAs [omega n3, n6]) in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) diets on productive, reproductive performance and FA profile in egg yolk, 100 females and 20 males seven-week of age were used and housed in 10 cages for eleven weeks. The quails were randomized one of two treatments: Group I) Received a diet based on corn and soybean meal, with 20% CP and 2.9 Mcal kg⁻¹ ME (control). Group II) Received control diet plus 1.86% flax and chia 0.10% seed, with 21% CP and 3.096 Mcal kg⁻¹ ME. Feed intake, egg laying rate, feed consumed per viable chick born, hatchability, fertility, embryo mortality and FA in yolk was measured. The results showed no significant differences ($P \geq 0.05$) in feed intake (34.56 g quail), egg laying (80.73%) and hatching eggs (65.48%). Quails in Group II consumed less feed (16 g) per chick born, had 5.52% more fertile eggs, from which 3.48% more chicks were born, with 3.61% lower embryonic mortality ($P \leq 0.01$). The inclusion of flax and chia seeds, increased 2.96% polyunsaturated FAs (PUFA) in yolk, and reduced to 7.39:1 the n6/n3 ratio, and to 0.5:1 the ratio of saturated fatty acids (SFA)/PUFA ($P \leq 0.05$). It is concluded that the inclusion flax and chia seed as a source of EFAs decreases feed intake per chick born, the ratio of omegas n6/n3 and SFA/PUFA in egg yolk, and improves hatchability, fertility and embryo mortality in Japanese quail eggs.

Key words: *Linum usitatissimum* L; *Salvia hispanica* L; EFAs; hatchability; fertility

2.3. INTRODUCCIÓN

Las fuentes de lípidos en las dietas para gallinas (*Gallus gallus domesticus*) productoras de huevo para plato modifican el perfil de ácidos grasos (AG) en la yema de huevo [18]. Los AG son precursores de los ácidos grasos esenciales (AGE), el omega-3 (n3) y el omega-6 (n6); éstos a su vez, regulan genes que codifican las proteínas implicadas en el metabolismo lipídico, energético e inmunidad innata y adquirida [13], ya que son precursores para la síntesis de eicosanoides, compuestos similares a hormonas que regulan la inflamación. La cantidad y proporción de AGE presente en las membranas es determinante para el tipo de eicosanoide que se generará. La reducción de ácido araquidónico (AA) en relación con el ácido docosapentaenoico (DPA un n3) es importante, porque DPA promueve la producción de resolvinas que compite con la eicosanoide pro inflamatorio prostaglandina E2 (PGE2) por la actividad de la enzima ciclooxigenasa, la cual inhibe la apoptosis e induce la proliferación celular y la angiogénesis [25]. El AA es el de mayor disponibilidad en una dieta típica, fuente de eicosanoides, con efectos pro inflamatorios, además liberan radicales libres causantes de daños a la membrana celular [27]. Los AG de la yema representan más del 90% del total de los requerimientos energéticos para el desarrollo y síntesis estructural de membranas del embrión de las aves [14]; sin embargo, los AGE contenidos en el huevo afectan la composición de las membranas celulares embrionarias durante su crecimiento y desarrollo [27]. Los vasos sanguíneos extraembrionarios o vitelinos se desarrollan en las membranas extraembrionarias sobre el vitelo, que transportan nutrientes entre el saco vitelino y el embrión, necesarios para su desarrollo, también son afectados por éstos [13]. Un factor que interviene en la dinámica de crecimiento vascular son los AGE y sus derivados, de los cuales no hay suficiente información. El pescado es la fuente más importante de AGE n3 en la dieta humana, rico en ácido eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA); otra fuente de AGE son las semillas de oleaginosas, especialmente linaza (*Linum usitatissimum* L.), que contiene un alto nivel (50 a 55%) de ácido linolénico (ALA) [8]. Además, las dietas elaboradas

con aceite de linaza, disminuyen significativamente el contenido de AG n6 y con esto la proporción n6/n3 [18]. Otra fuente es la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) [6], que se caracteriza por un alto contenido de nutrientes, como: 23,60% de proteínas, carbohidratos 18,6%, lípidos 29,8% [5], dentro de ellos el contenido de ácido linoleico n6 (AL) es de 19% y de ALA en 63,8, clasificado éste último como n3; la semilla de chía, lo contiene más que otras fuentes, como algas (*Cryptheconium* spp., *Mortierella* spp., *Schizochytrium* spp.), arenque (*Clupea* spp.) y salmón (*Salmo* spp.) [6]; los aceites de uso común como oliva (*Olea europea*), cártamo (*Carthamus tinctorius*), soja (*Glycine max*), maíz (*Zea mays*) y canola (*Brassica napus*), no destacan por su contenido de n3, ya que ninguno supera el 9% [24]. El aceite de linaza tiene 57,5% de ALA; además es una fuente de Ca, P, Mg, Fe, K, Zn y Cu. La fracción fibrosa de la semilla de chía tiene capacidad antioxidante comparable con el vino, té (*Camellia sinensis*), café (*Coffea* spp.) y jugo de naranja (*Citrus sinensis*) [5]. Se ha observado que la adición de aceites ricos en AGE n3, provenientes de linaza y de pescado (*Hypophthalmichthys molitrix*) en la dieta de machos de codorniz (*Coturnix coturnix japonica*), mejoraron el volumen de eyaculado, concentración espermática, espermatozoides vivos totales, espermatozoides vivos normales, en comparación con aceite de girasol (*Helianthus annuus*) o maíz, sugiriendo que la inclusión de aceite de pescado y linaza en las dietas mejora el rendimiento reproductivo de machos de codorniz [2]. Al alimentar gallinas de postura con maíz y soja, los ácidos grasos saturados (AGS) encontrados en la yema de huevo, fueron el palmítico y el esteárico [24]. En estudios llevados a cabo en ratones de laboratorio (*Mus musculus*) y en humanos, en los que se evaluó el desarrollo del sistema nervioso, aprendizaje, sueño y niveles de colesterol, los resultados muestran que la alimentación correcta debe proporcionar n6/n3 en una relación 4:1 hasta 1:1 [26]. De tal manera que los n3 y n6 son fundamentales para el organismo humano ya que se absorben siguiendo una proporción de equilibrio. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de incluir semillas de Linaza (*Linum usitatissimum* L.) y Chía (*Salvia hispanica* L.) como fuente de AGE sobre el desempeño productivo, reproductivo y perfil de AG en yema de huevo de codorniz japonesa.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1. Lugar de trabajo

El experimento se realizó en la Unidad Avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, en Culiacán, Sinaloa, México (24° 46' 13" LN y 107° 21' 14" LO). La región se caracteriza por tener un clima BS1 (h' w(w)(e), el cual se define como clima semi seco, muy cálido, con lluvias en verano, según la clasificación de Köppen y modificada por García [16]; con temperatura promedio anual de 25,9°C, máxima de 30,4°C en junio y julio, y mínima de 20,6°C en enero; la humedad relativa promedio es de 68%, con máxima de 81% en septiembre y mínima de 51% en abril; la precipitación anual promedio es de 688,5 mm [7].

2.4.2. Animales y manejo

Se utilizaron 100 hembras y 20 machos de codorniz japonesa de siete semanas de edad; las aves se alojaron en 10 jaulas (60x50x20 cm) en batería dentro de una caseta convencional; durante el experimento, la temperatura ambiental promedio de la caseta fue de 22±2°C, y se manejó un programa de luz (14 L:10 O). Las codornices de cinco jaulas (250 cm²/codorniz) se asignaron al azar a uno de dos tratamientos (TABLA I): Grupo I. Dieta testigo a base de maíz y harina de soja, (20,06% de proteína cruda (PC) y 2,935 Mcal kg⁻¹). Grupo II. Dieta similar a la testigo adicionada con 1,86% semilla de Linaza más 0,10% semilla de Chía, (21% PC y 3,096 Mcal Kg⁻¹), formulada según las recomendaciones de National Research Council [22], con valores para Proteína Cruda y Extracto Etéreo obtenidos del Análisis Químico Proximal [19], y energía calculada con la ecuación propuesta por Moir y col. [21]. La TABLA II presenta los contenidos calculados de AGE en alimento en función de la composición química de las materias primas mostradas en investigaciones anteriores [1, 5, 10, 17]. El alimento se proporcionó ad libitum en forma de harina, al finalizar cada semana (sem) se calculó el consumo de alimento por ave, el número y peso del huevo se registraron diariamente; con esta información se calculó el porcentaje de postura y el consumo de alimento por codorniz. La colección de huevo para incubar se inició a partir de que las

codornices alcanzaron las nueve sem de edad; la incubación se realizó una vez por sem durante nueve sem (Huacuja®; Modelo 1020; Guadalajara, Jalisco, México). Los criterios para seleccionar el huevo para incubar se basaron en el peso (12 a 16 g), de forma ovoide, buena consistencia y color del cascarón. Éste se almacenó de 12 a 18°C durante 7 días (d) (Refrigerador Nieto®; Modelo Critotec CFX-8; Guadalajara, Jalisco, México), y antes de cada incubación el huevo se atemperó 3 horas (h); a 22±1,05°C, y se desinfectó con peroximonosulfato de potasio 21,41%, cloruro de sodio 1,50%, otros ingredientes 77,09% (Virkon®), a una dosis 1:50.

TABLA I
COMPOSICIÓN Y APORTE NUTRIMENTAL CALCULADO DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES.

Ingrediente (g/100 g)	Tratamiento	
	Grupo I	Grupo II
Maíz	55,3	50,29
Harina de soya	35,9	35,20
Semilla de Linaza	0,0	1,86
Semilla de Chía	0,0	0,10
Aceite de soya	4,43	4,34
Sal	0,30	0,29
DL-Metionina	0,29	0,28
Piedra caliza	6,00	5,88
Absorbente (Zealex Extra®)	0,10	0,10
Fosfato monodivale	0,98	0,96
Pigmento (Florafyl®)	0,10	0,10
Prebiótico	0,20	0,20
Fitasa	0,20	0,20
Premezcla de Vitaminas y Minerales ^A	0,20	0,20
Análisis calculado (%)		
EM, Mcal/kg ^B	2,935	3,096
Proteína Cruda ²	20,06	21,00
Metionina, % ¹	0,50	0,50
Ca, % ¹	2,58	2,58
P disponible, % ¹	0,35	0,35

^APremezcla de vitaminas y minerales proporciona por kg de dieta: 3,75 mg de retinol; 112 µg colecalciferol; 30 mg acetato tocoferol; 3 mg bisulfuro sódico; 1,5 mg tiamina; 3 mg piridoxina; 15 µg cianocobalamina; 1,5 mg ácido fólico; 55 mg Ca pantotenato; 180 µg biotina; 600 mg de colina; 75 mg Mn; 75 mg de Zn; 75 mg de Fe; 900 µg Mo; 750 µg Co; 1,6 mg de Cu; 105 µg Se; 120 mg Banox (BTA+BHT), ^BValores calculados por ecuación [21], ¹Valores calculados de tablas [22], ²Análisis Químico Proximal, [19].

La incubación se llevó a cabo en un equipo automático, con volteo cada 2 h, calibrada a $37,7\pm 1^{\circ}\text{C}$ y 50 a 60% de humedad relativa. A los 14 d, los huevos se transfirieron a nacedora (Huacuja®; Modelo 1200; Guadalajara, Jalisco, México). La incubabilidad se determinó como la razón de pollitos de codorniz nacidos del total de huevos fértiles, los pollitos se retiraron de la nacedora a partir de 12 h de iniciada la eclosión y se registró el peso individual. Los huevos no eclosionados al d 18 de la incubación fueron abiertos, y la fertilidad y mortalidad embrionaria se determinó bajo los siguientes criterios: Muerte embrionaria temprana: Embriones que mostraron primeros signos de desarrollo caracterizado por el desarrollo del ojo, con ausencia de yemas en las extremidades; Muerte embrionaria intermedia: Embriones que mostraron las extremidades desarrolladas; Muerte embrionaria tardía: Embriones que mostraron presencia de plumas; pollos que picaron y no nacieron: Huevos que mostraron signos de ruptura por fuerza interna al d 18, independientemente de si el pollito este vivo o muerto [11].

TABLA II
PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES (COMO % DEL TOTAL DE LÍPIDOS)

AG % ¹	Grupo I	Grupo II
Ácidos Grasos Saturados (AGS)	1.06	1.15
Ácidos Grasos Monoinsaturados (AGM)	1.68	1.84
Ácidos Grasos Polinsaturados (AGP)	4.05	4.65
n3	0.37	0.85
n6	3.68	3.80
n6/n3	9.9	4.5
AGS/AGP	0.26	0.25

¹ Valores calculados en función de la composición química teórica de las materias primas, [8] [17] [3] y [15].

Se consideró huevo no fértil tomando como referencia macroscópica la presencia de una zona transparente y zona opaca en la yema [11]. La fertilidad se calculó como la

razón de los pollitos nacidos más los que desarrollaron embrión no viable hasta los 18 d de incubación, y el total de huevos incubados. A los d 28; 56 y 62 del experimento se colectaron huevos por tratamiento, los que se mantuvieron en congelación (Congelador Polar®; Modelo CH7; Guadalupe Nuevo León, México) hasta la determinación del perfil de AG, en el laboratorio los lípidos totales se extrajeron con una mezcla de cloroformo, metanol y agua de acuerdo con la técnica de Folch [15], bajo atmósfera de nitrógeno. Cada muestra fue procesada por triplicado y la conversión de los AG en metil ésteres se llevó a cabo con NaOH y BF₃ metanólico al 14%, según el método 969,33 de la Association International of Oficial Analytical Chemists Methods of Análisis (AOAC) [3]. Los metil ésteres disueltos en hexano se analizaron con un cromatógrafo de gases (Agilent®; Modelo 7820; EUA), equipado con una columna capilar de 30 m de largo, 0,32 mm de diámetro interno (Omegawax 320) y un detector de ionización de llama. Para la cuantificación se utilizaron estándares de metil ésteres de AG de 99% de pureza (Supelco®; Lipid Standard C4-C24; EUA).

2.4.3. Análisis estadístico

El análisis de los resultados de respuesta productiva se realizó bajo el modelo para un diseño experimental totalmente al azar con un factor nido (dieta) y un factor cruzado (semana), donde la unidad experimental fue la jaula con 10 codornices, con cinco réplicas por tratamiento, para ello se utilizó el procedimiento para modelos mixtos (Proc MIXED) de SAS [28], donde la jaula se declaró como efecto aleatorio y se consideraron varianzas heterogéneas, la comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey-Cramer. Los resultados de AG se analizaron con la prueba t de Student para muestras independientes, previa prueba de Fisher del análisis de la razón de las varianzas [29], donde la unidad experimental fue cada yema de huevo, con tres réplicas por tratamiento. Las proporciones de incubabilidad, fertilidad y mortalidad embrionaria se analizaron con la prueba de Ji cuadrado [29]. El nivel de alfa máximo para aceptar diferencia estadística fue 0,05.

2.4.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.4.1. Respuesta productiva

Los resultados de respuesta productiva se presentan en la TABLA III. La inclusión de semilla de linaza y chíá no afectó el alimento consumido (34,56 g), postura (80,73%) y huevo para incubar (65,48%).

TABLA III
RESPUESTA PRODUCTIVA DE CODORNIZ JAPONESA CON INCLUSIÓN DE SEMILLA DE LINAZA Y CHÍA EN EL ALIMENTO

Variable	n	Tratamiento			Probabilidad		
		Grupo I	Grupo II	EEM	Sem	Trat	SxT
PPOST, %	61	79,8	81,65	0,99	0,03	0,20	0,94
PHINC, %	61	64,58	66,37	2,82	0,51	0,67	0,97
PPHI, g	61	15,11	14,92	0,09	0,44	0,15	0,60
ACAVE, g	9	34,67	34,44	0,48	0,20	0,75	--
ACPHI, g	9	93,56	81,44	5,09	0,07	0,13	--
ACPPN, g	9	121,0	105,0	2,87	0,10	0,01	--
CEEAD, cal		101,76	106,63				
CEPCAD, g		7,38	7,00				

PPOST: Porcentaje de postura, PHINC: Porcentaje de huevo incubable, PPHI: Peso promedio de huevo para incubar, ACAVE: Alimento consumido por ave, ACPHI: Alimento consumido por huevo para incubar, ACPPN: Alimento consumido por pollito nacido, CEEAD: Consumo estimado de energía por ave por día, CEPCAD: Consumo estimado de proteína cruda por ave por día, EEM: Error estándar de la media, Sem: Semana, Trat: Tratamiento, SxT: Interacción semana por tratamiento.

El consumo de alimento es similar al observado por Al-Daraji [1] al alimentar codornices con 3% de alguno de los aceites de girasol, linaza maíz y pescado (34,71 g). Así mismo, el consumo estimado de energía y proteína diario por ave solo difirió 4,87 cal y 0,38 g, respectivamente (TABLA III). El porcentaje de postura fue similar al reportado por Ayerza y col. [6] al incluir semilla de linaza (3 a 5%) y de chíá (7 a 14%)

en la dieta de gallinas, con un 74%. El grupo II consumió menos alimento (16 g) por pollito nacido. El efecto significativo ($P \leq 0,03$) para porcentaje de postura, o cercano a la significancia ($P = 0,07$) en alimento consumido por huevo para incubar, para la fuente de variación de sem, en ambos casos, es el resultado lógico a esperar, ya que la producción de huevos aumenta en el tiempo, independientemente de las dietas y el alimento consumido por huevo incubado.

2.4.4.2. Perfil de ácidos grasos

Los resultados del perfil de AG en la yema de huevo se muestran en la TABLA IV. En el grupo de semillas de Linaza y Chía, para algunos AG el equipo no detectó elevaciones en el cromatograma.

TABLA IV
PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN YEMA DE HUEVO CRUDO DE CODORNIZ
JAPONESA CON INCLUSIÓN DE SEMILLA DE LINAZA Y CHÍA EN EL ALIMENTO
(COMO % DEL TOTAL DE LÍPIDOS).

Ácido graso (%)	Nomenclatura	Grupo I		Grupo II		P
		media	DE	media	DE	
Mirístico	C14:0	0,43	0,02	ND	--	--
Palmitico	C16:0	25,35	0,88	24,00	0,03	0,12
Palmitoleico	C16:1, cis-9	4,70	0,25	ND	--	--
Estearico	C18:0	9,31	0,71	ND	--	--
Oleico	C18:1, cis-n9	43,76	0,36	43,87	2,66	0,95
Linoleico	C18:2, cis-9,12n6	14,86	1,32	13,43	1,57	0,29
Linolénico	C18:3, cis-9,12,15n3	0,25	0,04	ND	--	--
Gama-Linolénico	C18:3, cis-6,9,12 n6	0,06	0,001	ND	--	--
Cis-11 eicosenoico	C20:1n9	0,17	0,08	ND	--	--
Cis-11,14 eicosadienoico	C20:2	0,08	0,04	ND	--	--
Cis-8,11,14-eicosatrienoico	C20:3n6	0,06	0,001	7,94	0,38	0,0008
Cis-5,8,11,14,17-eicosapentaenoico	C20:5 n3	0,33	0,03	ND	--	--
Heneicosanoico	C21:0	0,12	0,02	ND	--	--
Cis-13 16docosadienoico	C22:2	0,17	0,01	6,87	3,93	0,0001
Cis-4,7,10,13,16,19 docosahexaenoico	C22:6 n3	0,34	0,17	3,88	0,71	0,01
(%)						
Ácidos Grasos Saturados (AGS)		35,26	1,44	24,00	0,03	0,005
Ácidos Grasos Monoinsaturados (AGM)		48,47	0,19	43,87	2,66	0,10
Ácidos Grasos Poliinsaturados (AGP)		16,27	1,48	32,12	2,68	0,0009
AGS/AGP		2,18	0,8	0,75	0,06	0,013
n3		0,92	0,18	3,88	0,71	0,02
n6		15,24	1,34	28,24	1,97	0,0007
n6/n3		16,90	2,91	7,39	0,88	0,006

ND: Niveles no detectables, AGS: Ácidos grasos saturados, AGM: Ácidos grasos monoinsaturados, AGP: Ácidos grasos poliinsaturados, DE: Desviación estándar de 3 muestras, P: Probabilidad.

Los AG Cis-8,11,14-eicosatrienoico (C20:5 n3), Cis-13,16-docosadienoico (C22:2), Cis-4,7,10,13,16,19- docosaheptaenoico (C22:6 n3), aumentaron su concentración ($P \leq 0,01$), en 7,88; 70 y 3,55%, respectivamente, esto contribuyó a un 15,85% más ($P \leq 0,01$) de AGP; así mismo, la proporción de AGS fue menor ($P \leq 0,01$) en 11,26%, por lo tanto la relación AGS/AGP fue menor en 1,43, y la proporción de n3 y n6 fue mayor ($P \leq 0,01$) en 2,96 y 13,00%, respectivamente; y la relación n6/n3 fue en 9,51 más estrecha ($P \leq 0,01$). Estos resultados concuerdan con los observados por Cherian [9] en huevo de gallinas reproductoras alimentadas con AGP n3, donde el ácido docosaheptaenoico (DHA) se incrementó, y la relación n6/n3 fue más estrecha.

2.4.4.3. Respuesta reproductiva

Los resultados para respuesta reproductiva se presentan en la TABLA V. Incluir semilla de linaza y chía mejoró ($P \leq 0,01$) la incubabilidad en 3,48% más pollitos nacidos viables y 5,52% más huevos fértiles con respecto al total de huevos transferidos.

TABLA V

RESPUESTA REPRODUCTIVA DE CODORNIZ JAPONESA CON INCLUSIÓN DE SEMILLA DE LINAZA Y CHÍA EN EL ALIMENTO

Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XXVII, N° 2, 131 - 139, 2017

	Tratamientos		
	Grupo I	Grupo II	Probabilidad
Huevos incubados	1152	1145	
Huevos transferidos	1147	1141	
Pollitos nacidos	898	987	
Huevos no eclosionados	249	154	
Huevos fértiles en embriodiagnóstico	160	130	
Huevos infértiles en embriodiagnóstico	82	19	
Pollitos más huevos fértiles	1058	1117	
Pollitos más huevos embriodiagnosticados	1140	1136	
Incubabilidad sobre huevos totales, %	78,29	86,50	0,01
Fertilidad, %	92,81	98,33	0,01
Incubabilidad sobre huevos fértiles, %	84,88	88,36	0,02

Resultados similares se obtuvieron al utilizar aceite de linaza o maíz, logrando 3,19 y 4,4% más en fertilidad e incubabilidad, respectivamente [1], esto se puede deber al beneficio que aportan los AGE, ya que estudios realizados con machos de codornices que consumieron dietas que contenían 3% de aceite de pescado mostraron mejora en el volumen y motilidad espermática [2], además éstos mejoran la flexibilidad de látigo del espermatozoide [30]. Los resultados de mortalidad embrionaria se muestran en la TABLA VI.

TABLA VI
EMBRIODIAGNÓSTICO DE HUEVO NO ECLOSIONADO DE CODORNIZ
JAPONESA CON INCLUSIÓN DE SEMILLA DE LINAZA Y CHÍA EN EL ALIMENTO

	Tratamiento		
	Grupo I (Testigo)	Grupo II	Probabilidad
Huevos transferidos a nacedora, n	1147	1141	
Muerte embrionaria temprana	6,02% (69)	5,17% (59)	0,38
Muerte embrionaria intermedia	0,09% (1)	0,00 (0)	0,32
Muerte embrionaria tardía	7,85% (90)	5,17% (59)	0,10
Mortalidad total	13,95% (160)	10,34% (118)	0,01

La inclusión de semilla disminuyó ($P \leq 0,01$) la mortalidad embrionaria total en 3,61%, y esta se atribuye a la menor mortalidad ($P \leq 0,01$) en la etapa tardía (2,68%). La mejor respuesta en incubabilidad, fertilidad y mortalidad embrionaria se puede atribuir al efecto de la relación de AGS/AGP de 1,42 y AGE n6/n3 de 39,51, más amplia para el grupo I. Dietas donde la proporción de AGS es alta, incrementa la mortalidad embrionaria [23]; se ha demostrado que la adición de 0,5% de ácido linoleico conjugado a la dieta de codornices, aumentó los AGS y la mortalidad embrionaria registró 36% más, con una relación AGS/AGP de 1,18 más amplio respecto al testigo [4]. En otro estudio [12], al incluir semilla de linaza al 4 y 7% en el alimento de codornices, refieren valores de incubabilidad sobre huevo fértil de 86,96 89,91%, respectivamente, estos valores son mayores a los obtenidos con dietas a base de maíz y trigo (81,21%) pero sin reportar mortalidad embrionaria, sin embargo, es

posible inferir que fue menor al mostrar mayor incubabilidad sobre huevo fértil. Al-Daraji y col. [1], al incluir aceite y semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum*) en 0,5, 1 y 2% obtuvieron mejores resultados de fertilidad, incubabilidad y disminución de mortalidad embrionaria a favor de la semilla sobre el aceite; estos resultados pueden indicar que el manejo de los aceites puede ser más importante que su contenido de AG, y que la oxidación de los AGP sea la causa de las variaciones en los resultados en gallinas de postura, utilizando aceite de pescado o concentrados de DHA y EPA [20]. Para gallinas reproductoras pesadas donde los parámetros reproductivos se ven afectados por el sobrepeso y obesidad, y que son alimentadas con dietas típicas a base de harina de soja, harina de maíz y aceites de éstos, el empleo de semillas de linaza y chía, constituyen una buena combinación a fin de promover el incremento del consumo de ácidos grasos insaturados, lo cual puede mejorar los indicadores reproductivos. A pesar de la evidencia y el uso actual en productos para alimentación humana, todavía hay necesidad de más estudios, que determinarán el requerimiento, relación n6/n3, y qué importancia pueden tener en la reproducción de las aves al incluirlos en su alimentación, sin efectos adversos.

2.5. CONCLUSIONES

Se concluye que, para las condiciones en las que se realizó este trabajo, la inclusión de semillas de linaza y chía como fuente de consumo de AGP durante 63 d en codorniz japonesa reproductora, incrementó la incubabilidad, fertilidad y redujo la mortalidad embrionaria, asociado a mayor proporción de los AGE n3 y una relación n6/n3 más estrecha en la yema de los huevos para incubar.

2.6. AGRADECIMIENTO

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Unidad Culiacán, por permitir el uso del equipo de Cromatografía para el perfil de ácidos grasos. Al CONACyT por la beca de estudio para CBCT.

2.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AL-DARAJI, H.J.; AL-MASHADANI, H.A.; AL-HAYANI, W.K.; MIRZA, H.A.; AL-HASSANI, A.S. Effect of dietary supplementation with different oils on productive and reproductive performance of quail. **Int. J. Poultr. Sci.** 9 (5):429-435. 2010.
- [2] AL-DARAJI, H.J.; AL-MASHADANI, H.A.; AL-HAYANI, W.K.; AL-HASSANI, A.S.; MIRZA, H.A. Effect of n-3 and fatty acids supplemented diets on semen quality in japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). **Int. J. of Poultr. Sci.** 9 (7):656-663. 2010.
- [3] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Method 969.33. Oils and Fat. Determination of fatty acids in oils and fats In: **Official Methods of Analysis of AOAC International. Oils and Fat**. Horwitz W. (Ed.) Virginia, USA. Pp 19-20. 2000.
- [4] AYDIN, R.; COOK M.E. The effect of dietary conjugated linoleic acid on egg yolk fatty acids and hatchability in japanese quail. **Poult. Sci.** 83:2016–2022. 2004.
- [5] AYERZA, R.; COATES, W. Chia and Other Sources of Omega-3 Fatty Acids. **Chia: rediscovering a forgotten crop of the Aztec**. The University Arizona Press, Tucson, Arizona, USA. Pp 109-112. 2005.
- [6] AYERZA, R.; COATES, W. Influence of environment on growing period and yield, protein, oil and alfa-linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L.) selections. **Ind. Crops and Prod.** 30:321-324. 2009.
- [7] CIAPAN. Guía para la asistencia técnica del Valle de Culiacán. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias. Culiacán, Sinaloa, México. 92 pp. 2002.
- [8] CHEN, Z.Y.; RATNAYAKE, W.M.N.; CUNNANE, S.C. Oxidative stability of linseed lipids during baking. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 71 (6):629-632. 1994.
- [9] CHERIAN, G. Egg quality and yolk polyunsaturated fatty acid status in relation to broiler breeder hen age and dietary n-3 oils. **Poult. Sci.** 87:1131-1137. 2008.
- [10] CORTÉS, C.A.; CELIS, G.A.; ÁVILA, G.E.; MORALES, B.E. Valor nutrimental de cuatro pastas de soya procesadas en diferentes estados de la República Mexicana. **Vet. Méx.** 33(3):209-217. 2002.

- [11] DALTON, M.N. Effects of Dietary Fats on Reproductive Performance, Egg Quality, Fatty Acid Composition of Tissue and Yolk and Prostaglandin Levels of Embryonic Tissues in Japanese Quail (*Coturnix coturnix japonica*). Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. Thesis of Grade. Pp 60. 2000.
- [12] DANUTA, S.; TARASEWICZ, Z.; SULIK, M.; KOPCZYŃSKA, E.; PYKA, B. Effect of the diet with common flax (*Linum usitatissimum*) and black cumin seeds (*Nigella sativa*) on quail performance and reproduction. **Anim. Sci. Pap. Rep.** 30 (3):261-269. 2012.
- [13] DECKELBAUM, R.; WORGALL, T.S.; SEO, T. n-3 fatty acids and gene expression. **Am. J. Clin. Nutr.** 83(6):1520S-1525S. 2006.
- [14] DING, S.T.; LILBURN, M.S. Inclusion of coconut oil in diets for turkey breeders and its effects on embryonic yolk and liver fatty acids. **Poult. Sci.** 76:1714-1721. 1997.
- [15] FOLCH, J.; LEES, M.; STANLEY, G.H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **J. Biol. Chem.** 226:497-509. 1957.
- [16] GARCÍA, E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarla a las condiciones climáticas de la República Mexicana). Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 144 pp. 1988.
- [17] GÜÇLÜ, B.K.; UYANIK, F.; ISCAN, K.M. Effects of dietary oil sources on egg quality, fatty acid composition of eggs and blood lipids in laying quail. **S. Afr. J. Anim. Sci.** 38 (2):91-100 2008.
- [18] HARGIS, P.S.; VAN ELSWYK, M.V.; HARGIS, B.M. Dietary modification of yolk lipid with menhaden oil. **Poult. Sci.** 70:874-883. 1991.
- [19] KJELDAHL, J. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. **Z. Anal. Chem.** 22:366-382. 1883.
- [20] KOPPENOL, A.; DELEZIE, E.; WANG, Y.; FRANSSENS, L.; WILLEMS, E.; AMPE, B.; BUYSE, J.; EVERAERT, N. Effects of maternal dietary EPA and DHA supplementation and breeder age on embryonic and post-hatch performance of broiler offspring: age and n-3 pufa affect embryonic and post-hatch performance. **J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.** 99:36-47. 2015.

- [21] MOIR, K.W.; YULE W.J.; CONOR, J.K. Energy losses in the excreta of poultry: a model for predicting dietary metabolizable energy. **Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.** 20:151-155. 1980.
- [22] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Nutrient Requirements of Poultry: 9th.Ed. Rev. National Academy Press, Washington, D. C. 145pp. 1994.
- [23] NOBLE, R.C.; COCCHI, M. Lipid metabolism and the neonatal chicken. **Proc. Lipid Res.** 29:107–140. 1990.
- [24] O'BRIEN, R.D. Fats and oils analysis. In: O'Brien R.D. (Ed). **Fat and oil, formulating and processing for application.** Technomic publishing Co, Inc. Lancaster PA; Pp 181–249. 1998.
- [25] PAI, W.Y.; HSU, C.C.; LAI, C.Y.; CHANG, T.Z.; TSAI, Y.L.; HER, G.M. Cannabinoid receptor 1 promotes hepatic lipid accumulation and lipotoxicity through the induction of SREBP-1c expression in zebrafish. **Transgenic Res.** 22(4):823-838. 2013.
- [26] SIMOPOULOS, A.P.; CLELAND, L.G. Omega-6/Omega-3 essential fatty acid ratio: The scientific evidence. **World Rev. Nutr. Diet. Basel: Karger,** 92:37–56. 2003.
- [27] SPEAKE, B.K.; NOBLE, R.C.; MURRAY A.M.B. The utilization of yolk lipids by the chick embryo. **Poult. Sci.** 54:319-334. 1998.
- [28] STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE (SAS). User's Guide Statistics. Version 8,1. USA. 2001.
- [29] STEEL, R.; TORRIE, J. Comparaciones múltiples. Homogeneidad de la varianza. Estadística no paramétrica. Bioestadística: Principios y Procedimientos. 2da. Ed. Editorial McGraw-Hill. México, D.F. Pp 179-180, 460-461 y 522-528. 1988.
- [30] TAVILANI, H.; DOOSTI, M.; ABDI, K.; VAISIRAYGANI, A.; JOSHAGHANI. H.R. Decreased polyunsaturated and increased saturated fatty acid concentration in spermatozoa from asthenozoospermic males as compared with normozoospermic males. **Androl.** 38:173–8. 2006.

CAPÍTULO 3. EFECTO DE LA PROPORCIÓN DE ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES EN LA DIETA SOBRE EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO Y REPRODUCTIVO DE CODORNIZ JAPONESA (*Coturnix coturnix japonica*)

Effect of essential fatty acid proportion in feed on productive and reproductive performance of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*)

De acuerdo con la reglamentación del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, el capítulo 3 se integra por el artículo enviado, aceptado o publicado en revistas científicas incluidas en el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) o en *Journal of Citation Reports*®. Al igual que el capítulo 2 el escrito que integra este apartado pretende contribuir parcialmente al objetivo general del documento de tesis; el artículo fue enviado a la revista Brazilian Journal of Poultry Science y tiene como objetivo dar respuesta a los retos que actualmente plantea la alta demanda de productos avícolas y su fortaleza las reproductoras como pilar de la misma, y la gran importancia que tiene la nutrición en estas.

Artículo 2.

Título: Effect of the dietary proportion of essential fatty acids on the productive and reproductive performance of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*)

Autores: Castro Tamayo Carlos Bell, Ríos Rincón Francisco Gerardo, Castillo López Ramón Ignacio, Contreras Pérez Germán, Molina Barrios Ramón Miguel, Heredia José Basilio, Muy Rangel María Dolores y Portillo Loera Jesús José.

Revista: Brazilian Journal of Poultry Science

Índice de impacto (JCR): 0.465

Effect of essential fatty acid proportion in feed on productive and reproductive performance of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*)

Castro TCB^{1,I} ID <https://orcid.org/0000-0002-5639-3371>
Ríos RFG^I ID <https://orcid.org/0000-0001-6674-4318>
Castillo LRI^{II} ID <https://orcid.org/0000-0003-1494-7863>
Contreras PG^I
Molina BRM^{IV} ID <http://orcid.org/0000-0002-3285-5738>
Heredia JB^{III}
Muy-Rangel MD^{III} ID <https://orcid.org/0000-0002-6971-535X>
Portillo LJJ^I ID <https://orcid.org/0000-0002-5990-7841>

¹ Postgraduate Student: Doctorate in Agricultural Sciences,

^I Unidad Avícola. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Sinaloa. Blvd. San Ángel 3886, Fracc. San Benito, Predio las Coloradas, Culiacán, Sinaloa, México. CP 80246.

^{II} Departamento de Biotecnología. Facultad de Ciencias Químico Biológicas. Universidad Autónoma de Sinaloa. Blvd. de las Américas y Josefa Ortiz de Domínguez S/N. Ciudad Universitaria, Culiacán, Sinaloa, México. CP. 80013.

^{III} Laboratorio de Alimentos Funcionales y Antioxidantes. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, AC. Carretera a Eldorado Km 5.5, Col Campo el Diez. Culiacán, Sinaloa, México. CP 80110.

^{IV} Departamento de Ciencias Agronomicas y Veterinarias. Instituto Tecnológico de Sonora, Antonio Caso 2266, Villa ITSON, Cd. Obregón, Sonora, México. CP. 85130.

Corresponding author: Jesús José Portillo Loera*

Phone: +52 (667) 718-1650

Fax: +52 (667)718-1650

E-mail: portillo6422@uas.edu.mx

3.1. ABSTRACT

This investigation was carried out to determine the effect of Essential Fatty Acids proportion (EFAs [n-6, n-3]) in feed through the mixture of soy, olive, canola or chia oil on EFA profile in eggs as well as productive and reproductive performance of Japanese quail. We used 120 quail from 7 to 22 weeks of age, in 15 cages in groups of 6 females and 2 males assigned according to the completely randomized design to 3 treatments with 5 replicas. The treatments were n-6:n-3 proportions 10:1 (control), 4:1 and 1:1. FA profile in yolk, feed intake, laying rate, egg weight, fertility, hatchability, and embryonic mortality were measured. In the egg yolk, n-6 content was similar between proportions ($p>0.05$), while n-3 content increased ($p<0.01$) as n-6:n-3 ratio decreased in the feed. Feed consumption per quail was similar between treatments ($p>0.05$). In 4:1 and 1:1 proportion laying percentage was greater, but egg weight was lower ($p<0.01$). Fertility and hatchability were similar between proportions n-6, n-3 ($p>0.68$). Early and total embryonic mortality was lower in 10:1 and 4:1 proportion ($p<0.01$); while intermediate and late mortality was similar ($p>0.30$). The results of the experiment indicate that the mixture of soy, olive, canola or chia oil, to obtain n-6:n-3 proportion of 1:1 to 10:1 does not modify feed consumption, laying rate, egg weight, fertility, and hatchability; but, 4:1 to 10:1 proportions favor a lower embryonic mortality.

Key words: Omega-3, n-6:n-3 ratio, linolenic acid, fertility, hatchability, embryonic mortality, quails.

3.2. INTRODUCTION

During the incubation process in birds, egg yolk lipids are the energy reserves and provide the embryo the essential fatty acids (Cherian, 2015), necessary for the formation of cell membranes (Cherian *et al.*, 1997). The polyunsaturated fatty acids (PUFA) linoleic acid (AL 18: 2n-6) and α -linolenic acid (ALA; 18: 3n-3) are obtained by birds in feed. However, the ability to incorporate n-3 to the yolk can vary according to the source of PUFA and bird type: chicken, quail, turkey or geese (Nadia *et al.*, 2012). Chickens have the liver enzymes delta-6-desaturase and delta-5-desaturase that allows them to

synthesize from linolenic acid (n-3), eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid (DHA) (Barce ó-Coblijn & Murphy, 2009), and from linoleic acid (n-6) arachidonic acid (AA) (Spector, 2000); however, n-6 and n-3 compete for liver enzymes in the biochemical pathways of desaturation and elongation (Jing *et al.*, 2013). AA and DHA are important during the post-hatching period due to rapid cell proliferation and intense tissue accumulation of these during this time (Cherian and Sim, 1992), as well as favoring the maturation of lymphoid organs (Cherian *et al.*, 1997), therefore their function is likely important during incubation (Cherian & Sim, 1992).

The Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) is native to Europe, North Africa and Asia, (Neumann, 2001); it is of rapid growth, precocity, resistance to diseases and high productivity (Lucotte, 1980). Quail meat production is concentrated in Spain, France, and the United States, and egg production in China, Japan and Brazil (Minvielle, 2004). Studies have been conducted in quails to enrich the egg with n-3 by including up to 4% fish oil or flaxseed in feed (Al-Daraji *et al.*, 2010, Güçlü, 2008). However, the results of supplementation with sources containing n-3 showed no effect on fertility and hatchability of light reproductive hens (Nadia *et al.*, 2012) or quails (Manohar, 2017); and even decreased in heavy reproductive hens (Herstad *et al.*, 2000). There was increased fertility in turkey (Shamma *et al.*, 2016) and quails hens (Manohar, 2017), as well as an increase in hatchability in quails (Al-Daraji *et al.*, 2010; Manohar, 2017). Al-Daraji *et al.* (2010) observed that quail fertility and hatchability was improved by including 3% fish or flaxseed oil compared to sunflower oil. It is possible to attribute this effect to the narrowest n-6:n-3 proportion in fish and flaxseed oil than in sunflower oil. However, in studies conducted, the effect of the source of EFA was determined regardless of the n-6:n-3 proportion; therefore, the objective of this study was to determine the effect of n-6:n-3 proportion in feed on EFA profile of the egg as well as productive and reproductive performance of Japanese quail.

3.3. MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out in the Poultry Unit of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics of the Autonomous University of Sinaloa, in Culiacán Sinaloa, Mexico (24 46 '13' LN and 107 21' 14 " LO). The climate of the zone is BS (h ') w (w) (e), semi-

dry very hot, with rains in summer, Köppen classification; with an annual average temperature of 25.9°C; average relative humidity of 68%, maximum of 81% and minimum 51%; average annual precipitation of 688.5 mm.

It was conducted according to the technical specifications for the production, care and use of laboratory animals of the Mexican official standard (NOM-062-ZOO-1999); and the specifications of the Institutional Committee for the Care and Use of Poultry Animals of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics of the National Autonomous University of Mexico. The experimental period comprised four periods of 21 days for productive response and nine periods of 24 days for reproductive response. Before initiating data collection, the quails were adapted to cage management for seven days. 120 quails (90 females and 30 males) were utilized. Egg collection was performed twice a day (08:00 a.m. and 18:00 p.m.). The temperature and relative humidity (RH) in the coop was $25.2 \pm 3.7^{\circ}\text{C}$ and $40.7 \pm 7.2\%$, respectively.

The experiment was established under a completely randomized design with three treatments corresponding to diets with n-6:n-3 proportions in feed: (control) 10:1, 4:1 and 1:1, with five replicas of 8 quails (6 females and 2 males) per treatment, and weeks as a cross-factor. The wire battery cages (60 x 50 x 20 cm) allowed 375 cm² per quail. The lighting period was 16 h per day and the feed and water were offered *ad libitum*.

To formulate the diets, fatty acid (FA) profile of soy, olive, canola or chia oil (Table 1); as well as proximal chemical composition (AOAC, 2000) of corn and soybean meal was determined. Metabolizable energy of corn and soybean meal was estimated with the equation: $\text{MS (kcal/kg)} = 3.75 \times \text{crude protein} + 8.09 \times \text{ether extract} - 6.95 \times \text{crude fiber} + 3.94 \times \text{nitrogen-free extract}$ (Moir *et al.*, 1980).

The diets (Table 2) were formulated according to the nutritional requirements for breeder Japanese quail (NRC 1994), and composition of EFA profile of every oil was considered. A flour based feed was prepared every week and stored in plastic boxes at 20 to 22°C, subsamples were taken from each batch of feed to determine FA (Table 3) and Proximate chemical analysis. Peroxide index in feed (NMX-F-154-1987) was measured in samples after 7 days of storage (Table 3).

Three weeks into the laying cycle, based on shape, size and color egg collection and selection was initiated. The eggs to be incubated were kept at $11.0 \pm 0.41^{\circ}\text{C}$ (Nieto

Refrigerator, Critotec CFX-8 Model, Guadalajara, Jalisco, Mexico). An automatic incubator (Huacuja, Model 1200, Guadalajara, Jalisco, Mexico) was used, for 334 hrs eggs were maintained at $37.44 \pm 0.22^{\circ}\text{C}$ and $74.04 \pm 2.08\%$ RH, then they were transferred to a hatchery, where the eggs spent 3 to 4 days at $37.5 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ and $90.2 \pm 0.41\%$ RH. Withdrawal of chicks began around 12 h after hatching began. The unhatched eggs were broken and observed with the naked eye to determine if they were fertile, as well as the stage of embryonic death; and classified as early, intermediate, late and total embryonic death according to the classification proposed by Dalton, (2000). At week 20 of the laying cycle, three eggs from every treatment were randomly collected for FA determination.

Fatty acid profile of feed yolk and oils was carried out at the Food Technology Laboratory in the Research Center for Food Development Food in Culiacan Sinaloa utilizing the methods developed by Folch *et al.* (1957) and AOAC standard 963.22 (1998) with modifications; subsequently they were dry evaporated in a rotary evaporator, after methylation the filtrate was recovered in a 2 mL vial, stored in a nitrogen atmosphere and placed in the freezer. Subsequently, 1 μL of the sample was injected into a gas chromatograph. The methyl esters dissolved in hexane were analyzed with a chromatograph (Varian CP-3800, USA), with flame ionization detector (FID) equipped with Omegawax 320 column of 30 m x 0.32 mm, 0.25 mm internal diameter (Supelco , USA). Helium was used as a carrier gas at a rate of 3 mL/min. The oven temperature was maintained at 140°C for 5 minutes, preset at a maximum temperature of 240°C with an increase of 4°C every 90 seconds. Both the temperature of the injector and the detector were set at 260°C . For the identification and quantification of fatty acids, the retention time of sample was compared with those of a standard mixture consisting of 37 methyl esters of fatty acids (Supelco, Bellefonte, USA).

FA results were expressed in percentage of fatty acid with respect to the percentage of fat contained in the sample. The peroxide value was expressed in meq O_2/kg . In productive response, after every period feed consumption, egg number and weight were recorded. For reproductive response after every collection eggs, fertility rate, hatchability of fertile eggs and early, intermediate, late and total mortality were recorded.

The statistical analysis of FA results in egg yolk, feed intake, laying percentage, egg weight, fertility and hatchability were performed under a model for a completely randomized experimental design. The comparison of means was made with the Tukey test. The proportions of embryonic mortality were analyzed with the Chi-square test. The maximum alpha level to accept statistical difference was 0.05.

3.4. RESULTS AND DISCUSSION

3.4.1. Fatty acids in the yolk

FA composition in egg yolk is shown in Table 4. According to FA group, monounsaturated FA were found to be in the highest percentage, close to 50%, due to its content of oleic and palmitoleic acids, followed by saturated FA that were present in about 30% and finally polyunsaturated FA 20%. Saturated FA were in greater percentage ($p < 0.01$) in the 4:1 n-6:n-3 proportion than in 10:1 and 1:1 proportions; where as myristic acid and stearic acid were detected in a similar reduced proportion between treatments; while erucic acid appeared in a greater percentage ($p < 0.03$) in the 1:1 proportion. Monounsaturated FA content was similar ($p > 0.05$); However, oleic and palmitoleic acids were in a greater percentage, nonetheless palmitoleic acid percentage was greater ($p < 0.02$) in the 4:1 proportion than in the 10:1 and 1:1 proportion. Polyunsaturated FA content was similar, although the 1:1 proportion had a higher content and was close to having a statistical difference ($p > 0.08$). Linoleic acid content had the greatest percentage and was similar between proportions ($p > 0.05$). Linolenic and docosadienoic acids were in greater percentage in the 1:1 ($p < 0.02$) proportion, which revealed a greater percentage of n-3 fatty acids ($p < 0.01$), in accordance to feed proportion and n-6:n-3 proportion also differed. Chen & Hsu (2003) supplemented 2 to 6% refined cod liver oil to duck hens and observed that yolk concentration of saturated fatty acids decreased and while polyunsaturated fatty acids eicosapentaenoic (EPA) and docosahexaenoic (DHA) increased, compared to animal fat controls. In this study the n-6:n-3 proportion in feed remained in the egg yolk. Based on the amount of n-6 and n-3 fatty acids reported by Neijat *et al.* (2016) in egg yolk and chicken feed after the inclusion of hemp seed or oil as a source of n-3 it can be deduced that n-6:n-3

proportions in diets is kept constant from 1.1 to 1.5 from feed to the egg yolk; this coincides with the results of Navas *et al.* (2001) in bass eggs (*Dicentrarchus labrax* L) where there was constant of 1.2 to 1.7 from feed to the egg yolk. In addition, arachidonic acid and eicosadienoic acid were detected in the yolk and were not detected in feed analysis; this is explained by the bird's ability to lengthen fatty acid chains (Spector, 2000; Coblijn & Murphy, 2009). It has been observed that lineages or strains can modify EFA profiles, (Mao *et al.*, 1998). Alessandri *et al.* (2012) reported that slow-growing egg-type lines of chickens or layers appear to have greater efficiency in the deposition of EPA and DHA with respect to meat-type chickens since elongation is affected in part by estrogen levels. Arantes da Silva *et al.* (2009) after the inclusion of 5% flax seed to quail diets reported that n-3 incorporation into the yolk was 20%. Mennicken *et al.* (2005) made a divergent selection in chickens for n-3: n-6 proportions and mention that n-3 increased 34.7% in the yolk with respect to feed content. These differences in the ability of these birds to incorporate n-3 to yolk fat can vary according to n-3 source and bird species (Nadia *et al.*, 2012), due to the competition between the enzymes involved in lengthening and desaturation of linoleic and linolenic acid. A 4:1 proportion or lower has been shown to be optimal for elongating 11 g of linolenic acid to 1 g of eicosapentaenoic acid (Nadia *et al.*, 2012), this relationship is important in foods that have a higher linoleic acid content and lower linolenic acid content, since it will reduce the conversion to EPA which is biologically more active than linoleic acid. Therefore, the optimal intake of linoleic in relation to linolenic is crucial for normal metabolism (Simopoulos, 2000), which may be related to FA source, linseed and chia contain more LAN and algae and fish oils are a source of EPA, DHA that are not present in land-based plant or animal sources.

3.4.2. Productive response

The results for productive response are presented in Table 5. Quail feed intake was similar between treatments ($p>0.05$). These results coincide with the observed by Morales-Barrera *et al.* (2013) who included 3% tuna oil (*Thunnus albacares*) as a source of n-3 in White Leghorn chicken diets, and with Baucells *et al.* (2000) who replaced fish oil with linseed oil or grape oil and tallow. Rodriguez-Micchel *et al.* (2018) observed that after fish oil inclusion feed consumption decreased. A decrease in feed consumption

when adding fish oil is related to a reduction in palatability (Hulan *et al.*, 1989), although this may not happen as indicated by the results of Baucells *et al.* (2000). The inclusion of essential fatty acids sources of plant origin such as oils or seeds, may not affect feed palatability; Regarding this Al-Daraji *et al.* (2010) included 3% sunflower, flax or corn oils in quail feed where n-6:n-3 proportion ranged from 0.08:1 to 251:1 and recorded a similar feed intake.

Quails fed 4:1 and 1:1 proportion had a higher laying rate than the 10:1 proportion ($p < 0.01$). The results obtained in other experiments are not consistent and do not give a definite response, since Baucells *et al.* (2000) reported that laying rate was similar after the inclusion of fish, flaxseed, and grape oils as well as tallow, where PUFA n-6:n-3 proportions ranged from 1 to 38 in chicken feed, on the other hand, Betancourt & Díaz (2009) reported that in broader proportions (7:1) laying rate was greater than in the narrowest proportion (2:1), 93.1% and 86%, respectively. In 4:1 and 1:1 proportion egg weight was lower ($p < 0.01$) with respect to the 10:1 proportion. These result are in agreement with those of Güclü *et al.* (2008) who added 4% sunflower, corn, fish, soy, sesame, olive, cotton or walnut oils to quail feed and obtained eggs with a greater weight (12 g) in the n6:n3 200:1 proportion, compared with the 53:1 and 7:1 proportions of sunflower, corn or soybean oil which weighed 11.5 and 11.3 g, respectively. The greater weight seen in the 10:1 ratio is explained by the lower laying rate (87%) since there is a genetic and phenotypic negative correlation between these two parameters; in this respect, Hagger (1994) estimated a negative genetic correlation in hens (-0.267).

3.4.3. Reproductive response

Results in reproductive response are shown in Table 6. In this study, fertility was similar between treatments ($p > 0.680$). In studies where different sources containing EFA are supplemented discrepancies on the effect on fertility are reported. Nadia *et al.* (2012) used 1.73% flaxseed oil in light reproductive hens, and Manohar (2017) included 4% fish oil in quails and did not find any difference. In turkeys Fertility increased by 5.39% when 2% fish oil was supplemented and by 3.43% when 2% flaxseed oil was added (Shamma *et al.*, 2016), fertility also increased by 12.75% after the inclusion of 2% fish oil in quail diets (Manohar, 2017), however Herstad *et al.* (2000) with diets that had 3% recycled

vegetable oil or no oil at all observed that in diets for heavy reproductive hens with n-6:n-3 proportions of 1.03:1 to 1.12:1 with 3% fish oil fertility rate decreased (76.3 to 83.7%) compared to 7.6:1 to 8.31:1 proportion (89.5 to 92.1%). The source, quantity and lipid type in the diet are important. Bleisbois *et al.* (1997) mentions changes in proportions of n-6:n-3 or phospholipid ratios affect sperm membrane structure and fluidity; this can alter fertility by modifying viability and ability of the sperm to interact with the reproductive tract of the female and thereby the union of the sperm with the ovum (Buongalhardo *et al.*, 2009).

Hatchability of fertile eggs was similar between treatments ($p>0.95$). Discrepancies were also found on the effect of EFA supplementation on hatchability in studies. Nadia *et al.* (2012) after inclusion of 1.73% flaxseed oil and n-6:n-3 proportions that varied from 2:1 to 10:1 in light reproductive hens; and Manohar (2017) in quails with 2% flaxseed, 4% fish and 2% and 4% linseed and fish oil combinations, did not observe differences in hatchability. Hatchability increased 3.2% and 6.17% when flaxseed or fish oil with n-6:n-3 proportions of 0.22:1 and 0.08:1 were supplemented in quails, compared to corn oil (42:1) (Al-Daraji *et al.*, 2010); Manohar (2017) supplementing quail diets with 2% fish oil and observed 5.4% greater hatchability compared to a zero oil control. On the other hand, Herstad *et al.* (2000) observed that in heavy reproductive hen diets with n-6:n-3 proportions of 1.03:1 to 1.12:1 from 3% fish oil, hatchability decreased. (73.2 to 77.5%) compared to with 7.55:1 to 8.31:1 proportion (88.5 to 92.4%) obtained from diets with 3% of recycled vegetable oil or zero oil.

The n-6:n-3 proportion 1:1 had higher early and total embryo mortality ($p<0.01$), while 10:1 and 4:1 proportions were similar ($p>0.05$). Al-Daraji *et al.* (2010) observed that in quails supplemented with 3% fish oil total embryonic mortality was 2.92% compared to 12.32% with 3% sunflower oil inclusion. After supplementation with fish oil n-6:n-3 proportion was narrow (0.08:1) with respect to that of sunflower oil (251:1). When EFA content is higher and more double bonds exist, greater oxidation is possible. In this study, the peroxide index in feed a week after being prepared (Table 3) was 4.79 mEqO₂/kg in the n-6:n-3 1:1 proportion while in the 10:1 proportion a 2.01 mEqO₂/kg ($p<0.01$) was recorded. Calder (2001) mentions that a greater proportion of n-3 consumption can diminish immune response due to a susceptibility to oxidation due to

its unsaturation. In this study, the highest mortality in the 1:1 proportion can be attributed to greater peroxidation of linolenic acid, in addition to the possibility of peroxidation of its products. Zanini *et al.* (2003) observed that when the n-6:n-3 proportion in their diet was narrow because it contained 32.3% linolenic acid, fertility in cockerels decreased, however, after vitamin E was administered, fertility increased.

3.5. DISCUSSION

The results of the experiment indicate that the mixture of soy, olive, canola or chia oil, to obtain n-6:n-3 proportions of 1:1 to 10:1 does not modify feed consumption, laying rate, egg weight, fertility or hatchability; but, 4:1 to 10:1 proportion favor a diminished embryonic mortality.

Favoring breeder bird feeds that have n-6 and n-3 proportions close to 1:1 is relative; as shown by the results of this experiment which concludes that reproduction did not improve, therefore it is recommended that n-6 and n-3 content be taken into account and estimate feed consumption in milligrams or daily ingested feed percentage, more than proportion contained in diet.

3.6. ACKNOWLEDGEMENTS

We gratefully acknowledge to Laboratory of Antioxidants and Functional Foods. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, AC, for allowing use of Chromatography equipment for the fatty acid profile. Authors would also like to thank CONACYT-México for the scholarship granted.

3.7. REFERENCES

- Al-Daraji HJ, Al-Mashadani HA, Al-Hayani WK, Al-Hassani AS, Mirza HA, Al-Hassani, AS. Effect of dietary supplementation with different oils on productive and reproductive performance of quail. *Internacional Journal of Poultry Science* 2010; 9:429-435.
- Alessandri JM, Extier A, Al-Gubory KH, Harbeby E, Lallemand M, Linard A, Laviaille M, Guesnet P. Influence of gender on DHA synthesis: The response of rat liver to

- low dietary α -linolenic acid evidences higher ω 3 Δ 4-desaturation index in females. *European Journal of Nutrition* 2012; 51(2):199-209.
- AOAC. Official Methods of Analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, AOAC International, Washington (DC); 1998.
- AOAC. Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, AOAC International, Washington (DC); 2000.
- Arantes da Silva W, Naiverti Elias AH, Aricetti JA, Sakamoto MI, Murakami AE, Marques Gomes ST, Visentainer JV, Evelázio de Souza N, Matsushita M. Quail egg yolk (*Coturnix coturnix japonica*) enriched with omega-3 fatty acids. *Food Science and Technology* 2009; 42(2):660-663.
- Barceló-Coblijn G, Murphy EJ. Alpha-linolenic acid and its conversion to longer chain n-3 fatty acids: benefits for human health and a role in maintaining tissue n-3 fatty acid levels. *Progress Lipid Research* 2009; 48(6):355-74.
- Baucells MD, Crespo N, Barroeta AC, Lopez-Ferrer S, Grashorn MA. Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poultry Science* 2000; 79(1):51-59.
- Betancourt L, Díaz G. Enriquecimiento de huevos con ácidos grasos omega-3 mediante la suplementación con semilla de Lino (*Linum usitatissimum*) en la dieta. *Revista MVZ Córdoba* 2009; 14(1):1602-1610.
- Blesbois E, Lessire M, Grasseau I, Hallouis JM, Hermier D. Effect of dietary fat on the fatty acid composition and fertilizing ability of fowl semen. *Biology Reproduction* 1997; 56:1216-1220.
- Bongalhardo DC, Leeson S, Buhr MM. Dietary lipids differentially affect membranes from different areas of rooster sperm. *Poultry Science* 2009; 88:1060-1069.
- Calder PC. Dietary modification of inflammation with lipids. *Proceedings of the Nutrition Society* 2002; 61:345-358.
- Chen TF, Hsu JC. Incorporation of n-3 Long-chain polyunsaturated fatty acids into duck egg yolks. *Asian-Australasian Journal Animal Science* 2003; 16:565-9.
- Cherian G, Gopalakrishnan N, Akiba Y, Sim JS. Effect of maternal dietary n-3 fatty acids on the accretion of long-chain polyunsaturated fatty acids in the tissues of developing chick embryo. *Biology of the Neonate* 1997; 72(3):165-174.

- Cherian G, Sim JS. Preferential accumulation of n-3 fatty acids in the brain of chicks from eggs enriched with n-3 fatty acids. *Poultry Science* 1992; 71:1658-1668.
- Cherian G. Nutrition and metabolism in poultry: role of lipids in early diet. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 2015; 6(1):28-33.
- Dalton MN. Effects of dietary fats on reproductive performance, egg quality, fatty acid composition of tissue and yolk and prostaglandin levels of embryonic tissues in Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) [master's thesis]. Blacksburg (USA): Virginia Polytechnic Institute; 2000.
- Folch J, Lees M, Sloane-Stanley GH. A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry* 1957; 226(1):497-509.
- Güçlü BK, Uyanık F, İşcan KM. Effects of dietary oil sources on egg quality, fatty acid composition of eggs and blood lipids in laying quail. *South African Journal of Animal Science* 2008; 38(2):91-100.
- Hagger C. Genetic correlations between body weight of cocks and production traits in laying hens, and their possible use in breeding schemes. *Poultry Science* 1994; 73:381-387.
- Herstad O, Overland M, Haug A, Skrede A, Thomassen MS, Egaas E. Reproductive performance of broiler breeder hens fed n-3 fatty acid-rich fish oil. *Acta Agricultura e Scandinavica, Animal Science* 2000; 50(2):121-128.
- Hulan HW, Ackman RG, Ratnayake WMN, Proudfoot FG. Omega-3 fatty acid levels and general performance of commercial broilers fed practical levels of redfish meal. *Poultry Science* 1989; 68:153-162.
- Jing M, Gakhar N, Gibson RA, House JD. Dietary and ontogenic regulation of fatty acid desaturase and elongase expression in broiler chickens. *Prostaglandins Leukotrienes & Essential Fatty Acids*. 2013; 89(2-3):107-113.
- Lucotte, G. *La Codorniz: Cría y Explotación*. 2da ed. Madrid España: Mundi-Prensa; 1990.
- Manohar GR. Effect of dietary omega-3 fatty acid rich oil sources on fertility and hatchability performance of japanese quail eggs. *International Journal of Science, Environment and Technology* 2017; 6(1):923-926.

- Mao JNC, Burnside J, Postel-Vinay MC, Pesek JD, Chambers JR, Cogburn LA. Ontogeny of growth hormone receptor gene expression in tissue of growth-selected strains of broiler chickens. *Journal of Endocrinology* 1998; 156:67-75.
- Mennicken L, Ponsuksilli S, Tholen E, Khang NTK, Steier K, Petersen J, Schellander K, Wimmers K. Divergent selection for omega 3: omega 6 polyunsaturated fatty acid ratio in quail eggs. *Archiv Tierzucht* 2005; 48:527-34.
- Mexican, NO. NMX-F-154-1987. Foods. Vegetable or animal oils and fats. Determination of peroxide index Normas Mexicanas. Dirección General de Normas, México. 1987.
- Mexican, NO. NOM-062-ZOO-1999. Technical specifications for the production, care and use of laboratory animals: Diario Oficial de la Federación, México DF, México; 2001.
- Minvielle F. The future of Japanese quail for research and production. *World's Poultry Science Journal* 2004; 60:500-507.
- Moir KW, Yule WJ, Connor JK. Energy losses in the excreta of poultry: a model for predicting dietary metabolizable energy. *Animal Production Science* 1980; 20(103):151-155.
- Morales-Barrera J; González-Alcorta M; Castillo-Domínguez R; Prado-Rebolledo O; Vázquez J; Hernández-Velasco X. Téllez G; Menconi A; Marshal H. B; Silvia Carrillo-Domínguez S. Effect of time and fatty acid composition in eggs of White Leghorn hens supplemented with tuna oil. *Food and Nutrition Sciences* 2013; 4:39-44.
- Nadia L, Radwan MH, Abd El-Samad y Sherin AN. Effects of different dietary ratios of linoleic acid to α -linolenic acid on productive performance, immunity of laying hens and egg yolk fatty acid composition. *Egyptian Poultry Science Journal* 2012; 32(I):163-188.
- Navas JM., Mark AT, Silvia Z, Jesus AR, Niall B, Manuel C. Total lipid in the broodstock diet did not affect fatty acid composition and quality of eggs of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L). *Scientia Marina* 2001; 65(1):11-19.

- Neijat M, M. Suh J, Neufeld J, House D. Hempseed products fed to hens effectively increased n-3 polyunsaturated fatty acids in total lipids, triacylglycerol and phospholipid of egg yolk. *Lipids* 2016; 51:601-614.
- Neumann KF. Codornices. Grupo editorial Iberoamericana. 2001.
- NRC - National Research Council. Nutrient requirements of poultry. 9th ed. Washington: National Academy of Sciences; 1994.
- Rodríguez-Michel A; E. Morales-Barrera; L. García-Márquez; T. Quezada-Tristán, S. Carrillo-Domínguez; O. Prado-Rebolledo. Harina de atún negra en dietas de gallina para incrementar los ácidos eicosapentanoico y docosahexaenoico. *Abanico Veterinario* 2018; 8(3):75-85.
- Shamma TA, Samia ZM, Samya E, Ibrahim y El-Aik MA. Effect of omega-3 sources and vitamin supplementation in the turkey toms diet on semen characteristics and fertilizing ability. *Journal Animal and Poultry Production Mansoura University* 2016; 7(3):101-111.
- Simopoulos AP. Requirement for n3 polyunsaturated fatty acids. *Poultry Science* 2000; 79:961-970.
- Spector AA. Plasma free fatty acid and lipoproteins as sources of polyunsaturated fatty acid for the brain. *Journal of Molecular Neuroscience* 2000; 16:159-165.
- Zanini SF, Torres CAA, Bragagnolo N, Turatti JM, Silva MG, Zanini MS. Evaluation of the ratio of omega6:omega3 fatty acids and vitamin E levels in the diet on the reproductive performance of cockerels. *Archives of Animal Nutrition* 2003; 57:429-442.

Table 1 - Fatty acids profile of oils included in the diet.

Oil	Fatty acid (%) ¹		
	Linolenic	Linoleic	Oleic
Soy	5.63±0.71	50.91±0.10	31.67±0.99
Olive	0.71±0.01	5.01±0.03	82.55±0.04
Canola	13.62±3.88	17.79±1.90	46.19±2.10
Chia	57.23±1.73	19.88±0.37	15.23±1.72

¹ Mean ± standard deviation. (n= 3)

Table 2 - Composition and nutritional contribution of experimental diets.

Ingredient (g/100 g)	Proportion n-6:n-3		
	10:1 ²	4:1	1:1
Corn	50.05	50.10	50.70
Soybean 46%	35.90	36.10	35.70
Soybean oil	3.45	2.65	0
Olive oil	1.32	0	0
Canola oil	0	1.20	0.90
Chia oil	0	0.65	3.50
Salt	0.25	0.25	0.25
L-lysine 78%	0.43	0.50	0.45
L-threonine 98%	0.35	0.35	0.35
DL-methionine 98%	0.50	0.50	0.50
Limestone	5.80	5.70	5.70
Dicalcium phosphate	1.15	1.20	1.10
Vitamins and mineral premix ^{1, 3}	0.25	0.25	0.25
Pigment ⁴	0.10	0.10	0.10
Probiotic yeast (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	0.20	0.20	0.20
Adsorbent ⁵	0.10	0.10	0.10
Phytase ⁶	0.20	0.20	0.20
Calculated composition			
Crude Protein (%)	20.28	20.03	20.00
Metabolizable energy (kcal/kg)	3202	3149	3088
Lysine (%)	0.66	0.73	0.68
Methionine (%)	0.75	0.75	0.75
Cysteine (%)	0.33	0.33	0.33
Threonine (%)	1.11	1.11	1.11
Tryptophan (%)	0.30	0.30	0.29
Calcium (%)	2.53	2.51	2.52
Non-phytate phosphorous (%)	0.35	0.40	0.38
Crude fiber (%)	3.61	3.63	3.61
Ether extract (%)	6.96	6.63	6.61
Linoleic acid (%)	3.24	3.06	2.11
Dry matter (%)	89.85	90.15	90.19
Analyzed composition			
Crude Protein (%)	21.75	21.08	21.04
Ether extract (%)	6.31	5.87	4.40
Ash (%)	9.77	9.21	10.25
Moisture (%)	10.02	8.40	8.61
Crude fiber (%)	1.99	2.25	1.52

¹ Composition of vitamin premix per kg: 12,500 IU (retinol); 4,480 IU (cholecalciferol); 30 IU (tocopherol acetate); 3 mg Menadione sodium bisulfide; 1.5 mg thiamin; 6 mg riboflavin; 3 mg pyridoxine; 15 mg cyanocobalamin; 1.5 mg folic acid; 55 mg niacin; 15 mg Ca pantothenate; 180 µg biotin; 600 mg choline; 120 mg Banox (BHA + BHT).

² Control treatment.

³ Composition of mineral premix per kg: 75 mg Mn; 75 mg Zn; 75 mg Fe; 900 mg Mo; 750 µg Co; 105 mg Se.

⁴ Florafil HP, Industrias Vepinsa, S.A. de C.V.

⁵ Aluminosilicate, Zeolex.

⁶ Natuphos* 5000 GP Fitasa, Basf Mexicana, S.A. de C.V.

Table 3 - EFA composition and contribution of n-6:n-3 as well as index peroxide of quail diet.

Fatty acids (%) ¹	Nomenclature	Proportion n-6:n-3			SEM ³	p-value
		10:1 ²	4:1	1:1		
Palmitic	C16:0	12.97 ^a	11.73 ^{ab}	10.76 ^b	0.33	0.0095
Oleic	C18:1, cis-n-9	35.65 ^a	30.55 ^b	23.52 ^c	0.83	0.0001
Linoleic	C18:2, cis-9,12n-6	46.05 ^a	46.18 ^a	34.59 ^b	0.42	0.0001
Linolenic	C18:3, cis-9,12,15n-3	4.78 ^c	10.93 ^b	30.57 ^a	0.19	0.0001
Arachidic	C20:0	0.543	0.613	0.560	0.04	0.4905
Saturated fatty acids (SFA)		12.97 ^a	11.73 ^{ab}	10.75 ^b	0.33	0.0095
Monounsaturated fatty acids (MFA)		35.65 ^a	30.54 ^b	23.52 ^c	0.83	0.0001
Polyunsaturated fatty acids (PFA)		51.37 ^c	57.72 ^b	65.72 ^a	0.56	0.0001
SFA/PFA		0.252 ^a	0.203 ^b	0.163 ^c	0.004	0.0001
n-6		46.17 ^a	46.07 ^a	34.59 ^b	0.40	0.0001
n-3		4.78 ^c	10.93 ^b	30.57 ^a	0.19	0.0001
n-6:n-3		9.79 ^a	4.28 ^b	1.14 ^c	0.26	0.0001
Peroxide index, mEqO ₂ /kg		2.01 ^b	1.06 ^c	4.79 ^a	0.51	0.0001

a,b,c Different letters in column indicate statistical difference ($p < 0.05$).

¹ As of total lipids (%).

² Control treatment.

³ Standard error of the mean (n= 3).

Table 4 - Fatty acid profile and n-6:n-3 proportions in quail egg yolk.

Fatty acids (%) ¹	Nomenclature	Proportion n-6:n-3			SEM ³	p-value
		10:1 ²	4:1	1:1		
Myristic	C14:0	0.34	0.46	0.33	0.046	0.160
Myristoleic	C14:1	0.03 ^b	0.09 ^a	0.05 ^b	0.005	0.0008
Palmitoleic	C16:1, cis-9	27.32 ^b	31.25 ^a	27.93 ^b	0.717	0.017
Stearic	C18:0	0.26	0.20	0.21	0.024	0.248
Oleic	C18:1, cis-n-9	49.02	49.55	47.56	0.965	0.382
Linoleic	C18:2, cis-9,12n-6	15.85	13.46	12.78	1.079	0.189
Gamma-Linoleic	C18:3n-6	ND	ND	0.08	-----	-----
Linolenic	C18:3, cis-9,12,15n-3	0.43 ^b	0.97 ^b	3.14 ^a	0.381	0.005
Eicosadienoic	C20:2, cis-11, 4n-9	0.77	2.14	2.01	0.429	0.119
Arachidonic	C20:4n-9	0.12	ND	0.14	-----	0.498
Behenic	C22:0	3.01	ND	ND	-----	-----
Timnodonic or Eicosapentaenoic	C20:5, cis-5,8n-3	ND	ND	0.56	-----	-----
Erucic	C21:0	0.29 ^b	0.29 ^b	0.62 ^a	0.070	0.026
Docosadienoic	C22:2, cis-13,16n-6	2.57 ^{ab}	1.61 ^b	4.61 ^a	0.533	0.019
Saturated fatty acids (SFA)		27.92 ^b	31.90 ^a	28.47 ^b	0.743	0.018
Monounsaturated fatty acids (MFA)		50.22	52.06	50.37	1.247	0.546
Polyunsaturated fatty acids (PFA)		18.84	16.04	21.16	1.275	0.077
SFA/PFA		1.52	2.02	1.35	0.161	0.058
n-6		18.42	15.07	17.39	1.240	0.228
n-3		0.43 ^c	0.97 ^b	3.70 ^a	0.380	0.002
n-6:n-3		43.86 ^a	16.96 ^b	4.89 ^c	2.451	0.0001

a,b,c Different letters in column indicate statistical difference ($p < 0.05$).

¹ As % of total lipid.

² Control treatment.

³ Values are expressed as means \pm pooled standard error (n= 3).

ND= Not determined.

Table 5 - Effect n-6:n-3 proportion on productive performance of quail.

Proportion	FI (g d ⁻¹)	LR (%)	HEW (g)
10:1 ¹	32.94	87.90 ^b	14.15 ^a
4:1	30.78	90.96 ^a	13.63 ^b
1:1	30.59	91.28 ^a	13.63 ^b
EEM ²	3.42	0.71	0.06
<i>p</i> -value	0.33	0.01	0.01

a,b,c Different letters in column indicate statistical difference ($p < 0.05$).

FI= Feed intake, LR= Laying rate, HEW= Hatchability egg weight.

¹ Control treatment.

² Standard error of the mean (n= 9).

Table 6 - Effect of n-6:n-3 proportion of in diets in hatchability, fertility and embryo diagnosis an non eclosionated quail egg.

Variables ¹									
Proportion	TE	FE	CB	F (%)	HFE (%)	EM (%)	IM (%)	LM (%)	TM (%)
10:1 ²	1191	1154	943	95.13	83.56	6.72 (79) ^b	2.47 (29)	6.63 (78)	15.82 (186) ^b
4:1	1265	1210	999	94.50	83.87	6.65 (83) ^b	2.80 (35)	6.16 (77)	15.28 (195) ^b
1:1	1293	1235	920	94.24	84.18	12.70 (162) ^a	2.98 (38)	7.68 (98)	23.35 (298) ^a
SEM ³				0.74	1.44				
	<i>p</i> -value Fisher					<i>p</i> -value of Chi square			
				0.680	0.950	0.0001	0.740	0.300	0.0001

a,b,c Different letters in column indicate statistical difference ($p < 0.05$).

¹ Transferred eggs, (TE), Fertile eggs, (FE), Chickens born, (CB), Fertility (F), Hatchability fertile egg %, (HFE), Early mortality %, (EM), Intermediate mortality %, (IM), Late mortality %, (LM), Total mortality %, (TM).

² Control treatment.

³ Values are expressed as means \pm pooled standard error (n= 9).

CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN GENERAL

Hipócrates de Cos, Médico de la antigua Grecia y conocido como el padre de la medicina que vivió en el siglo V a. de C., una época que elevó la dignidad de las ciencias, las artes y las letras, pronunció las siguientes sentencias magistrales: “*Soy lo que como*” y “*Que el alimento sea tu medicina y que la medicina sea tu alimento*”. Y no con esto decir que puedes curar una enfermedad comiendo una fruta o vegetal, en realidad, lo que a través de esta frase quería explicar era que el mejor modo de prevenir las enfermedades y las dolencias del organismo consistía en mantener constancia en una alimentación equilibrada y saludable. En los últimos años, ha aumentado considerablemente el interés de los responsables de la salud pública y consumidores por conocer la relación entre dieta y salud. Se ha demostrado que muchos alimentos tradicionales como frutas, verduras, pescado y leche contienen componentes que resultan beneficiosos para el organismo. Como consecuencia de este conocimiento, surgen los alimentos ‘funcionales’ que pueden compensar los desequilibrios alimentarios y garantizan el consumo de nutrientes recomendados por los especialistas en nutrición. Son alimentos funcionales aquellos que, con independencia de aportar nutrientes, han demostrado científicamente que afectan benéficamente a una o varias funciones del organismo, y proporcionan un mejor estado de salud, bienestar y además, previenen y reducen los factores de riesgo que provocan la aparición de enfermedades. En relación con los lípidos, su estudio fue posible con el desarrollo tecnológico de la cromatografía de gases en 1952 por James y Martin, que permitió determinar el perfil de ácidos grasos de un producto.

Dentro de los ácidos grasos, y en particular los ácidos grasos poliinsaturados, la investigación científica determinó su importancia de la alimentación relacionada con la salud, en específico el omega-3 (n-3). Desde hace años, la comunidad científica internacional ha destacado los beneficios para la salud derivados del consumo de alimentos con alto contenido de n-3, especialmente los ácidos grasos de cadena larga EPA y DHA, que se encuentran principalmente en el pescado azul y semillas como linaza, chía y en algunos alimentos enriquecidos como la leche o huevo. El EPA y DHA son esenciales para prevenir enfermedades cardiovasculares, diversos tipos de cáncer,

enfermedades inflamatorias, pulmonares y de la piel. Además, son imprescindibles durante el embarazo y la lactancia, para un correcto desarrollo de la función nerviosa y en general, de otras funciones orgánicas.

La gallina tiene la particularidad que le permite incorporar a la yema de sus huevos el tipo de grasa que consume en su alimento, además a través de su sistema enzimático elongar al ácido linolénico a EPA y DHA. Resultado del este conocimiento se implementaron programas de alimentación que incluyeran este tipo de AG en las dietas de la población, para enriquecer la carne, leche y huevo.

En esta tesis se plantea, si estos beneficios pueden ser extrapolados hacia las aves reproductoras, vía la composición de AG en los gametos y a través de éstos, el impacto que pueden tener en la fecundación y crecimiento de los embriones durante el proceso incubación. Con base en lo anterior se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué impacto tiene en el aspecto productivo y reproductivo la proporción n-6:n-3 en el alimento al utilizar distintas fuentes de AGE?

Para contribuir a dar respuesta a la pregunta de investigación, se realizaron dos experimentos. En el primero se puso a prueba el efecto de suministrar AGE contenidos en las semillas de chía y linaza. En el segundo incluir la mezcla de aceites de soya, oliva, canola o chía como fuentes de n-6, n-3 y sus proporciones en la dieta.

Producto del razonamiento científico, al contrastar los conocimientos previos y los resultados obtenidos, se deduce que es importante considerar el efecto de la temperatura y luz en la estabilidad de los AGE, que a la recomendación de la proporción n-6:n-3; además, debe anexarse la estimación del consumo en miligramos o porcentaje de acuerdo al consumo de alimento de las aves, y suplementar la dieta con fuentes de antioxidantes.

En el futuro es importante determinar si la recomendación de n-6 al uno por ciento acompañada de un aporte de n-3 de 0.4 a 0.5% en la dieta, se maximiza el desempeño productivo, reproductivo y de salud de las aves domésticas.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados del presente estudio se puede concluir que el efecto las proporciones estrechas n-6:n-3 de ácidos grasos poliinsaturados en la alimentación de codornices, en el primer estudio al añadir la mezcla de semillas de chía y linaza, los resultados permitieron concluir que su inclusión como fuente de consumo de AGP durante 63 d en codorniz japonesa reproductora, incrementa la incubabilidad, fertilidad y reduce la mortalidad embrionaria, asociado a mayor proporción de los AGE n-3 y una relación n-6:n-3 más estrecha en la yema de los huevos para incubar.

Los resultados del segundo estudio indican que la mezcla de aceite de soya, oliva, canola o chía, para obtener la proporción n-6:n-3 de 1:1 hasta 10:1 no modifica el consumo de alimento, tasa de postura, peso del huevo, fertilidad e incubabilidad; pero, la proporción 4:1 a 10:1 favorece una menor mortalidad embrionaria.

CAPÍTULO 6. LITERATURA CITADA

- Ajuyah, O. Cherian, G. Wang, Y. Sunwoo, H. Sim, J. S. 2003. Maternal dietary fatty acids modulate the long-chain n-3 PUFA status of chick cardiac tissue. *Lipids*. 38:1257-1261.
- Al-Daraji, H. J. Al-Mashadani, H. A. Al-Hayani, W. K. Al-Hassani, A. S. and Mirza, H. A. 2010. Effect of n-3 and fatty acids supplemented diets on semen quality in japanes quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Internacional Journal of Poultry Science* 9(7): 656-663.
- Albarado, D. I. 2011. Caracterización de la semilla de chan (*Salvia hispanica* L) diseño de un producto que la contiene revista de la Universidad del Valle de Guatemala, 23:43-49.
- Ayerza, R. and Coates, W. 2001. Omega-3 enriched eggs: The influence of dietary a-linolenic fatty acid source on egg production and composition. *Canadian Journal of Animal Science* 81:355-362.
- Ayerza, R. and Coates, W. 2005. Chia: Rediscovering a forgotten crop of the aztecs. The University Arizona press.
- Ayerza, R. and Coates, W. 2009. Influence of environment on growing period and yield, protein, oil and alfa-linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L) selections. *Industrial Crops and Products*. 30:321-324.
- Balevi, T. Coskun, B. 2000. Effects of some dietary oils on performance and fatty acid composition of eggs in layers. *Revista de Medicina Veterinaria*. 151:847-854.
- Balinsky, B. I. 1983. Introducción a la Embriología. Ed. Omega. Barcelona.
- Baucells, M. Crespo, N. Barroeta, A. C. Lopez-Ferrer, S. Grashorn, M. A. 2000. Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poultry Science*. 79:51-59.
- Bearer, E. L. Friend, D. S. 1982. Modifications of anionic-lipid domains preceding membrane fusion in guinea pig sperm. *Journal of Cell Biology*. 92:604-615.
- Blondeau, N., Pétrault, O. Manta, S. 2007. Polyunsaturated fatty acids are cerebral vasodilators via the TREK-1 potassium channel. *Circulation Research*. 101:176-184.

- Brake, J. 1990. Effect of four levels of added fat on broiler breeder performance. *Poultry Science*. 69:1659-1663.
- Bushway, A. Belyea, P. R. Bushway, R. J. 1981. Chia seed as a source of oil, polysaccharide, and protein. *Journal of Food Science*. 46:1349-1356.
- Carrero, J. Martín-Bautista, J. E. Baró, L. Fonollá, J. Jimenez, J. Boza, J. J. Lopez-Huertas, E. 2005. Efectos cardiovasculares de los ácidos omega-3 y alternativas para incrementar su ingesta. *Nutrición Hospitalaria*. XX(1):63-69.
- Caston, L. Squires, E. J. Leeson, S. 1994. Hen performance, egg quality, and the sensory evaluation of eggs from SCWL hens fed dietary flax. *Canadian Journal of Animal Science*. Sci. 74:347-353.
- Cerolini, S. Kelso, K. A. Noble, R. C. Speake, B. K. Pizzi, F. and. Gavachini, L. G. 1997. Relationship between spermatozoa lipid composition and fertility during aging of chicken. *Biology of Reproduction*. 57:967-980.
- Chen, Z. Y. W. Ratnayake, M. N. Cunnane, S. C. 1994. Oxidative stability of linseed lipids during baking. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 71(6):629-632.
- Cherian, G. 1993. Alpha linolenic acid metabolism in the egg and the developing chick embryo. Tesis para obtener el grado de doctor de filosofía en nutrición avícola. Departamento de ciencia animal de la Universidad de Alberta. Alberta, Canada.
- Cherian, G. 2007. Metabolic and cardiovascular diseases in poultry: Role of dietary lipids. *Poultry Science*. 86:1012-1016.
- Cherian, G. 2008. Egg quality and yolk polyunsaturated fatty acid status in relation to broiler breeder hen age and dietary n-3 oils. *Poultry Science*. 87:1131-1137.
- Cherian, G. and Goeger, M. P. 2005. Maternal dietary fatty acids alter the retention of long chain n-3 fatty acids in the cardiac and hepatic tissue of growing chickens. *Poultry Science*. 84(Supplement 1):71. (Abstract).
- Cherian, G. and Sim, J. S. 1997. Egg yolk polyunsaturated fatty acid and vitamin E content alters the tocopherol status of hatched chicks. *Poultry Science*. 76:1753-1759.

- Cherian, G. and Sim, J. S. 2001. Maternal dietary α -linolenic acid (18:3 n-3) alters n-3 polyunsaturated fatty acid metabolism and liver enzyme activity in hatched chicks. *Poultry Science*. 80:901-905.
- Couch, J. R. Ferguson, T. M. Cornett, B. M. 1973. Egg yolk lipids and maternal diet in the nutrition of turkey embryo. *Lipids*. 8:682-689.
- Cullis, P. R. and Hope, M. J. 1991. Physical properties and functional roles of lipids in membranes. In: Vance, D.E. Vance, J. (Eds.). *Biochemistry of Lipids. Lipoproteins and Membranes*. Ed. Elsevier. Amsterdam.
- Darrin-Bennett, A. Poulos, A. White, I. G. 1974. The phospholipids and phospholipid-bound fatty acids and aldehydes of dog and fowl spermatozoa. *Journal of Reproduction and Fertility*. 41:471-474.
- Daun, J. K. Barthelet, V. J. Chornick, T. L. Duguid, S. 2003. Structure, composition, and variety development of flaxseed. En: Thompson, L. U. Cunnane, SC. (Eds.) *Flaxseed in Human Nutrition*. Second edition. AOCS Press. Illinois.
- Deckelbaum, R. J. Worgall, T. S. and Seo, T. 2006. N-3 fatty acids and gene expression. *American Journal of Clinical Nutrition*. 83(6):1520S-1525S.
- Ding, S. T. Lilburn, M. S. 1997. Inclusion of coconut oil in diets for turkey breeders and its effects on embryonic yolk and liver fatty acids. *Poultry Science*. 76:1714-1721.
- Dommels, Y. E. M. Alink, G. M. Van Bladeren, P. J. Van Ommen, B. 2002. Dietary n-6 and n-3 polyunsaturated fatty acids and colorectal carcinogenesis: results from cultured colon cells, animal models and human studies. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 12:233-244.
- Especificaciones de calidad aceite crudo desgomado de soya. 2013. <http://aceiteimperial.com.mx/imagenes-aceite/seccion-productos/Aceite-Crudo-Imperial.pdf>.
- Garg, M. L. Sebokova, E. Thompson, A. B. R. and Clandinin, M. T. 1988. δ -6 desaturase activity in the liver microsomas of rats fed diets enriched with cholesterol and/or ω -3 fatty acids. *Biochemical Journal*. 249:351-356.
- Genser, M. V. 1994. Description and composition of flaxseed. In: *Flax Seed, Health, Nutrition and Functionality*. The Flax Council of Canada. Winnipeg.

- Giron, M. D. y. Suarez, M. D. 1996. Short term effects of dietary fats on the lipid composition and desaturase activities of rat liver microsomes. *Biochemistry and Molecular Biology International*. 40:843-851.
- Grundy, S. M. 1986. Comparison of monounsaturated fatty acids and carbohydrates for lowering plasma cholesterol. *New England Journal of Medicine*. 314:745-748.
- Hall, J. A. Jha, S. Skinner, M. M. Cherian, G. 2007. Maternal dietary n-3 fatty acids alter immune cell fatty acid composition and leukotriene production in growing chicks. *Prostaglandins, Leukotrienes, and Essential Fatty Acids*. 76(1):19-28.
- Hargis, P. S. Elswyk, M. E. V. Hargis, B. M. 1991. Dietary modification of yolk lipid with menhaden oil. *Poultry Science*. 70:874-883.
- Hargis, P. S. Van Elswyk M. E. and Coco, C. M. 1992. Effects of graded levels of dietary menhaden oil on omega-3 fatty acid incorporation into yolk lipids. *Poultry Science*. 71(1):154.
- Harris, W. Mozaffarian, D. Rimm, E. 2009. Omega-6 fatty acids and risk for cardiovascular disease. *Circulation*. 119:902-907.
- Hong, S. Gronert, K. Devchand, P. Moussignac, R-L. Serhan, C. N. 2003. Novel docosatrienes and 17S-resolvins generated from docosahexaenoic acid in murine brain, human blood and glial cells: autacoids in anti-inflammation. *Journal Biological Chemistry*. 278(14):14677-14687.
- Jain, Y. C. and Anand, S. R. 1967. Fatty acids and fatty aldehydes of buffalo seminal plasma and sperm lipid. *Journal of Reproduction and Fertility*. 47:261-267.
- Jia, W. Slominski, B. A. Guenter, W. Humphreys, A. Jones, O. 2008. The effect of enzyme supplementation on egg production parameters and omega-3 fatty acid deposition in laying hens fed flaxseed and canola seed. *Poultry Science*. 87:2005-2014.
- Jiang, Z. Ahn, D. U. Sim, J. S. 1991. Effects of feeding flax and two types of sunflower seeds on fatty acid compositions of yolk lipid classes. *Poultry Science*. 70:2467-2475.
- Kelso, K. A. Cerolini, S. Noble, R. C. Sparks, N. H. C. Speake, B. K. 1996. Lipid and antioxidant changes in semen of broiler fowl from 25 to 60 weeks of age. *Journal of Reproduction and Fertility*. 106:201-206.

- Knoch, B. Barnett, M. P. G. Roy, N. C. y McNabb, W. C. 2009. Study of the effects of dietary polyunsaturated fatty acids: Molecular mechanisms involved in intestinal inflammation. *Grasas y Aceites*. 60(1):8-21.
- Lambson, R. O. 1970. An electron microscopic study of the endodermal cells of the yolk sac of the chick during incubation and after hatching. *American Journal of Anatomy*. 129:1-20.
- Latour, M. A. Peebles, E. D. Boyle, C. R. Doyle, S. M. Pansky, T. and Brake, J. D. 1996. Effect of breeder hen age and dietary fat on embryonic and neonatal broiler serum lipids and glucose. *Poultry Science*. 75:695-701.
- Latour, M. A. Peebles, E. D. Doyle, S. M. Pansky, T. Smith, T. W. Boyle, C. R. 1998. Broiler breeder age and dietary fat influence the yolk fatty acid profile of fresh eggs and newly hatched chicks. *Poultry Science*. 77:47-53.
- Leaf, A. Kang, J. X. Xiao, Y. F. Billman, G. E. 2003. Clinical prevention of sudden cardiac death by n-3 polyunsaturated fatty acids and mechanism of prevention of arrhythmias by n-3 fish oils. *Circulation* 107:2646-2652.
- Lee, T. Shim K. and Tan, E. 1977. Protein requirements of growing Japanese quail in the tropics. *Singapore Journal Primary Industry*. 5:70-81.
- Lehninger, A. 1985. *Principios de Bioquímica*. Segunda edición. Ed. Omega. Barcelona.
- Leskanich, C. O. and Noble, R. C. 1997. Manipulation of n-3 polyunsaturated fatty acid composition of avian eggs and meat. *World's Poultry Science Journal*. 53:155-183
- Lin, D. S. Connor, W. E. Wolf, D. P. Neuringer, M. Hachey, D. L. 1993. Unique lipids of primate spermatozoa desmosterol and DHA. *Journal Lipids Research*. 34:491-499.
- Link, D. E. Peebles, E. D. Latour, M. A. Zumwalt, C. D. Smith, T. W. Brake, J. D. 1994. Effects of added fat in broiler breeder diets on egg and eggshell quality. *Poultry Science*. 73(Supplement 1):112. (Abstract).
- Liu, D. Veit, H. P. Wilson, J. H. Denbow, D. M. 2003. Longterm supplementation of various dietary lipids alters bone mineral content, mechanical properties and histological characteristics of Japanese quail. *Poultry Science*. 82:831-839.

- López, S. Valverde, C. 2006. Nutrición del embrión: Primer paso en programas de nutrición del pollo de engorde. *Mundo Avícola y Porcino*. 62:11-16.
- Lucotte, G. 1980. *La Codorniz: Cría y Explotación*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Maldjian, A. Cristofori, C. Noble, R. C. Speake, B. K. 1996. The fatty acid composition of brain phospholipids from chicken and ducks embryos. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 115B:153-158.
- Mandon, E. C. De Gomez Dunn, I. N. T. De Alaniz, M. J. T. Maria, C. A. Brenner R. R. 1987. ACTH depresses δ -6 and δ -5 desaturation activity in rat adrenal gland and liver. *Journal Lipids Research*. 28:1377-1382.
- Mayes, P. 2001. Metabolismo de los ácidos grasos insaturados y de eicosanoides. En: Murray, R. D. Granner, P. Mayes, R. Quinta edición. *Bioquímica de Harper*. Ed. Manual Moderno. México.
- Mazur, A. Harrow, B. 1970. Metabolismo de los lipoides. En: *Bioquímica Médica*. Primera edición. Ed. Interamericana. México.
- McCann, M. E. and Carrik, J. B. 1998. Potential uses of omega-3 fatty acids in equine diseases. *Compendium*. 20:637-641.
- Milinsk, M. C. Das Gracias Padre, R. Hayashi, C. De Souza, N. E. Matsushita, M. 2003. Influence of diets enriched with different vegetable oils on the fatty acid profiles of snail *Helix aspersa maxima*. *Food Chemistry*. 82(4):553-558.
- Mills, S. C. Windsor, A. C. Knight, S. C. 2005. The potential interactions between polyunsaturated fatty acids and colonic inflammatory processes. *Clinical and Experimental Immunology*. 142:216-228.
- Minvielle, F. 2004. The future of Japanese quail for research and production. *World Poultry Science Journal*. 60:500-507.
- Neumann, K. F. 2001. *Codornices*. Grupo Editorial Iberoamericana. México.
- Neuringer, M. Anderson, G. J. Connor, W. E. 1988. The essentiality of n-3 fatty acids for the development and function of the retina and brain. *Annual Review of Nutrition*. 8:517-541.
- Nikiforidis, G. Papazafiroopoulos, D. Siablis, D. Karnabatidis, D. Hatjikondi, O. Dimopoulos, J. 1999. Quantitative assessment of angiogenesis in the chick

- embryo and its chorioallantoic membrane by computerised analysis of angiographic images. *European Journal of Radiology*. 29(2):168-179.
- Noble, F. Moyon, D. Pardanaud, L. Yuan, L. Djonov, V. Matthijsen, R. Bréant, C. Fleury, V. and Eichmann, A. 2004. Flow regulates arterial-venous differentiation in the chick embryo yolk sac. *Development*. 131(2):361-375.
- Noble, R. C. and Yafei. N. 1988. An association between low embryo hatchability in eggs from young broiler birds and aspects of lipid metabolism. Pages 640–641 in: *Proceedings 18th World's Poultry Congress*. Nagoya, Japan.
- Noble, R. C. Shand, J. H. 1985. Unsaturated fatty acid compositional changes and desaturation during the embryonic development of the chicken (*Gallus domesticus*). *Lipids*. 20(5):278-282.
- Noble, R. C. Cocchi, M. 1990. Lipid metabolism and the neonatal chicken. *Progress in Lipid Research*. 29:107-140.
- Novak, C. Scheideler, E. 2001. Long-term effects of feeding flaxseed-based diets. 1. Egg production parameters, components, and eggshell quality in two strains of laying hens. *Poultry Science*. 80:1480-1489.
- O'Brien, R. 1998 *Fat and oil; formulating and processing for application technomic* Ed. Publishing Co, Inc. Boca Raton.
- Oliver, E. H and. Sprecher, H. 1989. Metabolism of polyunsaturated fatty acids by an (n-6) lipoxygenase associated with human ejaculates. *Biochimica et Biophysica Acta*; 1002:283-291. Ore Q. disponible en <http://www.institutobiologico.com/downloads/Q%20ore%20omega%203%20.pdf>.
- Padrón, M. 2005. Puntos críticos de incubación y primera semana de vida en pollos de engorde. *Mundo Avícola y Porcino*. 56:26-27.
- Pai, W. Y. Hsu, C. C. Lai, C. Y. Chang, T. Z. Tsai, Y. L. and Her, G. M. 2013. Cannabinoid receptor 1 promotes hepatic lipid accumulation and lipotoxicity through the induction of SREBP-1c expression in zebrafish. *Transgenic Research*. 22(4):823-838.
- Pardanauo, I. Yassine, F. and Dieterlen-Lievre, F. 1989. Relationship between vasculogenesis, angiogenesis and haematopoiesis during avian ontogeny. *Development*. 105:473-485.

- Peebles, E. D. Pansky, T. Doyle, S. M. Gerald, P. D. Latour, M. A. Boyle, C. R. Smith, T. W. 1998. Effects of dietary fat and eggshell cuticle removal on egg water loss and embryo growth in broiler hatching eggs. *Poultry Science*. 77:1522-1530.
- Peebles, E. D. Zumwalt, C. D. Doyle, S. M. Gerard, P. D. Latour, M. A. Boyle, C. R. and Smith, T. W. 2000. Effects of breeder age and dietary fat sources and level on broiler hatching egg characteristics. *Poultry Science*. 79:698-704.
- Pérez, y P. F. 1966. *Coturnicultura. Tratado de Cría y Explotación Industrial de Codornices*. Segunda edición. Ed. Científico-Médica. Barcelona.
- Pfeuffer, M. 2001. Physiologic effects of individual fatty acids in animal and human body, with particular attention to coronary heart disease risk modulation. *Archiv fur Tierzucht*. 44:89-98.
- Phetteplace, H. W. and Watkins, B. A. 1990. Lipid measurements in chickens fed different combinations of chicken fat and menhaden oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 38:1848-1853.
- Reyes-Caudillo, E. Tecante, A. Valdivia-López, M. A. 2008. Dietary fiber content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Food Chemistry*. 107(2):656-663.
- Risau, W., and Lemmon, V. 1988. Changes in vascular extracellular matrix during embryonic vasculogenesis and angiogenesis. *Developmental Biology*. 125:441-450.
- Roldan, E. R. S. Harrison, R. A. P. 1993. Diacylglycerol in the exocytosis of the mammalian sperm acrosome. *Biochemical Society Transactions*. 21:284-289.
- Romanoff, A. L. 1960. *The avian embryo structure and functional development*. Ed. MacMillan. New York.
- Rosenbruch, M. Holst, A. 1990. The chick embryo yolk-sac blood vessel system as an experimental model for irritation and inflammation. *Toxicology in Vitro*. 4(4-5):327-331.
- Salem, N. Kim, H. Y. Yergey, J. A. 1986. Docosahexaenoic acid: membrane function and metabolism. In: Simopoulos, A. P. Kifer, R. R. Martin, R. E. (Eds.). *Health Effects of Polyunsaturated Fatty Acids in Seafoods*. Ed. Academic Press. New York.

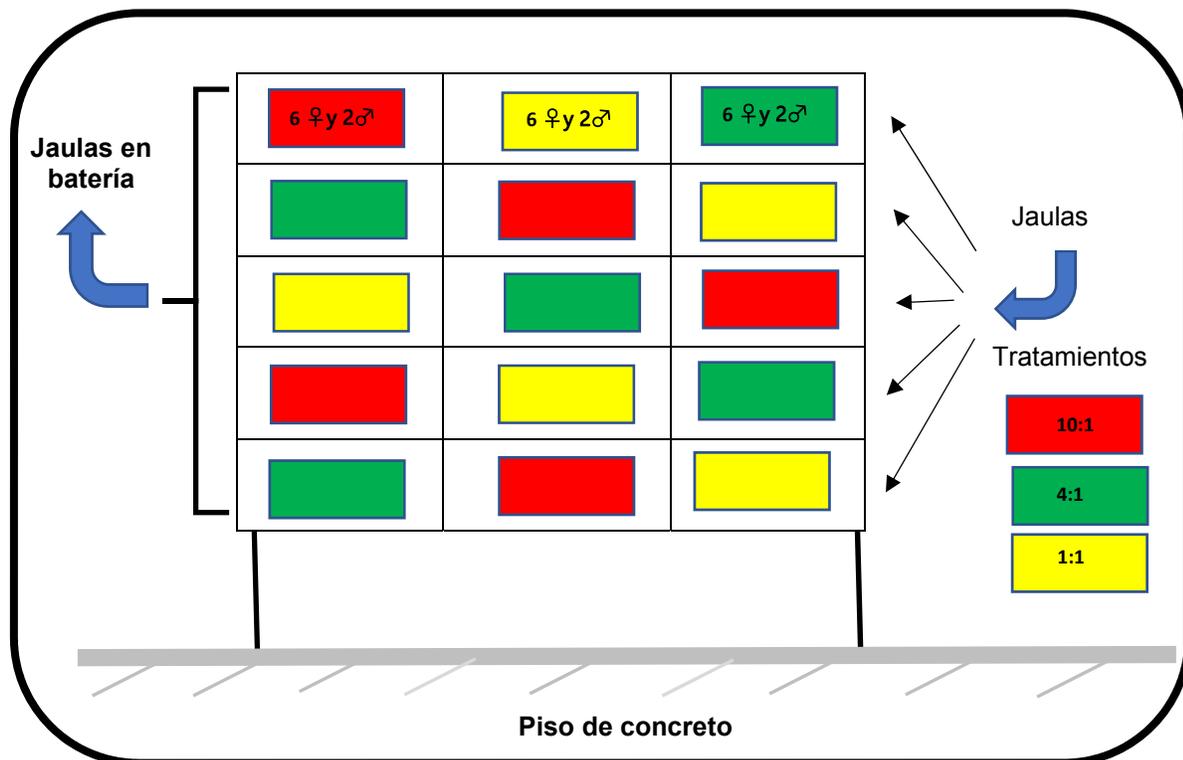
- Sari, M. Aksit, M. Özdoğan and Basmacıoğlu, H. 2002. Effects of addition of flaxseed to diets of laying hens on some production characteristics, levels of yolk and serum cholesterol, and fatty acid composition of yolk. *Archiv für Geflügelkunde*. 66(2):75-79.
- Scaife, J. R. Moyo, J. Galbraith, H. Michie, W. and Campbell, V. 1994. Effect of different dietary supplemental fats and oils on the tissue fatty acid composition and growth of female broiler. *British Poultry Science*. 35:107-118.
- Scheideler, S. E. Froning, G. W. 1996. The combined influence of dietary flax seed variety, level, form, and storage conditions on egg production and composition among vitamin E-supplemented hens. *Poultry Science*. 75:1221-1226.
- Schmitz, G. Ecker, J. 2008. The opposing effects of n-3 and n-6 fatty acids. *Progress in Lipid Research*. 47:147-155.
- Sebastián, S. M. Selvaraj, S. Aruldas, M. M. Govindarajulu, P. 1987. Pattern of neutral and phospholipids in the semen of normospermic, oligospermic and azoospermic men. *Journal of Reproduction and Fertility*. 79:373-378.
- Serhan, C. N. Chiang, N. 2008. Endogenous pro-resolving and anti-inflammatory lipid mediators: a new pharmacologic genus. *British Journal of Pharmacology*. 153:S200-S215.
- Shanaway, M. M. 1994. *Quail Production Systems: A Review*. (<http://books.google.com.mx/books?id=-MSy78He6-wC&lpg=PP6&pg=PP9#v=onepage&q&f=true>)
- Siamblis, D. Karnabatidis, D. Hatjikondi, O. Kalogeropoulou, C. Kardamakis, D. Dimopoulos, D. 1996. A novel radiological approach for the experimental study of angiogenesis: angiography of the chick embryo and its chorioallantoic membrane. *European Journal of Radiology*. 21(3):220-224.
- Simopoulos, A. P. 1998. Redefining dietary reference values and food safety. *World Review of Nutrition and Dietetics*. 83(3):219-222.
- Simopoulos, A. P. Cleland, L. G. 2003. Omega-6/Omega-3 essential fatty acid ratio: The scientific evidence. *World Review of Nutrition and Dietetics*. 92:37-56.

- Soares, R. Fonseca, J. B. Santos A. S. and Mercandante, M. B. 2003. Protein requirement of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) during rearing and laying periods. Brazilian Journal of Poultry Science. 5:153-156.
- Speake, B. K. Noble, R. C. Murray, A. M. B. 1998. The utilization of yolk lipids by the chick embryo. Poultry Science. 54:319-334.
- Stern, C. D. 2004. The chick embryo - past, present and future as a model system in developmental biology. Mechanisms of Development. 121(9):1011-1013.
- Stubbs, C. D. Smith. A. D. 1984. The modification of mammalian membrane polyunsaturated fatty acid composition in relation to membrane fluidity and function. Acta Biochimica et Biophysica. 779:89-137.
- Summers, J. D. and Leeson, S. 1980. The utilization of animal tallow as influenced by the addition of various levels of unsaturated fat. Nutrition Reports International. 21: 755-759.
- Summers, J. D. and Leeson, S. 1985. Poultry Nutrition Handbook. Univ. Guelph, Guelph, Ontario.
- Taga, M. S. Miller, E. E. Pratt, D. E. 1984. Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants. Journal of the American Oil Chemists' Society. 61:928-931.
- Thompson, L. U. 2003. Analysis and Bioavailability of Lignans. En: Thompson, L. U. Cunnane, S. C. (Eds.). Flaxseed in Human Nutrition. Second edition. AOCS Press. Illinois.
- Van Elswyk, M. 1997. Nutricional and physiological effects of flax seed in diets for laying fowl. Poultry Science. 53:253-264.
- Vázquez-Ovando, A. Rozado-Rubio, G. Betancurt-Ancona, D. 2009. Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). Food Science and Technology. 42(1):168-173.
- Vilchez, C. Touchburn, S. P. Chavez, E. R. and Lauge, P. C. 1992. Eggshell quality in Japanese quail fed different fatty acids. Poultry Science. 71:1568-1571.
- Vilchez, C. Touchburn, S. P. Chavez, E. R. Chan, C. W. 1991. Effect of feeding palmitic, oleic, and linoleic acids to Japanese quail hens (*Coturnix coturnix japonica*). I. Reproductive performance and tissue fatty acids. Poultry Science. 70:2484-2493.

- Villegas, A. Alavez, H. y Esteves, M. 2005. Evaluación de niveles de proteína en dietas de codorniz. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal.13:75-78.
- Wang, Y. W. Sunwoo, H. H. Cherian, G. and Sim, J. S. 2004. Maternal dietary ratio of linoleic acid to α -linolenic acid affects the passive immunity of hatching chicks. Poultry Science. 83:2039-2043.

CAPÍTULO 7. ANEXOS

A 1. Área de la unidad avícola donde se desarrolló el trabajo de investigación y las baterías utilizadas.



A.1.1. Diagrama de diseño del experimento y distribución de los tratamientos.

A 2) Bateria experimental



A 2.1) tratamiento 10:1



A 2.2) tratamiento 4:1



A 2.3) tratamiento 1:1



A 3) Huevo incubable clasificado por tratamientos

A 4) Evidencias de participación en estancia de investigación.

25 de Abril de 2016

Dra. Josefina León Félix
 Coordinadora Académica del Centro
 De Investigación en Alimentación y
 Desarrollo, A.C. Unidad Cullacán.

Atención: **Dr. José Basilio Heredia**

Presente.-

Por este medio, me dirijo a ustedes de la manera más atenta para presentar un cronograma de la disposición de los días para realizar estancia solicitada anteriormente, los cuales describo a continuación.

Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
horario	9:30-15:00	9:30-15:00	Seminario de investigación en FMZ	9:30-15:00	9:30-15:00

El día miércoles está programado el seminario de investigación con el Dr. portillo para todos sus alumnos.

Además de la disponibilidad de trabajar de requerirse más tiempo o en fin de semana.

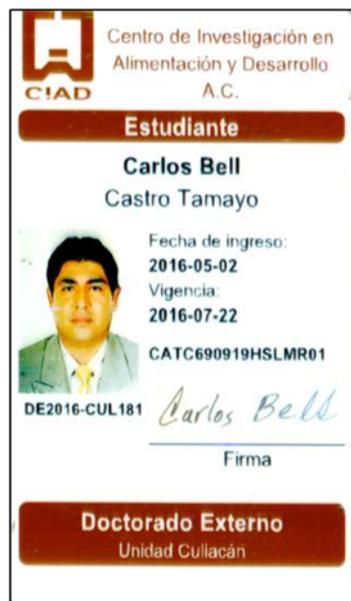
Sin más por el momento me despido, quedando a su disposición para cualquier aclaración.

Carlos Bell Castro Tamayo *Carlos Bell Castro Tamayo*

Alumno del Doctorado en Ciencias Agropecuarias de la FMZ-UAS.

Teléfono. 667 71585144.

Correo electrónico castrotamayo@uas.edu.mx



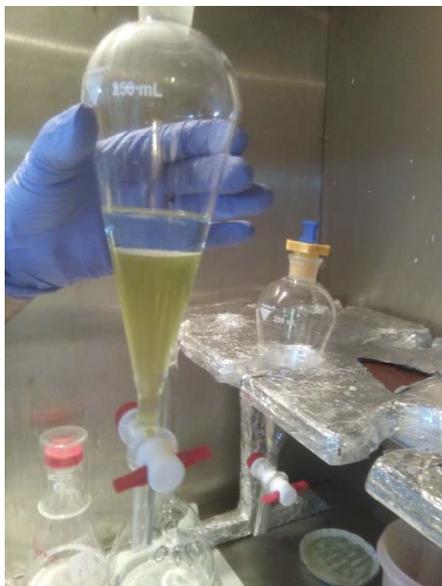
A 5) Determinación del perfil de ácidos grasos de aceites y alimento en el Laboratorio de Alimentos en CIAD Culiacán durante estancia.



A 5.1) Equipo y reactivos bajo la campana extractora de trabajo.



A 5.2) Desarrollo de la técnica de Folch para extracción de grasa de muestras.

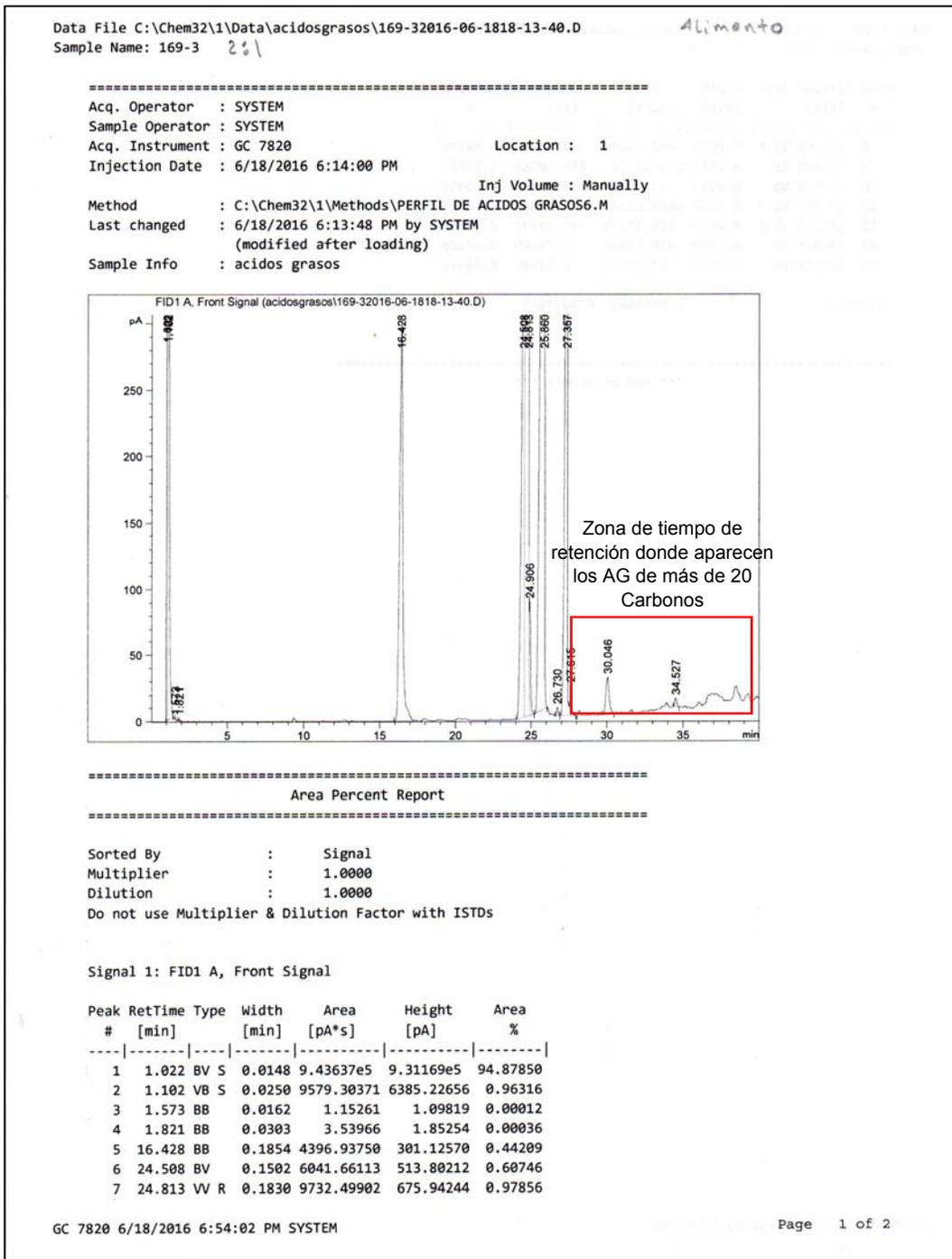


A 5.3) Desarrollo de la técnica de Folch par extracion de grasa de las muestras.



A 5.4) Rotoevaporador de solventes. A 5.5) Muestra de aceite colectado en vial.

A 5.6) Salidas de Cromatografo de muestra de alimento



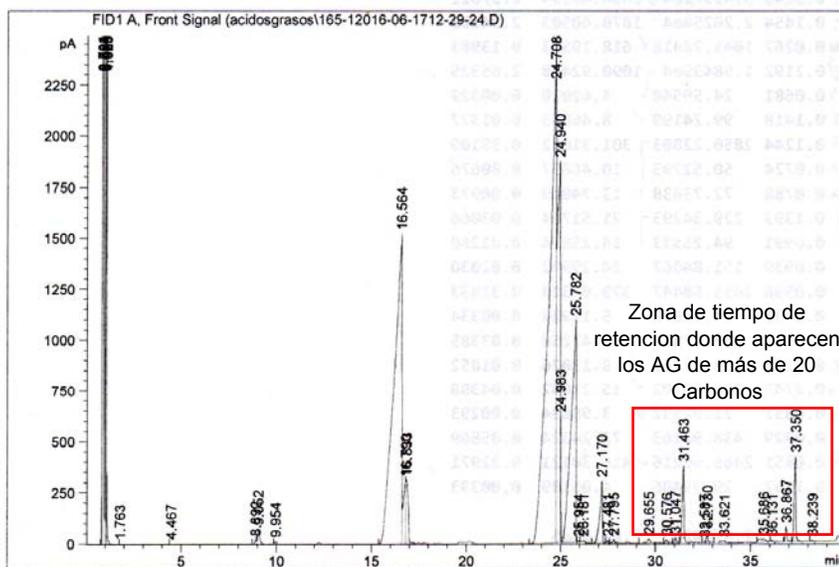
A 5.7) Salidas de Cromatografo de muestra de yema de huevo

Data File C:\Chem32\1\Data\acidosgrasos\165-12016-06-1712-29-24.D *Yema*
 Sample Name: 165-1 *2.1*

```

=====
Acq. Operator   : SYSTEM
Sample Operator : SYSTEM
Acq. Instrument : GC 7820
Injection Date  : 6/17/2016 12:32:49 PM
Location       : 1
Inj Volume     : Manually

Acq. Method    : C:\Chem32\1\Methods\PERFIL DE ACIDOS GRASOS6.M
Last changed   : 6/17/2016 12:29:35 PM by SYSTEM
                (modified after loading)
Analysis Method : C:\Chem32\1\Methods\PERFIL DE ACIDOS GRASOS2_APAGADO.M
Last changed   : 12/10/2015 3:47:44 PM by SYSTEM
Sample Info    : acidos grasos
    
```



Area Percent Report

```

Sorted By      : Signal
Multiplier     : 1.0000
Dilution       : 1.0000
Do not use Multiplier & Dilution Factor with ISTDs
    
```

Signal 1: FID1 A, Front Signal

Peak #	RetTime [min]	Type	Width [min]	Area [pA*s]	Height [pA]	Area %
1	0.794	BV S	0.0118	3.28072e4	4.34651e4	4.38653
2	0.823	VV S	0.0466	8.53111e4	3.05194e4	11.40664
3	0.864	VV S	0.0234	3.69086e4	2.62575e4	4.93492
4	0.988	VV S	0.0118	4.10895e5	5.79243e5	54.93923
5	1.025	VV S	0.0228	1.09350e4	8003.20898	1.46208

A 6) Evidencias de participación en ponencias, congresos y eventos de difusión relacionadas al tema de omegas en alimentación de codorniz reproductora

Publicación en congresos

AMPA 2015

XLII Reunión Científica de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria, A. C.

PROPORCIÓN DE ÁCIDO LINOLEICO Y α -LINOLÉNICO EN EL ALIMENTO DE CODORNIZ JAPONESA (*Coturnix coturnix japonica*) Y SU EFECTO EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y REPRODUCTIVO
ACID LINOLEIC AND α -LINOLENIC RATIO IN JAPANESE QUAIL (*Coturnix coturnix japonica*) FEED PRODUCTIVE AND REPRODUCTIVE PERFORMANCE

C. B. Castro T.¹, J. J. Portillo L.^{1*}, F. G. Rios R.¹, G. Contreras P.¹, I. Contreras A.² y, R. M. Molina B.³

¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa, Blvd. San Ángel s/n, Culiacán, Sinaloa, 80236. Tel+52 (667) 7181650

² Universidad Autónoma de Sinaloa, FCQB

³ Departamento de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, ITSON

* Autor para correspondencia: portillo6422@yahoo.com

SUMMARY

To determine the effect of ratio of linoleic acid (omega-6) and alpha-linolenic (omega-3) in food from soybean oil, canola, olive or chia, in the productive and reproductive performance of Japanese quail. They are fed for 105 days 200 females and 60 males, randomized into four servings, according to the following treatments: corn-based food-soybean meal (20% CP and 2.9 Mcal EM) with ratio of w-6: w-3; 152:1 (Control), 2: 1 (T2), 4: 1 (T4) and 10: 1 (T10). Feed intake, laying rate, fertility, hatchability, hatched chicks per week, and embryo mortality was recorded. The narrow ratio of essential fatty acids decreased 2.83% (p <0.01) feed intake compared to the control (26.67 vs. 29.48 g). Laying percentage was higher in T2 (72.17%) and was similar (p > 0.05) in control and T10 (70.85 vs. 66.64%). In T2 there was a higher percentage of egg hatching was different (p <0.01) to other treatments (69.9 vs. 67.53%). The fertility rate was higher (p <0.05) in control compared to other treatments (97.4 vs. 96.1%). The hatchability was higher in control (p <0.03) and different in T2 (87.62 vs. 83.58%) respectively. The hatched chicks per week was similar (p = 0.25) between treatments 51.6 chicks. Total embryo mortality was similar (p > 0.05) between treatments with 13.8%. The quail productive and reproductive performance is similar with narrow proportions of fatty acids essential, although the reproductive indicators have appropriate values
Keywords: Ratio omega-3, Fertility, Hatchability, Embryonic mortality.

RESUMEN

Para determinar el efecto de proporciones de ácido linoleico (omega-6) y alfa-linolenico (omega-3) en alimento a partir de aceite de soya, canola, olivo ó chia, en el desempeño productivo y reproductivo de codorniz japonés, se alimentaron durante 105 d a 200 hembras y 60 machos, distribuidos al azar en cuatro raciones, de acuerdo a los tratamientos siguientes: alimento a base de maíz-pasta de soya (20 % de PC y 2.9 Mcal de EM) con proporción de ω -6: ω -3; 152:1 (Testigo), 2:1(T2), 4:1(T4) y 10:1(T10). Se registró el consumo de alimento, porcentaje de postura, fertilidad, incubabilidad, pollitos nacidos por semana, y mortalidad embrionaria. La proporción estrecha de ácidos grasos esenciales redujo 2.83 % (p<0.01) el consumo de alimento con respecto al testigo (26.67 vs. 29.48 g). Porcentaje de postura fue mayor en T2, (72.17 %) y fue igual (p>0.05) en testigo y T10 (70.85 vs. 66.64 %). En T2 hubo mayor porcentaje de huevo incubable y fue diferente (p<0.01) al resto de los tratamientos (69.9 vs. 67.53 %). El porcentaje de fertilidad fue mayor (p<0.05) en testigo con respecto al resto de los tratamientos (97.4 vs. 96.1 %). La incubabilidad fue mayor en testigo (p<0.03) y diferente en T2 (87.62 vs. 83.58 %) respectivamente. Los pollitos nacidos por semana fue similar (p=0.25) entre tratamientos 51.6 pollitos. Mortalidad embrionaria total fue similar (p>0.05) entre tratamientos con 13.8 %. El desempeño productivo y reproductivo de codornices alimentadas con proporciones estrechas de AGE es similar, aunque los indicadores reproductivos tienen valores adecuados.
Palabras clave: Proporción omega-3, Fertilidad, Incubabilidad, Mortalidad embrionaria

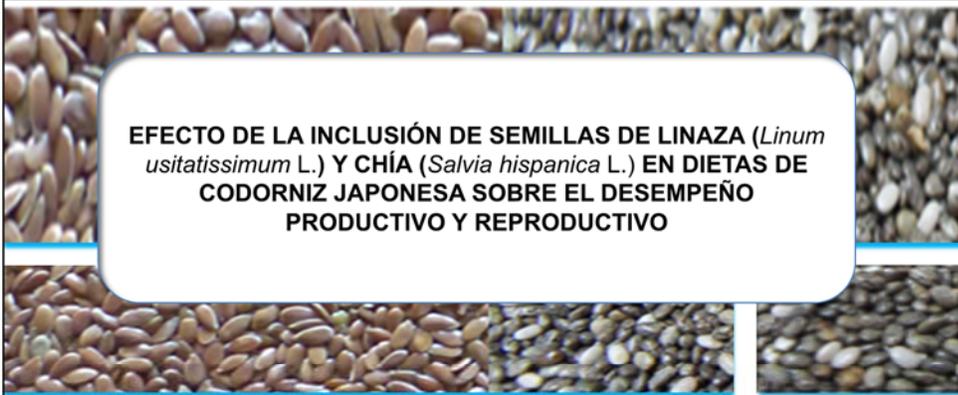
Introducción.

En aves domésticas reproductoras es importante el número de pollitos de calidad producidos. Para ello, es necesario que el alimento aporte los nutrientes en la cantidad apropiada, calidad. Los lípidos se incluyen en el alimento para aumentar la densidad energética y reducir el polvo en el alimento de las aves. Los ácidos

Montecillo, Texcoco, Estado de México, 28 al 30 de octubre de 2015

68

Presentacion de resultados en CD. Obregón Sonora en reunión de APYZAN, 2016



EFFECTO DE LA INCLUSIÓN DE SEMILLAS DE LINAZA (*Linum usitatissimum* L.) Y CHÍA (*Salvia hispanica* L.) EN DIETAS DE CODORNIZ JAPONESA SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y REPRODUCTIVO

CARLOS BELL CASTRO TAMAYO




CD. OBREGÓN SONORA 12 NOVIEMBRE 2016

1



La Asociación de Patólogos y Zootecnistas Aviares del Noroeste

Otorga la Presente:

Constancia

MVZ Carlos Bell Castro Tamayo

A: _____

Por su participación como CONFERENCISTA en la 3a Reunión de Capacitación de la Gestión 2016-2018 con el tema: "Efecto de la inclusión de semillas de linaza y Chia en dietas de codorniz japonesa sobre el desempeño productivo y reproductivo"
Cd. Obregón, Sonora. Sábado 12 de noviembre del 2016

Dr. Ramón M. Molina Barrios
Presidente

MVZ Francisco Félix Fdez.
Vicepresidente

MVZ Jorge Millán Félix
Secretario/Tesorero

Convencion anual de la Asociacion Nacional de Especialistas en Ciencia Avicolas

ANECA 2018



PROPORCIÓN DE OMEGA-6 Y OMEGA-3 EN DIETAS DE CODORNIZ JAPONESA REPRODUCTORA Y SU EFECTO EN EL DESEMPEÑO REPRODUCTIVO

Carlos Bel Castro T.^{1*}, Jesús J. Portillo L.¹, Francisco G. Ríos R.¹, Germán Contreras P.¹, Ramón L. Castillo L.², J. Basilio Heredia³

¹Unidad Avícola Experimental, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa
²Facultad de Ciencias Químicas y Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa
³Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Unidad Culiacán

*Trabajo parcial de Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias, castroamayo@uas.mx

INTRODUCCIÓN

Los ácidos grasos esenciales (AGE) son precursores de omega-6 y omega-3, éstos regulan genes que codifican para proteínas del metabolismo lipídico y energético, modulando procesos inmunitarios innatos y adquiridos (Deckebbaum et al., 2008). El ácido araquidónico (AA) n-6 es el ácido graso de mayor disponibilidad en una dieta típica, fuente de eicosanoides que ejercen propiedades proinflamatorias. Liberan radicales libres causantes de daños a la membrana celular (Mayes, 2001). Los AGE del huevo afectan la composición de las membranas celulares durante el crecimiento y desarrollo del embrión (Par et al., 2013). Los huevos de AGE como semilla de chía tienen concentración alta de ácidos grasos poliinsaturados, especialmente el ácido linoléico (ALA), un n-3 (Ayersa y Coates, 2005). Además, dietas con aceite de chía, disminuyen significativamente el AGE n-6, y aumenta la cantidad del AGE n-3 (Ayersa y Coates 2005). El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la proporción de omega-6 y omega-3 en la dieta a partir de aceite de oliva, canola, soja o chía en el desempeño reproductivo de codorniz japonesa.

RESULTADOS

Cuadro 2. Contenido de ácidos grasos de las dietas para codorniz japonesa como porcentaje de total de grasa.

Ácido Graso % ¹	Proporción n-6:n-3			
	10:1	4:1	1:1	EM
Linoléico	46.95*	46.16*	34.95*	0.421 0.0001
Linoléico	4.78*	10.93*	30.57*	0.194 0.0001
Ac. Grasos Saturados (AGS)	12.97*	11.73*	10.79*	0.332 0.0005
Ac. Grasos Moninsaturados (AGM)	35.45*	30.54*	23.52*	0.828 0.0001
Ac. Grasos Poliinsaturados (AGP)	51.37*	57.72*	65.72*	0.563 0.0001
AGS:AGP	0.2824*	0.263*	0.163*	0.0442 0.0001
n-3	46.17*	46.07*	34.95*	0.395 0.0001
n-6	4.78*	10.93*	30.57*	0.194 0.0001
n-6:n-3	0.79*	4.28*	1.14*	0.256 0.0001

¹ Valores promedio de tres determinaciones.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Se utilizaron 120 codornices reproductoras (60 hembras y 30 machos) de 7 semanas de edad, alojadas en 15 jaulas en batería de acero inoxidable (30x40x25 cm), en una casa convencional a 22 ± 2 °C y un programa de luz (14 L:10 O). Las codornices de 9 jaulas se asignaron al azar a uno de tres tratamientos: 1) Proporción n-6:n-3 de 10:1 (Testigo), 2) n-6:n-3 de 4:1 y 3) n-6:n-3 de 1:1. Dietas a base de maíz pasta de soja con 21.55% de PC y EM de 3.16 Mcal/kg (Cuadro 1 y 2), durante 9 semanas. El alimento y agua se proporcionaron ad libitum.

DISCUSIÓN

Las proporciones de omega-6 y omega-3 en la dieta no afectaron la fertilidad (p=0.68) con un valor promedio de 86.01%, resultados similares a los de Hazen et al. (2010) al utilizar en codornices aceite de linaza con proporción de 0.22:1 y aceite maíz con 42.2:1, logrando 3.65% más fertilidad y 3.2% más incubabilidad, con aceite de linaza, sin embargo, en el presente estudio la incubabilidad no fue afectada por los tratamientos (p=0.95); posiblemente, a la oxidación de los ácidos grasos en la dieta, donde el análisis de laboratorio mostró el nivel más alto de índices de peróxidos (Cuadro 3) en la proporción 1:1 con 4.79 mEqO₂/kg¹, un factor a considerar que pudo influir, ya que la mortalidad embrionaria total 23.35%, fue la más alta con respecto a las otras proporciones, resultados similares a los de Hazen et al. (2010) donde reportan un 33.11% de mejora con una proporción estrecha de 0.22:1. El manipular las proporciones de n-6 y n-3 en la dieta hacia 1:1 parece no mejorar la reproducción, pero también se debe considerar el contenido que aportan las fitinas y así poder estimar el consumo en miligramos o porcentaje de la ingesta diaria, más que la proporción contenida en la dieta, pues se ha reportado que el exceso en el consumo de n-3 puede traer efectos no deseables para la salud, con una disminución de la respuesta inmune, además del problema de su estructura química insaturada, que los hace más susceptibles a la oxidación (Calleo, 2001).

Cuadro 1. Composición de las dietas experimentales.

Ingredientes (g/kg)	Proporción n-6:n-3		
	10:1	4:1	1:1
Maíz	50.00	50.10	50.70
Alimento de soja (46% CP)	20.00	20.00	20.00
Alimento de maíz	1.45	1.25	0
Alimento de canola	0	0	0.60
Alimento de chía	0	0.40	3.30
Lisina	0.40	0.50	0.40
Tiamina	0.20	0.20	0.20
Biotina	0.20	0.20	0.20
Cholecalciferol	0.20	0.20	0.20
Acido ascórbico	0.20	0.20	0.20
Polifenoles	0.20	0.20	0.20
Antioxidante	0.20	0.20	0.20
Fosfo	0.20	0.20	0.20
Yodo	0.02	0.02	0.02
Sal (g/kg dietético) ¹	1.40	1.51	1.40
Salmonina%	0.20	0.20	0.20
Tiamina%	0.20	0.20	0.20
Triptófano%	0.20	0.20	0.20
Ca%	0.30	0.30	0.30
P%	0.37	0.36	0.36
Energía Metabolizable, kcal/kg ¹	795	795	795
Proteína cruda %	21.54	21.36	21.79
Fibra cruda %	1.98	2.25	1.52
Estrato cruda %	4.31	3.87	4.41
Contenido de fitina %	0.77	0.77	0.70

¹ Testigo¹, NRC, 1984. ² Ecuación propuesta por Blaz et al. (1985). ³ Análisis Químico Proximal.

REFERENCIAS

Akita, H., Coates, M. 2008. Influence of polyunsaturated fatty acid composition of egg yolk and embryonic content of broiler (Gallus gallus domesticus) embryos. *Animal Feed Technology*, 183:149-159.

Datta, S.K. 2000. Effect of dietary fat on reproductive performance, egg quality, fatty acid composition of yolk and embryonic content of broiler (Gallus gallus domesticus) embryos. *British Poultry Science*, 41:103-108.

Goodrich, R.L., Huggins, T.S., A.T. Inc. 2005. *Oil fatty acid and gene expression: The American Journal of Clinical Nutrition*, 81: 1030-1038.

Hazen, J., Al-Dabbas, A.A., Al-Husseini, M.K., Al-Husseini, A.S., Al-Husseini, A.S., Al-Husseini, M.S. 2010. Effect of dietary polyunsaturated fatty acid composition on reproductive performance of broiler (Gallus gallus domesticus) embryos. *Journal of Applied Poultry Research*, 21: 403-405.

Hazen, P. 2001. Efectos de los ácidos grasos saturados y no saturados. En: Martín, M., Gilibert, D., Matar, P., Ribera, J. (eds.), *Reproducción de aves*. Zaragoza: Editorial Acria, pp. 289-298.

Shah, A., Torre, J. 1988. Bioavailable phosphorus and protein. *Int. J. of Avian Diseases*, 1: 1-10.



LA ASOCIACIÓN NACIONAL DE ESPECIALISTAS
EN CIENCIAS AVÍCOLAS DE MÉXICO A.C.



Otorga el presente
Diploma

A.

Carlos Bell Castro Tamayo

Por su participación en la modalidad de Trabajo Libre
en la XLIII Convención Anual ANECA, llevada a cabo
del 2 al 5 de Mayo del 2018 en Ixtapa-Zihuatanejo, México.


MVZ. EPA. Miguel Ángel Casillas
Presidente 2016-2018





Dr. Juan Cayos Valladares De la Cruz
Comité Científico

A 7) Documentos de solicitud de patentes por parte de Universidad Autónoma de Sinaloa de trabajo utilizando semillas de linaza y chía en la alimentación de codornices, que ingresó ante el IMPI

PATENTE 20 -17. COMPOSICION QUE INCLUYE SEMILLAS DE LINAZA Y CHÍA . Carlos Bell

COMPOSICION QUE INCLUYE SEMILLAS DE LINAZA (*Linum usitatissimum* L.) Y CHÍA (*Salvia hispanica* L.) EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO, REPRODUCTIVO Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN HUEVO DE CODORNIZ JAPONESA (*Coturnix coturnix japonica*)

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere al campo de productos de semillas de linaza y chia y métodos y usos relacionados, por ejemplo, alimentos formadas a partir de semillas de linaza y chía.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Las fuentes de lípidos en las dietas para gallinas productoras de huevo para plato modifican el perfil de ácidos grasos (AG) en la yema de huevo (Hargis, *et al.*, 1991).

Los AG son precursores de los ácidos grasos esenciales (AGE), el omega-3 (n3) y el omega-6 (n6); estos regulan genes que codifican para proteínas implicadas en el metabolismo lipídico, energético e inmunitario (Deckelbaum, *et al.*, 2006), ya que son precursores de eicosanoides.

La cantidad y proporción de AGE presente en las membranas es determinante para el tipo de eicosanoide que se generará. La reducción de ácido araquidónico (AA un n6) en relación con el ácido decosapentaenoico (DPA un n3) es importante, porque DPA promueve la producción de resolvinas, un antiinflamatorio la cual inhibe la apoptosis e induce la proliferación celular y la angiogénesis y que compite con el eicosanoide pro inflamatorio prostaglandina E2, por la actividad de la enzima ciclooxigenasa (Pai, *et al.*, 2013).

El ácido AA es el mayor en una dieta típica, fuente de eicosanoides, con efectos pro inflamatorios (Speake, *et al.*, 1998). Los AG de la yema representan más del 90%



<input checked="" type="checkbox"/> Solicitud de Patente <input type="checkbox"/> Solicitud de Registro de Modelo de Utilidad <input type="checkbox"/> Solicitud de Registro de Diseño Industrial, especifique cuál: <input type="checkbox"/> Modelo Industrial <input type="checkbox"/> Dibujo Industrial	Uso exclusivo Delegaciones y Subdelegaciones de la Secretaría de Economía y Oficinas Regionales del IMPI Sello SECRETARÍA DE ECONOMÍA DELE FOLIO DE ENTRADA FEDERAL EN EL ESTADO DE SINALOEA 21 FEB. 2018 Fecha y hora de recepción	Uso exclusivo del IMPI No. de expediente No. de folio de entrada Fecha y hora de presentación
Antes de llenar la forma lea las consideraciones generales al reverso		
I DATOS DEL (DE LOS) SOLICITANTE(S)		
El solicitante es el inventor <input type="checkbox"/> El solicitante es el causahabiente <input checked="" type="checkbox"/> 1) Nombre (s): UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SINALOA 2) Nacionalidad (es): MEXICANA 3) Domicilio: calle, número, colonia y código postal: BLVD. MIGUEL TAMAYO ESPINOZA DE LOS MONTEROS # 2358 COL. DESARROLLO URBANO 3 RIOS, C.P. 80000 Población, Estado y País: CULIACAN, SINALOEA, MEXICO 4) Teléfono (clave): 5) Fax (clave):		
II DATOS DEL (DE LOS) INVENTOR(ES)		
6) Nombre (s): CARLOS BELL CASTRO TAMAYO, JESÚS JOSÉ PORTILLO LOERA, FRANCISCO GERARDO RIOS RINCON, GERMAN CONTRERAS PEREZ, RAMON IGNACIO CASTILLO LOPEZ 7) Nacionalidad (es): MEXICANA 8) Domicilio: calle, número, colonia y código postal: BLVD. MIGUEL TAMAYO ESPINOZA DE LOS MONTEROS # 2358 COL. DESARROLLO URBANO 3 RIOS, C.P. 80020 Población, Estado y País: CULIACAN, SINALOEA, MEXICO 9) Teléfono (clave): 10) Fax (clave):		
III DATOS DEL (DE LOS) APODERADO (S)		
11) Nombre (s): JOSÉ RAMÓN LÓPEZ ARELLANO 12) R G P: RGP-DDAJ-27446 13) Domicilio: calle, número, colonia y código postal: JOSEFA ORTIZ DE DOMINGUEZ S/N CIUDAD UNIVERSITARIA C.P. 80040 Población, Estado y País: CULIACAN, SINALOEA, MEXICO 14) Teléfono (clave): 15) Fax (clave): 16) Personas Autorizadas para oír y recibir notificaciones: EDGAR ALAN ROBLES GARCÍA		
17) Denominación o Título de la Invención: COMPOSICION QUE INCLUYE SEMILLAS DE LINAZA (LINUM USITATISSIMUM L.) Y CHIA (SALVIA HISPANICA L.) EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO, REPRODUCTIVO Y PERFIL, DE ACIDOS GRASOS EN HUEVO DE CODORNIZ JAPONESA (COTURNIX COTURNIX JAPONICA)		
18) Fecha de divulgación previa Día Mes Año 20) Divisoria de la solicitud	19) Clasificación Internacional uso exclusivo del IMPI	21) Fecha de presentación Día Mes Año
22) Prioridad Reclamada: País Figura jurídica Fecha de presentación No. de serie Día Mes Año Día Mes Año	(Empty table for priority claims)	
Lista de verificación (uso interno)		
No. Hojas <input type="checkbox"/> Comprobante de pago de la tarifa <input type="checkbox"/> Descripción y reivindicación (es) de la invención <input type="checkbox"/> Dibujo (s) en su caso <input type="checkbox"/> Resumen de la descripción de la invención <input type="checkbox"/> Documento que acredite la personalidad del apoderado	No. Hojas <input type="checkbox"/> Documento de cesión de derechos <input type="checkbox"/> Constancia de depósito de material biológico <input type="checkbox"/> Documento (s) comprobatorio(s) de divulgación previa <input type="checkbox"/> Documento (s) de prioridad <input type="checkbox"/> Traducción TOTAL DE HOJAS	
Observaciones:		
Bajo protesta de decir verdad, manifiesto que los datos asentados en esta solicitud son ciertos. JOSÉ RAMÓN LÓPEZ ARELLANO CULIACAN, SINALOEA A 5 DE DICIEMBRE DE 2017 Nombre y firma del solicitante o su apoderado Lugar y fecha		

Certificación por CONCERTVET periodo 2016-2021.



**CONSEJO NACIONAL DE CERTIFICACIÓN EN MEDICINA
VETERINARIA Y ZOOTECNIA, A. C.**

otorga a

*Carlos Bell
Castro Tamayo*

el presente

CERTIFICADO

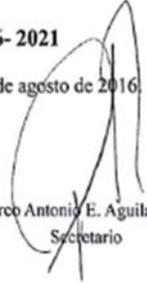
por cumplir los lineamientos de calidad en la práctica de la
Medicina Veterinaria y Zootecnia

Aves

Período 2016- 2021

Ciudad de México, a 30 de agosto de 2016.


MVZ David Avila Figueroa
Presidente


MVZ Marco Antonio E. Aguilar Ballesteros
Secretario

Scanned by CamScanner