

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
Colegio de Ciencias Agropecuarias
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Maestría en Ciencias Agropecuarias



TESIS
EFECTO DE LA PROPORCIÓN DE OMEGA-6 Y OMEGA-3 EN EL
ALIMENTO SOBRE LA RESPUESTA PRODUCTIVA Y
CARACTERÍSTICAS DEL SEMEN DE GALLOS RHODE ISLAND

Que para obtener el grado de
Maestro en Ciencias Agropecuarias

PRESENTA:
Vladimir Martínez Cruz

DIRECTOR DE TESIS:
Dr. Jesús José Portillo Loera

CO-DIRECTOR DE TESIS:
Dr. Ramón Ignacio Castillo López

Culiacán Rosales, Sinaloa, México, Abril de 2019.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
Colegio de Ciencias Agropecuarias
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Maestría en Ciencias Agropecuarias



TESIS
**EFFECTO DE LA PROPORCIÓN DE OMEGA-6 Y OMEGA-3 EN EL
ALIMENTO SOBRE LA RESPUESTA PRODUCTIVA Y
CARACTERÍSTICAS DEL SEMEN DE GALLOS RHODE ISLAND**

**Que para obtener el grado de
Maestro en Ciencias Agropecuarias**

PRESENTA:

Vladimir Martínez Cruz

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Jesús José Portillo Loera

CO-DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Ramón Ignacio Castillo López

ASESORES:

Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón

Dr. Carlos Bell Castro Tamayo

Dr. Miguel Ángel Rodríguez Gaxiola

Culiacán Rosales, Sinaloa, México, Abril 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 Vladimir Martínez Cruz, alumno del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta **0802448-0**, 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. **Ramón Ignacio Castillo López** y cede los derechos del trabajo titulado **“Efecto de la proporción de omega-6 y omega-3 en el alimento sobre la respuesta productiva y características del semen de gallos Rhode Island”**, 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

Vladimir Martínez Cruz

CORREO ELECTRÓNICO: vladimir.martinez.fmvez@uas.edu.mx
CURP: MACV860418HVZRRL05

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

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

**(SELLO DE
POSGRADO)**

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR

DR. JESÚS JOSÉ PORTILLO LOERA

CO-DIRECTOR

DR. RAMÓN IGNACIO CASTILLO LÓPEZ

ASESOR

DR. FRANCISCO GERARDO RÍOS RINCÓN

ASESOR

DR. CARLOS BELL CASTRO TAMAYO

ASESOR

DR. MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ GAXIOLA

CULIACÁN ROSALES, SINALOA, MÉXICO, ABRIL DE 2019.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Juan Miguel Martínez Martínez y María Magdalena Cruz Josefa por todo el apoyo incondicional que siempre me han manifestado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento a mis estudios de maestría en Ciencias Agropecuarias.

Al Colegio de Ciencias Agropecuarias y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría, así poder avanzar en la formación académica.

Al Dr. Jesús José Portillo Loera, por la dirección de esta tesis, sus valiosos comentarios y pertinentes observaciones de la misma, por su confianza brindada, apoyo y amistad.

Al Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón, por sus acertados comentarios y observaciones en la realización de la tesis, por su confianza brindada, apoyo y amistad brindada.

Al Dr. Carlos Bell Castro Tamayo, por sus valiosos comentarios y observaciones en el documento de tesis, por su confianza brindada, apoyo y amistad.

Al Dr. Ramón Ignacio Castillo López, por sus valiosos y pertinentes comentarios y observaciones en el documento de tesis, por su confianza mostrada, apoyo y amistad.

Al Dr. Miguel Ángel Rodríguez Gaxiola, por su apoyo invaluable en la realización del trabajo experimental, por sus comentarios y observaciones, además de su confianza mostrada.

Al Laboratorio de Reproducción de Ovinos y Caprinos de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, por el apoyo con el equipo para poder llevar a cabo la realización del trabajo de laboratorio.

A la Unidad Avícola Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, por brindarme la infraestructura para poder llevar a cabo la realización de mi trabajo experimental, además de brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

Al MC. Jaime Eleazar Borbolla Ibarra, Dra. Soila Maribel Gaxiola, M.V.Z. José Antonio Cabrera Verduzco, M.V.Z. EPAB. Isabel Quintero Osuna y Dr. Javier Alonso Romo Rubio, por su invaluable apoyo mostrado durante mi etapa de formación académica y amistad brindada.

A mis compañeros de las Unidades Académicas de Producción de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, porque de alguna forma contribuyeron en mi formación académica, además de brindarme su amistad invaluable.

A todos mis compañeros de generación de maestría 2015-2017 por su invaluable amistad, en gran parte contribuyeron a la realización de la tesis brindándome todo su apoyo, amistad y sobre todo creyeron en mí.

CONTENIDO

	ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
	ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
	RESUMEN.....	ix
	ABSTRACT.....	x
I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
	2.1. Situación de la avicultura Mexicana.....	3
	2.2. Sistemas de producción en México.....	5
	2.2.1 Avicultura intensiva.....	5
	2.2.2 Avicultura semi-intensiva.....	7
	2.2.3 Avicultura de traspatio.....	7
	2.3 Aparato reproductor del gallo.....	10
	2.4 Características del espermatozoide del gallo.....	12
	2.5 Alimentación de las aves.....	14
	2.6 Lípidos.....	14
	2.7 Ácidos grasos.....	15
	2.7.1 Ácidos grasos saturados.....	17
	2.7.2 Ácidos grasos poliinsaturados.....	18
	2.8 Fuentes de ácidos grasos poliinsaturados.....	18
	2.8.1 Aceite de pescado.....	19
	2.8.2 Aceites chía.....	19
	2.8.3 Aceite de soya.....	20
	2.8.4 Aceite de canola.....	20
	2.9 Metabolismo de los lípidos en aves.....	21
	2.10 Digestión de los lípidos en aves.....	21
	2.11 Transporte de los ácidos grasos en aves.....	22

2.12 Síntesis de ácidos grasos en aves.....	22
2.13 Almacenamiento de los ácidos grasos.....	22
2.14 Funciones específicas en la fertilidad.....	23
III HIPÓTESIS.....	25
IV OBJETIVO.....	26
V MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
5.1 Lugar de trabajo.....	27
5.2 Instalaciones y equipo.....	27
5.3 Adaptación y manejo de los gallos.....	28
5.4 Perfil de ácidos grasos de los aceites.....	28
5.5 Dietas experimentales y tratamientos	29
5.6 Colección del semen	32
5.7 Evaluación del semen.....	32
5.8 Viabilidad espermática.....	32
5.9 Análisis estadístico.....	33
VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
6.1 Respuesta productiva.....	34
6.2 Características del semen.....	38
VII CONCLUSIONES.....	40
VIII LITERATURA CITADA.....	41

ÍNDICE DE CUADROS

	TÍTULO	PÁG
1	Categorías y ejemplos de los lípidos de tejidos biológicos.	17
2	Composición de las dietas experimentales.	29
3	Composición nutricional calculada de las dietas.	30
4	Perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales (como % del total de lípidos).	31
5	Efecto de las proporciones de ácidos grasos n-6:n-3 en las características del semen de gallos Rhode Island.	39

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG	TÍTULO	PÁG
1	Estados productores de carne de pollo.....	4
2	Estados productores de huevo.....	4
3	Producción de huevo en el sistema tecnificado.....	6
4	Producción de huevo en el sistema semi-tecnificado.....	8
5	Sistema rural de la avicultura mexicana.....	10
6	Aparato reproductor del gallo.....	11
7	Conducto deferente de gallo	12
8	Espermatozoides de gallo observado en microscopio de campo claro Universidad de Murcia.....	13
9	Espermatozoides de gallo observado en microscopio de campo claro Universidad de Murcia.....	13
10	Temperatura ambiente y humedad relativa en la caseta tipo convencional donde se alojaron los gallos.....	34
11	Efecto de la proporción de ácidos grasos n-6:n-3 en el alimento sobre el consumo de alimento de gallos Rhode Island.....	35

FIG	TÍTULO	PÁG
12	Efecto de la proporción de ácidos grasos n-6:n-3 en el alimento sobre el consumo de agua de gallos Rhode Island...	36
13	Efecto de la proporción de ácidos grasos omega-6 y omega-3 en la razón de agua / alimento ingerida por gallos Rhode Island.....	37
14	Efecto de la proporción de ácidos grasos omega-6 y omega-3 en el alimento sobre el peso corporal de gallos Rhode Island.....	38

RESUMEN

EFFECTO DE LA PROPORCIÓN DE OMEGA-6 Y OMEGA-3 EN EL ALIMENTO SOBRE LA RESPUESTA PRODUCTIVA Y CARACTERÍSTICAS DEL SEMEN DE GALLOS RHODE ISLAND

Vladimir Martínez Cruz

Para determinar el efecto de la proporción de omega-6 (n-6) y omega-3 (n-3), al utilizar mezclas de aceite de soya, chía o canola como fuente de Ácidos Grasos Esenciales (AGE [n-6, n-3]) en la dieta, sobre el desempeño productivo y características del semen, se utilizaron 16 gallos Rhode Island (2.91 ± 0.04 kg/PV) de veinte semanas de edad, durante 370 días, los cuales fueron alojados en jaulas metálicas individuales; se formularon dos dietas a base de maíz, sorgo y pasta de soya, en las que la inclusión de los aceites fue en función de los resultados del perfil de AGEs para cumplir con las proporciones de n-6:n-3 en las que consistieron los tratamientos: 1) Testigo (12.6:1), 2) Experimental (5.5:1). Cada gallo se asignó al azar a uno de los tratamientos. Se midió el consumo de alimento y agua diariamente y el peso corporal cada semana. Al final del periodo se realizaron tres colecciones seminales de cada gallo (una cada tercer día) adaptando la técnica de masaje abdominal, para el análisis de características del semen, mediante la grabación de un archivo en video se realizó el conteo de espermatozoides móviles e inmóviles de cinco campos (4 laterales y 1 central) de la imagen en video, para el cálculo del porcentaje motilidad espermática. La viabilidad espermática se midió utilizando frotis de eosina-nigrosina bajo microscopio de contraste de fases. Los resultados se analizaron con la prueba t student y análisis de la varianza ($p \leq 0.05$). Los gallos con la dieta testigo consumieron 6.50 g más alimento y 8.4 mL más agua ($p < 0.03$) que la experimental; y la relación de consumo de agua por gramo de alimento consumido fue 0.05 mayor en la dieta testigo ($p < 0.01$). El peso corporal fue similar ($p \geq 0.33$) entre tratamientos (3024 g). La motilidad espermática fue similar ($p \geq 0.50$) entre tratamientos (62.7 vs 65.2%). Se concluye que la proporción de AGPI n-6:n-3 (5.47:1) reduce el consumo de alimento y agua, sin afectar el peso corporal y la motilidad espermática.

Palabras clave: omega-3; proporción n-6/n-3; semen; motilidad espermática.

ABSTRACT

EFFECT OF OMEGA-6 AND OMEGA-3 PROPORTION IN FEED ON PRODUCTIVE RESPONSE AND SEMEN CHARACTERISTICS OF RHODE ISLAND ROOSTERS

Vladimir Martinez Cruz

To determine the effect of omega-6 (n-6) and omega-3 (n-3) proportion, using mixtures of soy, chia or canola oil as a source of Essential Fatty Acids (EFA [n-6, n-3]) in feed, on productive performance and semen characteristics, 16 Rhode Island (2.91 ± 0.04 kg / PV) roosters, twenty weeks of age, that were housed in individual metal cages, during 370 days were used. Two diets based on corn, sorghum and soybean paste were formulated; the inclusion of the oils was carried out in function with the EFA profile results to meet n-6: n-3 proportions. Treatments consisted: 1) control (12.6: 1) and 2) Experimental (5.5: 1). Each rooster was randomly assigned to one of two treatments. Feed and water intake were recorded daily and body weight was measured once a week. At the end of the experimental period three seminal collections from each rooster were made (one every third day) utilizing the abdominal massage technique, semen characteristics analysis was done via video file recording, mobile and immobile sperm count was performed in five fields (4 lateral and 1 central) of the video, in order to calculate sperm motility percentage. Sperm viability was measured using eosin-nigrosin under a phase contrast microscope. Results were analyzed with the student t-test and variance analysis ($p \leq 0.05$). Roosters in control (1) diet consumed 6.50 g more feed and 8.4 mL more water ($p < 0.03$) than the experimental (2) diet; water consumption rate per gram of feed consumed was 0.05 also higher in the control diet (1) ($p < 0.01$). Body weight was similar ($p \geq 0.33$) between treatments (3024 g). Sperm motility was similar ($p \geq 0.50$) between treatments (62.7 vs 65.2%). It is concluded that the proportion of PUFA n-6: n-3 (5.47: 1) reduces feed and water consumption, without affecting body weight and sperm motility.

Keys words: omega 3; proportion n-6/n-3; semen; sperm motility.

I. INTRODUCCIÓN

Existe evidencia de que la suplementación con ácidos grasos puede mejorar la reproducción en los animales (Maldjian *et al.*, 2005; Ford y Wise, 2011). La ingesta de diferentes fuentes de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) ha demostrado que cambian la composición de ácidos grasos de los espermatozoides y así modifican las características del esperma (Waterhouse *et al.*, 2006), entre las principales fuentes de suplementación de aceites AGPI omega-3 son de origen marino como el salmón (Valenzuela, 2005), atún, anchoa, sardina o jurel, y algunos mariscos, como el ostión y el mejillón (Simopoulos, 2010; Valenzuela *et al.*, 2011). El lugar y época de captura producen cambios en el contenido de AGPI omega-3 del aceite aún cuando sea el mismo pescado, Así también influyen las condiciones de conservación del pescado después de la captura y el posterior proceso industrial determinan el contenido final en el aceite (Aro *et al.*, 2000; Simopoulos, 2010).

Otra fuente de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) se encuentran principalmente en las semillas de linaza y el de chía que contienen aceites con niveles altos de α -linolénico (ALA C18:3 n-3), además de cantidades significativas de ácido linoleico (LA C18:2 n-6) (Giménez *et al.*, 2013).

Otra fuente de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) se encuentran principalmente las semillas de maíz que contienen aceites con niveles altos de ácido linoleico (18:2 n-6), además de pequeñas cantidades de 18:3 n-3 ácido linolénico, 20:5 n-3 eicosapentaenoico y 22:6 n-3 docosahexaenoico (Yan *et al.*, 2013).

Sin embargo, los espermatozoides de gallo son únicos en su estructura y composición química, la característica más importante de la composición de lípidos del semen aviar es el contener altas proporciones de AGPI en la fracción de fosfolípidos, estos se caracterizan por proporciones muy altas de ácidos grasos poliinsaturados principalmente docosatetraenoico (22:4n-6) y araquidónico (20:4n-6) (Cerolini *et al.*, 2003; Maldjian *et al.*, 2005). Mientras que en las especies como primates, toros y carneros se encuentran proporciones muy altas de ácidos grasos poliinsaturados principalmente docosahexaenoico (DHA) 22:6 n-3 (Gadella *et al.*, 2008). Y en conejos principalmente eicosapentanoico (DPA) 22:5n-6, en la composición de lípidos en el espermatozoide (Gliozzi *et al.*, 2009).

Cuando se alimentaron a machos de codorniz japonesa (Al-Daraji *et al.*, 2010), ratas (Yan *et al.*, 2013), jabalíes (Yan *et al.*, 2016) y trucha arcoíris (Köprücü *et al.*, 2015), con fuentes de AGPI en proporciones de n-6-n-3 más estrechas, se observó mejora en las características espermáticas, como la motilidad. En gallos Khatibjoo *et al.*, (2011) observaron respuestas positivas al incrementarse la motilidad espermática, reducción en el tipo de espermatozoides lentos y estáticos. 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 y Cleland, 2003). Sin embargo, se ha hecho muy poca investigación para estudiar los efectos de las diferentes proporciones de AGPI n-6: n-3 en las dietas en la característica del semen.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Situación de la avicultura Mexicana

La Industria avícola (producción de huevo, pollo y pavo) en México representa el sector de producción de alimentos más importante; durante el 2017 aportó el 0.737% en el PIB total, el 23.18% en el PIB agropecuario y el 37.22% en el PIB pecuario; es importante mencionar que la parvada Nacional disminuyó en 0.67% durante el 2017 respecto al año anterior, cerrando en 523 millones de aves, quedando conformada por 156.77 millones de gallinas ponedoras, 303 millones de pollos al ciclo y 605 mil pavos al ciclo (UNA, 2018).

En México durante el 2017 se produjeron casi 3.5 millones de toneladas de carne de pollo, lo que significa un crecimiento de 145% el periodo 1994 a 2017, el crecimiento anual ha aumentado a un ritmo del 4%; entre las entidades con mayor producción durante este mismo año son (Figura 1). Las importaciones también, se han incrementado ya que se importaron 15 000 toneladas más que en 2016, para un total de 517 000 toneladas, esto quiere decir que las importaciones tuvieron una participación de 13.3% en el consumo nacional (UNA, 2018).

La producción de huevo en México fue superior a 2.7 millones de toneladas al cierre de 2017, esto refleja un decremento de 1.7% respecto al 2016. Sin embargo, el crecimiento en la producción en el lapso de 1994 a 2017 fue de 86%, y a un ritmo anual de 2.7%; actualmente los estados productores en el país son (figura 2), ubicándolo como el cuarto productor a nivel mundial, seguido de países como China, Estados Unidos de América, e India (FAO, 2019). El consumo per-cápita de México en el año 2017 fue de 22.7 kg, seguido de Rusia con 18.44 kg, Colombia con 16.38 kg, Argentina con 15.56 Kg y Nueva Zelanda con 14.69 Kg. Y por lo que se refiere al pavo el consumo per-cápita es de apenas 0.8 kg (UNA, 2018).

Se pronostica que para finales del año 2018, el consumo per-cápita de pollo sea de 28.42 kg, mientras que el aparente llegue a 32.88 kg y para el huevo se estima un consumo per-cápita de 22.96 kg y el aparente de 23 kg, además generará 1 277 000 empleos, los cuales 83.32% corresponden a empleos indirectos y 16.68% empleos directos; cabe mencionar que el 60% los genera el pollo de engorda, el 38% la producción de huevo y solo un 2% la de pavo (UNA, 2018).

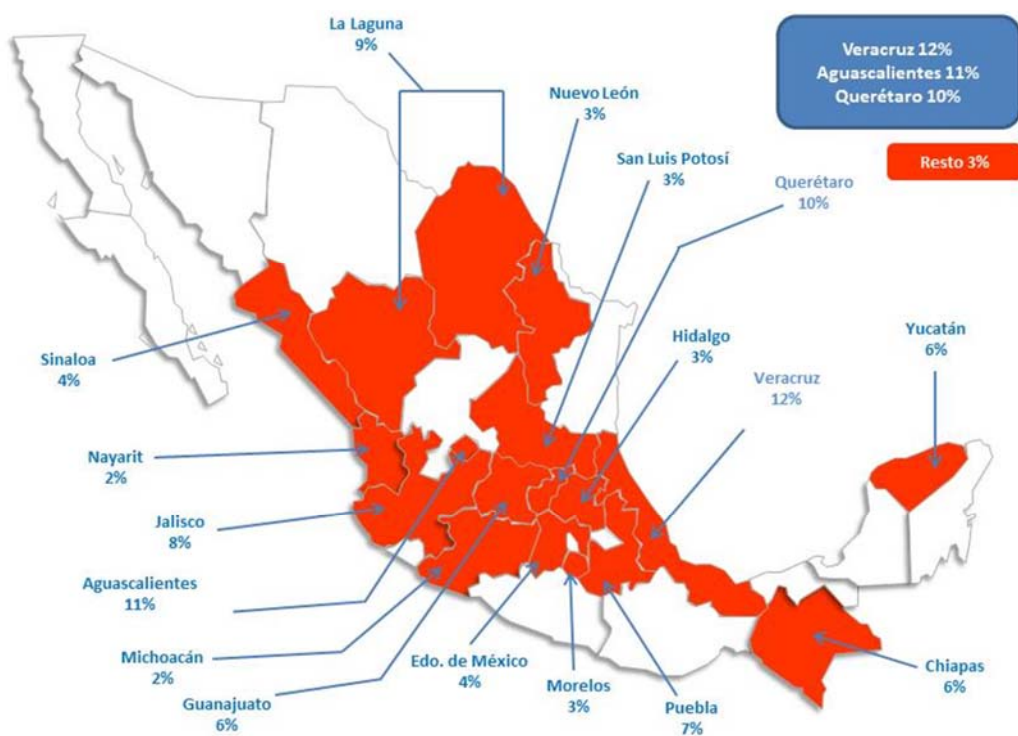


Figura 1. Estados productores de carne de pollo.

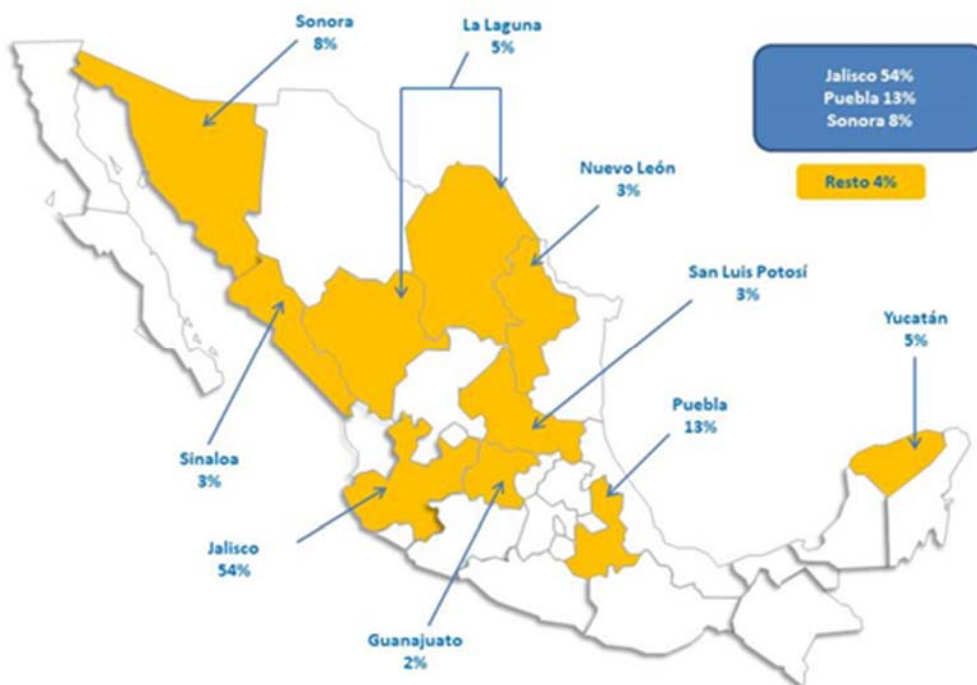


Figura 2. Estados productores de huevo.

2.2. Sistemas de producción en México.

La avicultura comprende la cría de varias especies de aves, como las gallinas (*Gallus gallus domesticus* L.), gansos (*Anser anser*), pavos (*Meleagris gallipavo*), patos (*Carina moschata*) y codornices (*Coturnix coturnix*), entre otras especies (Merino *et al.*, 2009). La secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), señala que existen básicamente tres sistemas de producción avícola en el país, diferenciándose con base al nivel tecnológico que cuenten en su infraestructura: tecnificado, semi-tecnificado y de traspatio (SAGARPA, 2017; FAO, 2019).

2.2.1 Avicultura intensiva

El sistema tecnificado utiliza los la tecnologías disponibles a nivel mundial (Figura 3), además está adaptada a las necesidades de su producción y a las condiciones de exigencia del mercado Mexicano (Merino *et al.*, 2009). Utilizando materiales y equipo junto con una mayor mecanización y automatización. Un ejemplo claro es el paso de la ventilación natural a la ventilación mecanizada y automatizada por medio de equipo industrial (SAGARPA; 2017; FAO, 2019).

En este sistema se encuentran las grandes empresas avícolas, que muestran una integración vertical, al iniciar su proceso productivo con la explotación de aves progenitoras y terminan con la industrialización de la carne y/o huevo, obteniendo de esta manera productos procesados que se destinan al consumo directo en los principales centros urbanos (Merino *et al.*, 2009; FAO, 2019). Entre las principales líneas genéticas de aves productoras de huevo para plato con mayor presencia son Bovans 61%, Hy Line 23%, Lohman 12%, Hy Sex Brown 3% e Isa Brown 1%, es importante mencionar que el 96% de la producción nacional corresponde a huevo blanco y solo el 4% corresponde a huevo marrón, mientras que para pollo las líneas genéticas predominantes son Ross 76%, Cobb 19% y Hubbard 5%, mientras que la producción de pavo la principal línea genética es de Nicholas 700 con 100% de la producción nacional (UNA, 2017).



Figura 3. Producción de huevo en el sistema tecnificado.

Estas empresas avícolas ante un mercado nacional e internacional globalizado, cada vez más exigente, buscan medidas de sanidad que faciliten los intercambios comerciales de animales y sus productos, de este modo, La OIE es la organización de referencia de la OMC en materia de normas de sanidad animal y zoonosis. Así también por medio de CODEX Alimentarius, de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en coordinación con la OIE, se establecen normas alimentarias de referencia, las cuales se encuentran enfocadas a sistema de calidad e inocuidad, para garantizar que los productos avícolas y alimento de valor agregado, no causen daño a la salud del consumidor (UNA, 2017).

Debido a la exigencia de los consumidores nacionales e internacionales, obligan a contar con más productos certificados, inspeccionados y verificados por personal oficial o acreditado para ello, Actualmente varias empresas avícolas ya cuentan con programas internos que abarcan desde las unidades de producción, transporte, establecimientos tipo inspección federal, al implementar, verificar y certificar buenas

prácticas de producción, aplicación de sistemas de análisis de peligro y puntos críticos de control (HACCP), normas de calidad, sistemas de trazabilidad, etc. Los cuales deben estar avalados por los servicios veterinarios oficiales, apoyados por organismos de certificación acreditado y aprobado (UNA, 2017). El sistema de producción altamente tecnificados está ubicado en casi todo el territorio nacional; y aportan aproximadamente el 70% de la carne de pollo que se produce en México (Merino *et al.*, 2009).

2.2.2 La avicultura semi-intensiva

Se localiza prácticamente en varios estados del país, además cuenta con cierta tecnificación en su infraestructura, por ello tiene menores niveles de productividad, aunque la calidad de sus productos es similar al sistema tecnificado (Merino *et al.*, 2009).

Las líneas genéticas con que cuenta este sistema de producción son las mismas del sistema tecnificado, aunque tienen cierta dificultad para adquirir los pollitos (UNA, 2017; FAO, 2019). Así también presentan deficiencias sobre el control sanitario, comercialización y alimentación; generalmente tienen altos costos operativos debido a los constantes cambios en los precios de insumos, esto ha provocado que su producción la oriente hacia mercados regionales, o bien, se asocien con empresas tecnificadas. Los sistemas semi-tecnificado aportan 20% de la producción nacional del país (Merino *et al.*, 2009).



Figura 4. Producción de huevo en el sistema semi-tecnificado

2.2.3 Avicultura de traspatio

La avicultura de traspatio se practica ampliamente en países en vías de desarrollo, así como por millones de personas pobres, ya que proporciona proteína de origen animal accesibles a los subalimentados, mejorar la salud pública, además de promover la equidad de género, dado que las aves de corral son a menudo el dominio de las mujeres, debido, entre otras razones: La producción avícola familiar requiere poca inversión inicial y genera rendimientos rápidos y frecuentes, no suele entrar en conflicto con las demás tareas domésticas, en lugares donde las creencias religiosas o las normas sociales exigen que permanezcan en sus hogares, recintos o aldeas, constituye una actividad conveniente para generar ingresos, así promover el empoderamiento de las mujeres (FAO, 2019). Es una actividad de producción no especializada, que consecuentemente sus prácticas de manejo son producto del autoaprendizaje o aprendizaje heredado o colectivo (Segura *et al.* 2007).

En este sistema de crianza no se cuenta con infraestructura adecuada, las instalaciones son rústicas construidos con materiales locales como madera, ladrillos de adobe, bambú (Gutiérrez *et al.*, 2007; FAO, 2019). Los techos son de láminas de cartón, zinc, bolsas de alimento, plástico etc. Los pisos son principalmente de tierra,

en ocasiones de cemento; las paredes del gallinero básicamente son de malla de alambre o madera. Como bebederos se utilizan recipientes de plástico, ollas de desecho, pilas de cemento y como comederos se utilizan principalmente recipientes de plástico y ollas de desecho (Gutiérrez *et al.*, 2007).

La alimentación de las aves se proporciona principalmente alimento comercial en combinación con maíz, desperdicios de tortilla y otros productos como desperdicio de pan, hierbas, pozole, salvadillo, sobras de mesa, masa (Gutiérrez *et al.*, 2007). Generalmente en el día pastorean libremente en el traspatio, consumiendo hierbas, insectos, larvas (Centeno *et al.*, 2007). Sin embargo, no satisfacen sus requerimientos nutricionales ocasionando un lento crecimiento y retraso en la madurez sexual (Gutiérrez *et al.*, 2007). Existen gran variedad de híbridos, resultado de diversas cruzas entre razas americanas, europeas y criollas, de las que se pueden distinguir: Rhode Island, Plymouth Rock, New Hampshire, Leghorn, Conchinchina, Transilvania, Coquenas o japonesas entre otras (Camacho-Escobar *et al.*, 2006).

En cuanto manejo sanitario, control de enfermedades los principales signos identificados en las parvadas son tos, estornudo, cianosis ligera en crestas y barbillas, irritación, lagrimeo ocular y diarrea de color amarillo. En la mayoría de los casos son tratadas con antibióticos de uso humano como la ampicilina, sulfas, oxitetraciclina, analgésicos como el paracetamol y el ácido acetilsalicílico, desenfrioles, naproxeno, ácido ascórbico, e incluso otros menos ortodoxos como blanqueadores para ropa (cloro), bicarbonato, jitomate, limón, manteca, vitaminas y “casahuite,” hierba nativa del monte. Este tipo de tratamientos generalmente son recomendados por los familiares y/o vecinos, y suelen ser los más usados ya que muy pocas familias solicitaron asesoría del Médico veterinario Zootecnista. La mayoría de las familias desconoce un adecuado calendario de vacunación siendo la vacuna contra viruela aviar y Newcastle las que se aplican únicamente (Centeno *et al.*, 2007).

Los indicadores productivos de las aves en los sistemas de traspatio generalmente son bajos que en los sistemas intensivos, debido a los cuidados mínimos a que las aves han sido sometidas (Segura *et al.* 2007); aunado a una deficiente infraestructura de comercialización, que frena su expansión comercial, ya que las gallinas y los huevos se transportan generalmente en bicicletas, motocicletas,

caballos o incluso a pie, los huevos se envasan en hojas de plátano o aserrín, y las gallinas se colocan en canastas, dadas estas rudimentarias condiciones de transporte, las aves de corral pueden llegar al mercado con algunas lesiones físicas (FAO,2019).



Figura 5. Sistema rural de la avicultura mexicana.

2.3 Aparato reproductor del gallo.

El sistema reproductor del gallo (figura 6) está constituido por: dos testículos, dos epidídimos, dos conductos deferentes y el órgano copulador (Sauveur, 1992).

Los testículos son órganos sexuales primarios que tienen como funciones principales la producción de espermatozoides (función exocrina) y la producción de hormonas esteroides (función endócrina). Ambas funciones son reguladas por el eje Hipotálamo-Hipófisis-Gónada (Páramo, 2010). Son internos, están situados en la base de los pulmones y cerca del extremo cefálico de los riñones, suspendidos de la pared dorsal de la cavidad abdominal por el ligamento llamado mesorquio, cerca de la aorta

y vena cava. Están envueltos por dos capas: La túnica vaginal que es delgada y transparente, la túnica albugínea que es de color blanca (Sauveur y Reviere, 1992; Sturkie, 1968 y Etches, 1996), el epidídimo es una estructura adyacente al testículo (Páramo, 2010), aquí se adquiere simultáneamente la motilidad y capacidad fecundante del espermatozoide (Etches, 1996), el conducto deferente tránsito de los espermatozoides de aproximadamente de uno a cuatro días, es el lugar de maduración y almacenamiento de los espermatozoides. (Etches, 1996, Sauveur y Reviere, 1992) y el órgano copulador es un conjunto de repliegues redondeados y linfáticos de la cloaca, el falo y los cuerpos vasculares para cloacales. Estos últimos son cuerpos ovoides con una longitud aproximada de 1 cm y un diámetro de 5 a 6 micras incrustados en la pared de la cloaca, cerca de las vesículas espermáticas. En el momento de la erección los pliegues redondos de la cloaca se hinchan: forman entonces una ligera protuberancia hacia el exterior de la cloaca y constituyen un pequeño canal por donde se evacua el espermato. El falo es muy desarrollado de aproximadamente 12-15 cm en erección (Sauveur y Reviere, 1992).

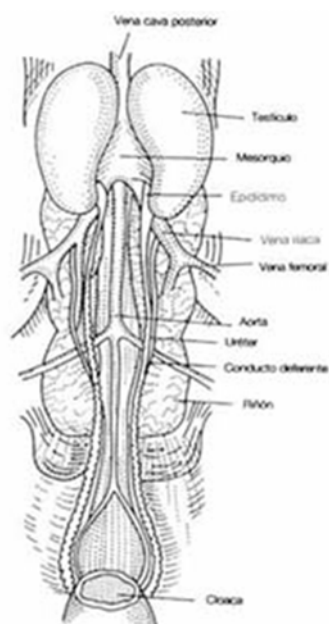


Figura 6. Aparato reproductor del gallo

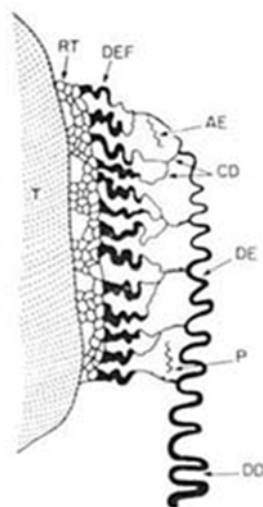


Figura 7. Conducto deferente de gallo

Los tubos seminíferos del testículo (T) se interconectan en la rete testis (RT), la cual a su vez está conectada por medio de finos canalillos al canal epididimario, que se prolonga por el conducto deferente (DD) (Etches, 1996).

2.4 Características del espermatozoide del gallo

El espermatozoide del gallo tiene aspecto filiforme de los núcleos (0.5 x 12.5 micras), ligeramente helicoidales, cuenta con reducido tamaño del acrosoma diámetro de la base 0.5 micras; longitud de 2.5 micras, además de la presencia de un “perforatorium” (longitud de 1.3 micras) claramente diferenciado y una estructura simplificada de la pieza intermedia y del flagelo (Figura 5). En las aves una envoltura amorfa reemplaza las columnas estriadas y las fibras periféricas densas asociadas, en el caso de los mamíferos, a los nueve pares de fibrillas del flagelo. Además, la pieza intermedia del espermatozoide del gallo (con una longitud de cuatro a cinco micras) contiene pocas mitocondrias alrededor de 30 y un flagelo de 90 micras de longitud (Sauveur y Reviers, 1992). Los espermatozoides de gallo son únicos en su estructura y composición química, la característica más importante de la composición de lípidos del semen aviar es el contener altas proporciones de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) en la fracción de fosfolípidos, estos se caracterizan por proporciones muy altas

de ácidos grasos poliinsaturados principalmente docosatetraenoico (22:4n-6) y araquidónico (20:4n-6) (Cerolini *et al.*, 2002; Maldjian *et al.*, 2005).

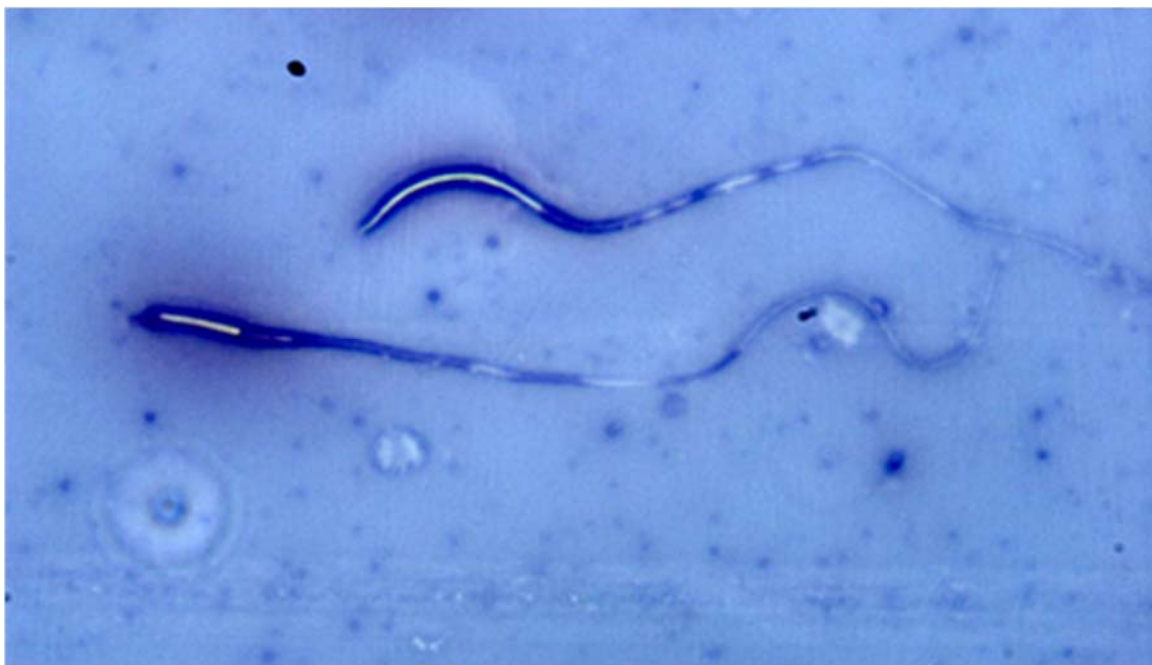


Figura 8. Espermatozoides de gallo observado en microscopio de campo claro Universidad de Murcia.

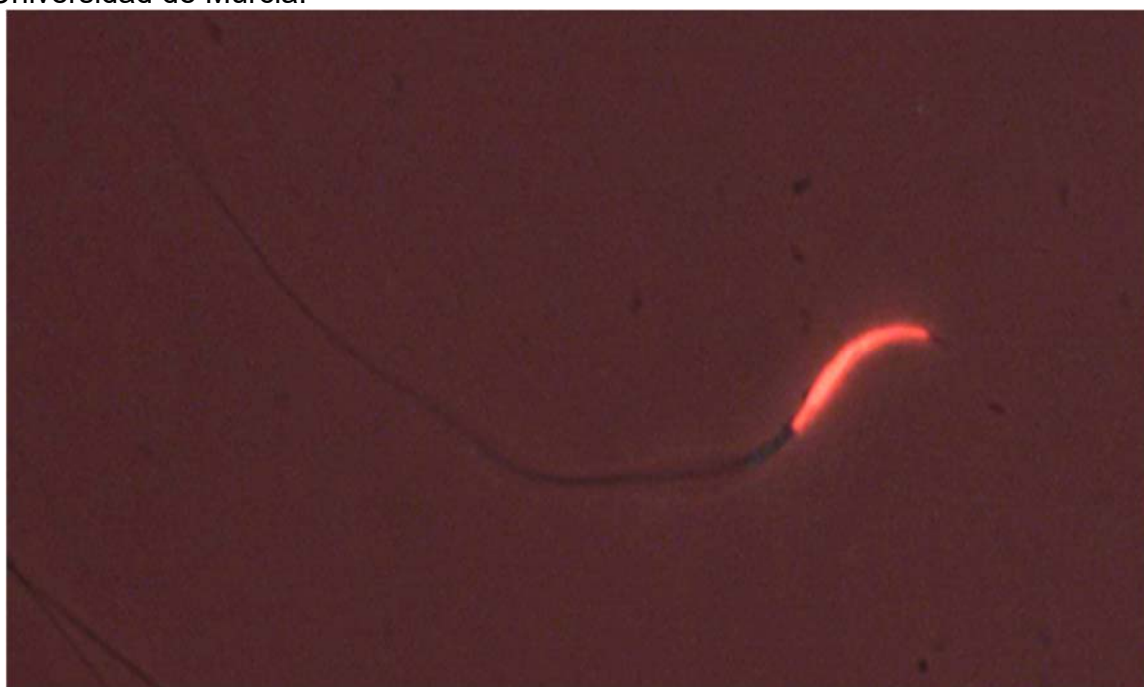


Figura 9. Espermatozoide de gallo observado en microscopio de campo claro Universidad de Murcia.

2.5 Alimentación de las aves.

Los alimentos preparados comprenden los siguientes nutrientes: Ingredientes energéticos como los granos de sorgo (*Sorghum bicolor*), maíz (*Zea Mays*), trigo que proporcionan carbohidratos, los cuales aportan la energía necesaria para la síntesis de proteína durante la formación de las masas musculares, ingredientes proteicos como la soya (*Glycine max*), es uno de los nutrientes más importantes, en forma particular para los animales jóvenes que crecen rápidamente, ya que son fuentes de aminoácidos para la síntesis de proteína (Church *et al.*, 2004; Akhlaghi *et al.*, 2014).

Aminoácidos sintéticos como la metionina, lisina y treonina, que permite cubrir las necesidades de pollo, así como minerales esenciales como sal común (sodio), calcio, fósforo, potasio, y magnesio estos se necesitan en grandes cantidades en el organismo animal, y otros en menores cantidades como el magnesio, hierro, cobre, zinc, yodo y selenio, estos suelen suministrarse en forma de premezcla (Church *et al.*, 2004).

premezcla vitamínicas son compuestos orgánicos indispensables para el mantenimiento y una buena salud del ave; así como aditivos para mejorar la textura, evitar pérdidas de nutrientes, e impedir la formación de compuestos tóxicos y aceites vegetales, estas son una fuente de ácidos grasos esenciales como el ácido linolénico y sirve como vehículo para la absorción de vitaminas liposolubles, xantofilas, además confiere al alimento un olor y textura agradable, además de reducir la polvosidad del alimento (Church *et al.*, 2004)

2.6 Lípidos

Los lípidos son biomoléculas donde predominan las cadenas hidrocarbonadas (-CH₂-CH₂-CH₂-) en su estructura, presentado por eso naturaleza hidrofílica o anfipática, lo que los hace insolubles o muy poco solubles en agua, y solubles en solventes no polares como éter, cloroformo o benceno (Wood, 1999; McKeegan y Sturmey 2011). Sirven como compuestos de almacenamiento, metabolismo celular, señalización moléculas, y varias funciones relacionadas con la membrana tales como tráfico, regulación de proteínas y como componente estructural de membranas celulares (McKeegan y Sturmey 2011). Sin embargo, esta definición ha dejado de ser la más adecuada, por lo que en 2005 se propuso una nueva definición y un sistema de

clasificación de los lípidos mucho más exhaustivo, esta definición parte de una base química y lo define como pequeñas moléculas hidrófobas o anfipáticas (o anfifílicas) que pueden originarse completamente o parcialmente a través de condensaciones de tioésteres o unidades de isopreno. Este sistema de clasificación permite catalogar a los lípidos de tejidos biológicos y sus propiedades en ocho categorías diferentes tal y como se puede apreciar en el cuadro 1. Cada categoría presenta a su vez distintos tipos y subtipos de moléculas (Fahy *et al.*, 2005).

2.7 Ácidos grasos.

Son moléculas de átomos de carbono de longitud variable con un grupo carboxílico (COOH) en un extremo y un grupo metilo (CH₃) en otro extremo (Ratnayake y Galli, 2009; Gill y Valivety, 1997). Funcionan como componentes estructurales de las membranas, y para anclar proteínas a las membranas, son precursores de síntesis de prostaglandinas; También se almacenan intracelularmente como triacilglicéridos en las gotitas de lípidos, lo que proporciona una potente fuente de energía (McKeegan y Sturme y 2011).

Las características físicas y químicas de los ácidos grasos (por ejemplo, su punto de fusión, solubilidad en agua) y también sus propiedades nutricionales (contenido energético, digestibilidad, efectos metabólicos) dependen del número de carbonos que forman la molécula; del número de dobles enlaces que esta posea, la posición que ocupen los dobles enlaces en la cadena y de la isomería que estos presentan (isomería cis o trans) (Lehninger, 1990).

Existe gran número de sistemas de nomenclatura para los ácidos grasos, algunos no proporcionan información suficiente sobre su estructura química. Por ello, se sigue una nomenclatura sistemática recomendada por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada que nombra a los ácidos solamente sobre la base del número de átomos de carbono, el número y posición de los dobles enlaces relacionados con el grupo carboxilo (IUPAC, 1978).

También se identifican la configuración de dobles enlaces, la posición de cadenas ramificadas y los heteroátomos, entre otros rasgos estructurales, el átomo de carbono del grupo carboxilo aparece en primer lugar y los carbonos de la cadena del

ácido graso se enumeran partiendo del mismo. Convencionalmente, se identifica un enlace específico de una cadena por el número más bajo de los dos carbonos que enlaza. Los dobles enlaces se etiquetan con Z o E según corresponda, si bien suelen sustituirse estas etiquetas por los términos *cis* y *trans*, respectivamente. Por ejemplo, el nombre sistemático del ácido linoleico (LA) es «Z-9, Z-12-ácido octadecadienoico» o «cis-9, cis-12-ácido octadecadienoico» (IUPAC-UB, 1978).

Pero todas ellas adoptan la forma C:D, en la que la C representa el número de átomos de carbono y la del número de dobles enlaces en la cadena de carbono, a menudo se usa el llamado sistema de notación n-x para los ácidos grasos insaturados *cis* naturales, que hace referencia a la posición del doble enlace del ácido graso que se encuentra más cercano al extremo metilo de la molécula. Este sistema sólo se puede aplicar a los ácidos grasos insaturados *cis* y a los ácidos grasos poliinsaturados *cis* cuyos dobles enlaces estén separados por un metileno. El LA, que tiene su segundo doble enlace en el sexto carbono si partimos del extremo metilo, suele abreviarse como 18:2n-6. Al sistema n-x se le conoce también como sistema omega, por lo que es frecuente el uso de los términos omega-3 y omega-6 (IUPAC-UB, 1978).

Otro sistema es el llamado sistema delta (Δ), esta clasificación se basa en el número de átomos de carbono interpuestos entre el átomo de carbono del grupo carboxilo y el doble enlace más cercano al grupo carboxilo. Este sistema especifica la posición de todos los dobles enlaces, así como su configuración *cis/trans*. Es aplicable a un gran número de ácidos grasos, no lo es en otros casos: ácidos grasos con cadenas ramificadas, heteroátomos, triples enlaces y otros ácidos grasos con rasgos estructurales poco comunes. Según el sistema delta, la notación abreviada para el LA es «cis- Δ 9, cis- Δ 12-18:2» (IUPAC-IUB, 1976).

Cuadro 1. Categorías y ejemplos de los lípidos de tejidos biológicos

Categoría	Abreviación	Ejemplo
Ácidos grasos	AG	Ácido oleico
Glicerolípidos	GL	Triglicérido
Glicerofosfolípidos	GP	Fotidilcolina
Esfingolípidos	SP	Esfingosina
Esteroles	ST	Colesterol
Isoprenoides	SL	Farnesol
Glucolípidos	SL	UDP-3-0-(3hidroxitetradecanoil)-N-acetilglucosamina
Policétidos	PK	Aflatoxina

2.7.1 Ácidos grasos saturados.

Estos ácidos presentan fórmula general R-COOH, se clasifican en cuatro subgrupos según la longitud de su cadena: ácidos grasos de cadena corta, ácidos grasos de cadena media, ácidos grasos de cadena larga o muy larga (FAO,2010). Son incorporados por síntesis endógena como de la alimentación, los predominantes en la dieta son el láurico (C12:0), el mirístico (C14:0), el palmítico (C16:0), el esteárico [C18:0] (Hulshof *et al.*, 1999). Su ingesta está asociada particularmente aumento de las concentraciones de colesterol total, colesterol LDL, colesterol HDL, y cociente colesterol total: colesterol HDL, considerado como un buen indicador de riesgo de enfermedad cardíaca coronaria (Mensink *et al.*, 2003).

2.7.2 Ácidos grasos poliinsaturados.

Los ácidos grasos esenciales son precursores de los ácidos grasos altamente insaturados o poliinsaturados (Deckelbaum *et al.*, 2006). Su estructura química se determina de acuerdo a la familia a la que pertenecen los ácidos grasos de origen, los n-6 derivan del ácido graso poliinsaturado linoleico (LA) o ácido graso omega 6 y los n-3 derivan del ácido graso poliinsaturado alfa linoleico (ALA) o ácido graso omega n-3 (Leaf *et al.*, 2003; Carrero *et al.*, 2005). Estos son precursores de otros AGPI como el ácido araquidónico, el ácido eicosapentaenoico (EPA), y el ácido docosahexaenoico (DHA), los cuales están asociados con la prevención de enfermedades cardiovasculares, cáncer y el correcto funcionamiento cerebral (Herrera *et al.*, 2006; Coronado *et al.*, 2006).

Los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (AGPI) son ácidos grasos que contienen a partir de 14 hasta 20 o más átomos de carbono con varios dobles enlaces (Calder, 2013).

2.8 Fuentes de ácidos grasos poliinsaturados.

Las fuentes más abundantes de ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA), son los aceites de pescado (Dommels *et al.*, 2002; Kris-Etherton *et al.*, 2000; Carrero *et al.*, 2005). Otra fuente importante son los aceites vegetales se obtienen generalmente de las semillas o la capa externa de los frutos. Estos ácidos grasos pueden variar en cuanto a su contenido (Chow, 1992). Por el efecto del tipo de cultivo, región agrícola y condiciones climáticas (Linos *et al.*, 1999). Estos no contienen EPA ni DHA, pero algunos de estos aceites tienen un alto contenido de ácido α -linolénico (ALA), su precursor natural, como el caso del aceite de linaza (Barceló-Coblign y Murphy, 2009). Lo que permite una reducción de la elevada relación ácidos grasos n-6: n-3 (Poudyal *et al.*, 2011). Las fuentes alimentarias del ácido linoleico y del ácido α -linolénico son los alimentos de origen vegetal, especialmente los aceites de soya, linaza, canola, chía (Simopoulos, 2010; Jiménez *et al.*, 2013).

2.8.1 Aceite de pescado.

Entre las principales fuentes de suplementación de aceites AGPI omega-3 son de origen marino como el salmón (Valenzuela, 2005), atún, anchoa, sardina o jurel, y algunos mariscos, como el ostión y el mejillón (Simopoulos, 2010; Valenzuela *et al.*, 2011). El lugar y época de captura producen cambios en el contenido de AGPI omega-3 del aceite aún cuando sea el mismo pescado, Así también influyen las condiciones de conservación del pescado después de la captura y el posterior proceso industrial determinan el contenido final en el aceite (Aubourg *et al.*, 1996; Aro *et al.*, 2000; Simopoulos, 2010). Como resultado del consumo de fitoplancton, rico en ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) n-3, y este varía con la especie, localización, estación del año y disponibilidad de fitoplancton (Kris-Etherton *et al.*, 2000; Dommels *et al.*, 2002; Carrero *et al.*, 2005). Sin embargo, la estabilidad oxidativa de los AGPI n-3 tiene un problema por su naturaleza altamente insaturada, lo cual amenaza 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 que le confiere al alimento (Van, 1997).

Samadian *et al.* (2010) realizó perfil de ácidos grasos observó que contenía 1.4% n-6 y de 24.7% n-3 respectivamente. Mientras que Al-Daraji *et al.* (2010) Observó que contenía 1.72 % de n-6 y 21.8% de n-3 de ácidos grasos poliinsaturados

Otra fuente de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) se encuentran principalmente en las semillas de linaza y el de chía que contienen aceites con niveles altos de α -linolénico (ALA C18:3 n-3), además de cantidades significativas de ácido linoleico [LA C18:2 n-6] (Gurr *et al.*, 2002).

2.8.2 Aceite de chía.

Las semillas de chía (*Salvia hispánica*) se han reintroducido en las dietas con la finalidad de mejorar la salud humana, recomendándole por sus altos niveles de proteínas de 17 al 24 % (Ayerza y Coates, 2000; Guiotto *et al.*, 2013). Antioxidantes, fibra dietética, vitaminas y minerales (calcio, potasio, magnesio, fósforo, selenio, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, sodio y zinc), pero sobre todo a su alto contenido de aceite omega 3 en comparación con otras fuentes naturales (Guiotto *et al.*, 2013). Así

como antioxidantes como el ácido clorogénico, ácido caféico, miricetina, quercetina y kaempferol flavonoles (Mohd, 2012).

Se considera “alimento funcional” porque además de contribuir a la nutrición humana, aumenta el índice de saciedad, previene enfermedades cardiovasculares, trastornos inflamatorios y nerviosos, así como la diabetes (Muñoz *et al.*, 2012)

Investigaciones sobre la semilla de chía demuestran su alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados linoleico (C18: 2n6; 17-26%) y ácido α -linolénico (C18: 3n3; 50-57%) (Ayerza y Coates, 2000). Investigaciones recientes sobre el aceite de chía reportan su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados omega-3 ácido linolénico (54 a 67%) y ácido omega-6 linoleico (12 a 21%) (Uribe *et al.*, 2011). Estas variaciones probablemente se deben a condiciones ambientales (Ayerza y Coates, 2004). La planta de chía es considerada nativa de México y Guatemala, donde históricamente se considera como un ingrediente para la alimentación y algunas bebidas (Mohd *et al.*, 2012).

2.8.3 Aceite de soya.

El aceite de soya se caracteriza tener ácidos grasos saturados 14.34%, y ácidos grasos poliinsaturados 24.3% de ácido oleico, 54.41% de ácido linoleico y 7.3% de ácido α -linolénico (Yan *et al.* 2013). Feng *et al.* (2015). Encontró en el aceite de soya ácidos grasos saturados 16.87%, y ácidos grasos poliinsaturados 21.60% de ácido oleico, 52.58 % de γ -Linolénico y 7.65 % de ácido α -linolénico.

2.8.4 Aceite de canola.

La canola (*Brassica napus* y *Brassica rapa*) es una planta oleaginosa muy difundida en el mundo de la cual se obtiene un aceite esencial comestible de excelente calidad que contiene ácidos grasos esenciales (Morris, 2004). Se caracteriza tener ácidos grasos saturados 7%, cantidades substanciales de ácidos grasos monoinsaturados y ácidos grasos poliinsaturados 61% de ácido oleico, 21% de ácido linoleico y 11% de ácido α -linolénico (Dupont *et al.*, 1989; Johnson *et al.*, 2007). Además de alto contenido de compuestos biológicos activos, como tocoferoles,

plastocromanol-8, fitoesteroles y compuestos de fenol (Singh *et al.*, 2002; Gawrysiak *et al.*, 2015; Aleksander *et al.*, 2017).

2.9 Metabolismo de ácidos grasos en aves

Los ácidos grasos poliinsaturados se acumulan en las células testiculares a través de dos procesos distintos: la difusión pasiva a través de la bicapa lipídica y/o el transporte facilitado por la proteína mediada por la glicoproteína CD36, que se expresa ampliamente en células de Sertoli (Rato *et al.*, 2014). El testículo es un órgano extraordinario en términos de metabolismo de ácidos grasos poliinsaturados. Ya que se drena continuamente de estos ácidos grasos, ya que los espermatozoides son transportados al epidídimo (Saether *et al.*, 2007).

Los espermatozoides son tipos celulares que muestran un alto contenido de ácido docosahexaenoico (DHA), el contenido en estas células está asociado con el papel secundario en las células de Sertoli, respectivamente (Saether *et al.*, 2007). Además contienen altas cantidades de AGPI 20 y 22 de carbono n-3 y n-6. Existe una notable diferencia entre las especies en la composición de los ácidos grasos insaturados testiculares (Saether *et al.*, 2007).

2.10 Digestión de los ácidos grasos en aves

En los pollos, al igual que con todos los animales, los ácidos grasos del cuerpo se derivan de la absorción dietética, síntesis de novo y/o bioconversión (Ruxton, 2005). El ácido α -Linolénico es un precursor metabólico para la síntesis de los ácidos grasos n-3 ácido eicosapentaenoico y ácido docosahexaenoico (Burdge y Calder, 2006). En las aves no se reporta la acción de la lipasa lingual, lipasa gástrica, por lo tanto, la molleja y el intestino son los encargados de la emulsificación de los lípidos, formación de micelas y absorción de lípidos, dicha emulsificación está a cargo de los ácidos biliares y el jugo pancreático, con sus componentes más importantes: las sales biliares y la lipasa pancreática, respectivamente, además, de la fosfolipasa A2 y la colipasa secretadas también por el páncreas (Krogdahl, 1985).

2..11 Transporte de los ácidos grasos en aves

Para ser transportados los lípidos hidrolizados en la luz del intestino deben ser reesterificados, en las aves solo la mitad de los lípidos consumidos tienen este proceso dentro de las células de la mucosa intestinal; luego en las células epiteliales del intestino, se combinan TAG, fosfolípidos, colesterol, ésteres de colesterol y apolipoproteínas formando portomicrones (Griffin y Hermier, 1988).

En las aves toma el nombre de portomicrón, debido a que las lipoproteínas formadas entran en los vasos sanguíneos a través de las vesículas intracitoplasmáticas endoteliales (Fraser *et al.*, 1986) y son transportados desde las venas pancreaticoduodenal y yeyunal hasta la vena porta (Noyan *et al.*, 1964).

Los portomicrones, aunque pasan directamente a la circulación portal, no son metabolizados por el hígado debido al gran tamaño que poseen (Fraser *et al.*, 1986), por lo tanto, siguen su camino para ser parcialmente metabolizados en un tiempo entre 3-4 minutos por tejidos extrahepáticos (Griffin y Hermier, 1988).

2.12 Síntesis de ácidos grasos

Dentro del hígado el ácido linoleico (AL) y el ácido α -linolénico (ALN) son elongados y desaturados para formar AGPI-CL n-3 y n-6 en las microsomas del retículo endoplásmico de los hepatocitos. El ácido araquidónico (AA), el principal ácido graso de la familia n-6, se sintetiza a partir del AL dependientes de malonil coenzima A (CoA); La misma vía metabólica usa el ALN para producir ácido docosahexaenoico (ADH) y Ácido eicosapentanoico (AEP), principales ácidos grasos de la familia n-3 (Sprecher, 1992).

Las enzimas que realizan las desaturaciones del ácido linoleico (AL) y el ácido α -linolénico (ALN) son la $\Delta 6D$ y la $\Delta 5D$ desaturasas (De antueno, 2001), codificadas por los genes FADS1 y FADS2 (Coates, 2013).

2.13 Almacenamiento de los ácidos grasos

Los ácidos grasos se acumulan en las células testiculares a través de dos procesos distintos: la difusión pasiva a través de la bicapa lipídica y/o el transporte facilitado mediada por la glicoproteína CD36, que se expresa ampliamente en células

de Sertoli (Rato *et al.*, 2014). El testículo es un órgano extraordinario en términos de metabolismo de los ácidos grasos poliinsaturados, en contraste con otros tejidos como el cerebro, ya que continuamente se drena de estos ácidos grasos, ya que los espermatozoides son transportados al epidídimo (Saether *et al.*, 2007).

2.14 Funciones específicas en la fertilidad

Existe suficiente evidencia de que la suplementación con ácidos grasos puede mejorar la reproducción en el ser humano y también en los animales (Maldjian *et al.*, 2005; Swierstra *et al.*, 1974; Ford y Wise 2011). Sin embargo, se ha hecho muy poca investigación para estudiar los efectos de las diferentes proporciones de AGPI n-6: n-3 en las dietas antes de la madurez sexual en la característica del semen (Sancho *et al.*, 2004).

Los ácidos grasos, particularmente los de cadena larga, son nutrientes esenciales a lo largo de toda la vida, por ello en machos como hembras su deficiencia causa infertilidad (Almaida-Pagán *et al.*, 2014; Hodson *et al.*, 2008). La ingesta de diferentes tipos y fuentes (AGPI) se ha demostrado que cambian la composición de ácidos grasos de los espermatozoides y así modifican las características del espermatozoides (Waterhouse *et al.*, 2006). Sin embargo los espermatozoides de gallo son únicos en su estructura y composición química, la característica más importante de la composición de lípidos del semen aviar es el contener altas proporciones de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) en la fracción de fosfolípidos, estos se caracterizan por proporciones muy altas de ácidos grasos poliinsaturados principalmente docosahexaenoico (22: 4n-6) y araquidónico (20: 4n-6) (Maldjian *et al.*, 2005; Cerolini *et al.*, 2003; Kelso *et al.*, 1997). Mientras en la de los mamíferos se caracterizan por proporciones muy altas el ácido docosahexaenoico (DHA, 22: 6 n-3) es el ácido graso poliinsaturado dominante, aunque, en varias especies, ácido docosapentaenoico (DPA, 22: 5 n-3) es también un componente importante de las membranas celulares (Kelso *et al.*, 1997). Así, por ejemplo, machos de codorniz japonesa fueron alimentados con dietas ricas en AGPI n-6: n-3, en la proporción 0.08:1, observándose cambios en las características espermáticas: volumen, concentración, espermatozoides vivos y espermatozoides normales (Jazmín *et al.*, 2010). Otro trabajo realizado en gallos,

mostró respuestas positivas al incrementarse la motilidad espermática, porcentaje de tipo de espermatozoides medios, observándose una reducción en el tipo de espermatozoides lentos y estáticos (Khatibjoo *et al.*, 2011).

En ratas Sprague Dawley el consumo de dietas ricas AGPI n-6: n-3 en la proporción 0.66:1, durante 60 días, hay un incremento en la motilidad espermática y una menor tasa de deformación espermática (Yan *et al.*, 2013). En jabalís, la suplementación en la proporción n-6: n-3 1:1 ácidos grasos poliinsaturados, produjeron efectos benéficos al aumentar la densidad espermática, espermatozoides totales por eyaculado, y una reducción en la tasa de deformación (Yan *et al.*, 2016).

Los ácidos grasos se acumulan en las células testiculares a través de dos procesos distintos: la difusión pasiva a través de la bicapa lipídica y/o el transporte de proteínas mediado por glicoproteína CD36, que es ampliamente expresado en células de Sertoli (Rato *et al.*, 2014).

Dentro de los parámetros espermáticos, la motilidad progresiva ha sido relacionada con la incorporación de DHA en la membrana del espermatozoide, especialmente dentro del flagelo, donde aumenta la fluidez promoviendo la motilidad del espermatozoide (Towhid y Parks, 2012). Además de estas funciones estructurales, se ha propuesto que la incorporación de DHA dentro del espermatozoide podría mejorar una serie de mecanismos involucrados en la prevención de la apoptosis celular temprana, como se ha visto en cultivos *in vitro* de neuronas y fotorreceptores de la retina (Gholami *et al.*, 2010).

III. HIPÓTESIS

El consumo de ácidos grasos omega-6 y omega -3 con una proporción más estrecha mejora la respuesta productiva y mejora las características del semen en gallos Rhode Island.

IV. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto del consumo de ácidos grasos omega-6 y omega-3 en proporción estrecha sobre la respuesta productiva y motilidad espermática de gallos Rhode Island.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar el efecto del consumo de ácidos grasos omega-6 y omega-3 en proporción estrecha sobre el peso corporal, consumo de alimento y agua de gallos Rhode Island.

Determinar el efecto del consumo de ácidos grasos omega-6 y omega-3 en proporción estrecha en las características del semen de gallos Rhode Island.

V. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Lugar de Trabajo

El Trabajo experimental se desarrolló en la Unidad Avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, localizada en Culiacán, Sinaloa, México 24° 46' 13" LN y 107° 21' 14" LO); la región se caracteriza por tener clima BS1 (h') w(w)(e), el cual se caracteriza por ser un clima semiseco, muy cálido, con lluvias en verano, según Köppen y modificada por García (2004); la temperatura promedio anual de 25.9 °C, máxima de 30.4 °C de junio a 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 (CIAPAN, 2002).

5.2 Instalaciones y equipo

Se utilizó una caseta experimental de ambiente natural, con orientación de oriente a poniente, equipada con cortinas de plástico en el perímetro para mantener una temperatura, ventilación y humedad relativa ambiental adecuadas. Los gallos se alojaron en rascaderos individuales (Huacuja®; Guadalajara, Jalisco, México), de 75 cm x 75 cm x 75 cm de alambre galvanizado, con comederos y bebederos de plástico (Huacuja®; Guadalajara, Jalisco, México), de 10 cm x 10 cm x 10 cm para proporcionar alimento y agua *ad libitum* durante toda la etapa experimental.

Se registró de la temperatura y humedad relativa con un termohigrómetro digital (Avaly®; Modelo VA-EDT-1; zapopan, Jalisco, México), la cual se colocó en la parte central de la caseta.

Fueron utilizados dos básculas (Mettria®; Modelo MTN-40;) y (Rhino®; Modelo BAPRE-3; Atizapán de Zaragoza, Puebla, México), para el peso corporal y servido de alimento respectivamente.

5.3 Adaptación y manejo de los gallos

Se utilizaron 16 gallos Rhode Island con características de reproductores (Quintana, 2011). Con un peso vivo de 2.91 ± 0.04 kg, de veinte semanas de edad, posteriormente se alojaron en jaulas metálicas individuales de la Unidad Experimental, con la finalidad de adaptarlos al encierro en jaula, manejo y alimentación, antes de iniciar la etapa experimental

Previo al inicio del experimento y durante tres semanas, se alimentaron con una dieta de 18% proteína cruda, cada día se recogió el alimento sobrante para calcular el consumo de alimento diario y en el agua de bebida durante una semana, se suministró vía oral Vitamina A, D3, E, Complejo B, K, Nicotinamida y Pantotenato de Calcio (Carosen® concentrado), 1 g/20 L de agua y un reconstituyente en polvo oral que contiene bicarbonato de sodio, cloruro de potasio, cloruro de sodio, dextrosa anhidra, sulfato de Magnesio (Riverfarma®), 10 gramos en 20 L de agua.

5.4 Perfil de ácidos grasos de los aceites

El contenido de ácidos grasos se realizó mediante el método de Folch (1956), bajo la atmósfera de nitrógeno, cada muestra se procesó en triplicado y la conversión de los ácidos grasos en metil ésteres se llevó a cabo con NaOH Y BF₃ metanólico al 14 % según el método 969.33 de la Association International of Official Analytical chemists Methods of Analysis (AOAC, 2000). Los metil ésteres disueltos en hexano se analizaron en 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 fue utilizado estándares de metil ésteres de ácidos grasos de 99% de pureza (Supelco®; Lipid Standard C4-C24; EUA).

5.5 Dietas experimentales y tratamientos

Las dietas se formularon según los requerimientos nutricionales recomendados para gallo Rhode Island (NRC, 1994).

Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales.

Ingrediente	Proporción n-6:n-3	
	12.6:1 (Testigo)	5.5:1
Maíz quebrado	34.195	34.16
Sorgo quebrado	37.48	37.00
Pasta de soya	19.90	20.14
Aceite de soya	1.70	0.75
Aceite de canola	0.0	0.75
Aceite de chía	0.025	0.50
L-Treonina	0.35	0.35
DL-Metionina	0.40	0.40
L-Lisina	0.50	0.50
Sal común	0.40	0.40
Piedra caliza molida	1.70	1.70
Monofosfato dicálcico	1.80	1.80
Vitaminas pollo engorda (Vimifos®)	0.30	0.30
Minerales aves (Vimifos®)	0.05	0.05
Probiótico (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>)	0.50	0.50
Adsorbente de micotoxinas (Zeolex Extra®)	0.50	0.50
Fitasa (Quantum Blue®)	0.20	0.20
Total	100	100

Cuadro 3. Composición nutricional calculada de las dietas.

Ingrediente	Proporción n-6:n-3	
	12.6:1 (Testigo)	5.5:1
Proteína cruda, %	15.00	15.06
Materia Seca, %	86.79	87.03
Energía metabolizable, Mcal/kg	2990	3003
Fibra cruda, %	2.83	2.82
Extracto etéreo, %	2.53	2.99
Metionina, %	0.55	0.55
Triptófano, %	0.20	0.20
Calcio, %	1.00	1.00
Fósforo disponible, %	0.47	0.47
Treonina, %	0.82	0.81
Cisteína, %	0.23	0.23
Ácidos grasos saturados, %	14.30	0.52
Ácidos grasos insaturados, %	30.57	0.59
n-6	51.07	44.68
n-3	4.04	8.17
n-6:n-3	12.6:1	5.5:1

Cuadro 4. Perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales (como % del total de lípidos).

Ácido graso	Nomenclatura	Proporción n-6:n-3				P
		12.6:1(Testigo)		5.5:1		
		Media	DE	Media	DE	
Palmítico	C16:0	13.65	0.35	12.19	0.60	0.02
Estearico	C18:0	0.11	0.01	-	-	-
Oleico	C18:1, cis-9	30.45	0.65	34.25	0.59	0.002
Linoleico	C18:2, cis-9,1	50.66	0.40	44.51	0.14	0.0001
Linolénico	C18:3, cis-9,1	4.04	0.27	8.17	0.21	0.0001
Araquidónico	C20:0	0.54	0.04	0.68	0.08	0.05
Erúxico	C22:1, cis-13	0.14	0.05	-	-	-
Docosadienoico	C22:2	0.41	0.42	0.20	0.04	0.47
AGS		14.30	0.35	12.87	0.52	0.016
AGM		30.59	0.65	34.25	0.59	0.002
AGP		55.11		52.88		
AGS:AGP		0.26	0.00	0.24	0.01	0.0001
n-6		51.07	0.06	44.68	0.16	0.0001
n-3		4.04	0.25	8.17	0.21	0.0001
n-6:n-3		12.64	0.84	5.47	0.16	0.0001

5.6 Colección del semen de gallo

Se utilizó el método de masaje dorso-abdominal descrito por Burrows y Quinn (1937), a partir del cual se modificó Cheng *et al.* (2002). El procedimiento consiste en colocar una gallina en la jaula del gallo para excitarlo, durante el cortejo efectúa la monta, mediante el aleteo y movimiento de cola, en ese momento se sujeta el gallo y se coloca en posición supino ventral, con la mano izquierda se sujetó las alas y con la derecha se sostuvo las patas. Mientras que la otra persona con la mano izquierda realizó el masaje en la base del pigostilo, con la derecha recolecta el semen, el cual tuvo cuidado de no recoger orina, heces o fluido transparente que pudiera tener algún efecto en la evaluación espermática. El semen fresco se recolectó en una cuchara de metal atemperada a 37°C, introducida en un recipiente de vidrio con tapa y cubierto con papel aluminio para evitar la luz y corrientes de aire; se transportó lo más rápido posible al laboratorio para su análisis.

5.7 Evaluación de la calidad del semen

La motilidad es una característica de la célula espermática, se trata de uno de los parámetros más importantes en la evaluación espermática, debido a que es imprescindible para que se produzca la fecundación; existen distintas técnicas para su evaluación, pero la más utilizada, es la valoración visual del porcentaje de espermatozoides móviles y la calidad de su movimiento (Catellini y Lattaioli, 1999). Se tomó una alícuota (20 µL) de semen diluido, se colocó en una lámina portaobjeto con cubreobjetos atemperada a 37 °C, se observó al microscopio de contraste de fases (Motic®; Modelo B3 profesional; Guadalajara, Jalisco, México), y mediante un software (Presto VideoWork®), se grabó el archivo de video, se realizó el conteo de forma subjetiva en un monitor (Hisense®; Modelo 32H5E), y una computadora (DELL®; Modelo Inspiron 15-500 Series), observando espermatozoides móviles e inmóviles de cinco campos de la imagen, con estos conteos se calculó el porcentaje motilidad.

5.8 Viabilidad espermática

La relación de espermatozoides vivos y muertos es otro parámetro importante, un espermatozoide muerto libera enzimas entre las que se encuentran las del

acrosoma, estas producen daños en las membranas de los espermatozoides vivos, provocando un mayor número de espermatozoides con daño en el acrosoma (Romero, 2007). Los colorantes no pueden atravesar la membrana plasmática intacta, de tal forma que un espermatozoide vivo es aquel cuyo núcleo no está teñido; y en el caso de que la membrana esté dañada será atravesada por el colorante, por lo que un espermatozoide muerto será aquel cuyo núcleo se tiña de color rojo (López *et al.* 2012), con una pipeta (EPPENDORF®; Research PLUS), se colocó una alícuota de 10µL de semen diluido y eosina-nigrosina (HYCEL®; Zapopan, Jalisco, México, en una lámina portaobjeto, donde se homogeneizó e inmediatamente se hizo un frotis, dejándose secar a temperatura ambiente, para observarse en microscopio de contraste de fases (Motic®; Modelo B3 profesional; Guadalajara, Jalisco, México).

5.9 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) con ocho réplicas por tratamiento donde la unidad experimental fue la jaula con un gallo y un factor cruzado (mes), con medidas repetidas en el tiempo; para ello se utilizó el procedimiento para modelos mixtos (Proc MIXED) de SAS (2002), donde la jaula se declaró como efecto aleatorio y se consideraron varianzas heterogéneas.

Se realizó análisis de correlación de Pearson entre el consumo de alimento y consumo de agua.

Los resultados de AG del alimento se analizaron con la prueba t de Student para muestras independientes, previa prueba de Fisher del análisis de la razón de las varianzas (Steel *et al.*, 1997), las mediciones de motilidad, espermatozoides vivos, espermatozoides muertos y pieza intermedia se analizaron con la prueba t de Student para muestras independientes, previa prueba de Fisher del análisis de la razón de las varianzas y prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (Steel *et al.*, 1997). El nivel de alfa máximo para aceptar diferencia estadística fue 0.05.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Respuesta productiva

Las condiciones del ambiente en las que se realizó el experimento se muestran en la Figura 10. La temperatura ambiente varió de 20.5 a 29.1 °C y la humedad relativa varió de 35.8 a 47.1%.

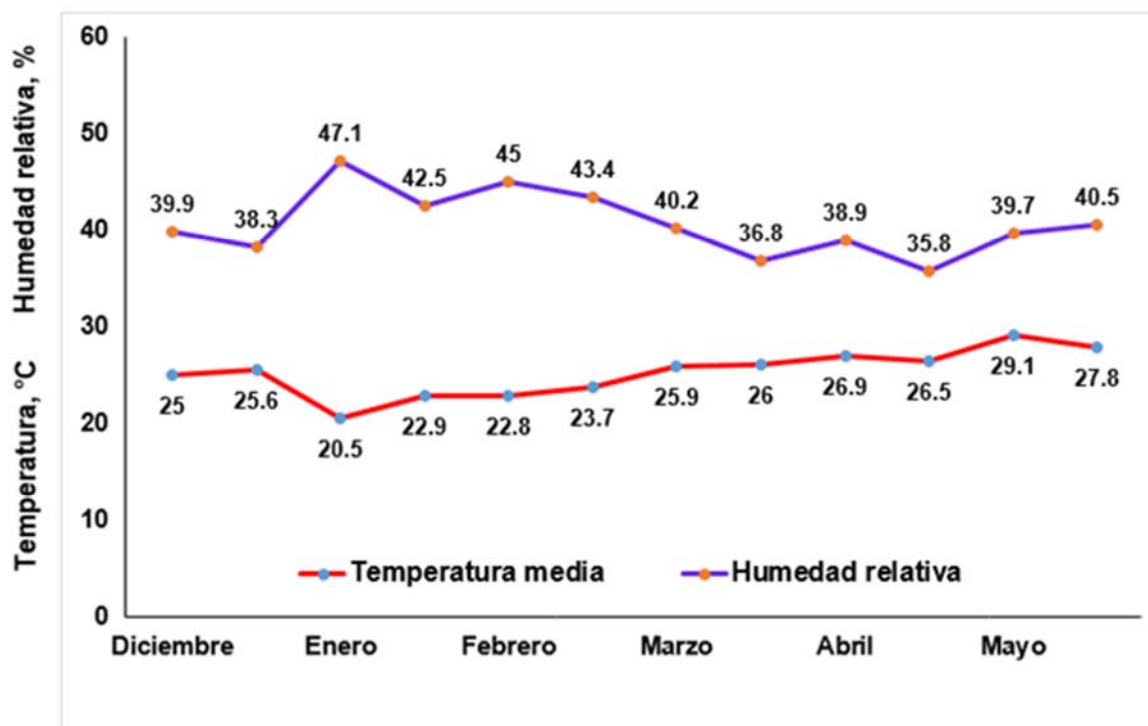


Figura 10. Temperatura ambiente y humedad relativa en la caseta tipo convencional donde se alojaron los gallos.

El rango de temperatura ambiente en el que el consumo de alimento no es afectado en aves domésticas es de 16 a 24 °C, al elevarse la temperatura ambiente el ave intenta ajustar la producción de calor disminuyendo el consumo de alimento (North y Bell, 1990), o bien seleccionando los ingredientes que más necesita y que le generen menos calor (Syafwan *et al.*, 2012). Las temperaturas superiores a las del estado de confort, pudieron haber disminuido el consumo de alimento de los gallos, aunque su efecto fue similar en los dos tratamientos.

Los resultados del consumo de alimento se muestran en la Figura 11. Se observa que en diciembre el consumo fue similar, y de enero a mayo, así como en todo el periodo, los gallos con la proporción n-6:n-3 5.6:1 consumieron menos alimento ($P < 0.01$) que los que tuvieron la proporción 12:1.

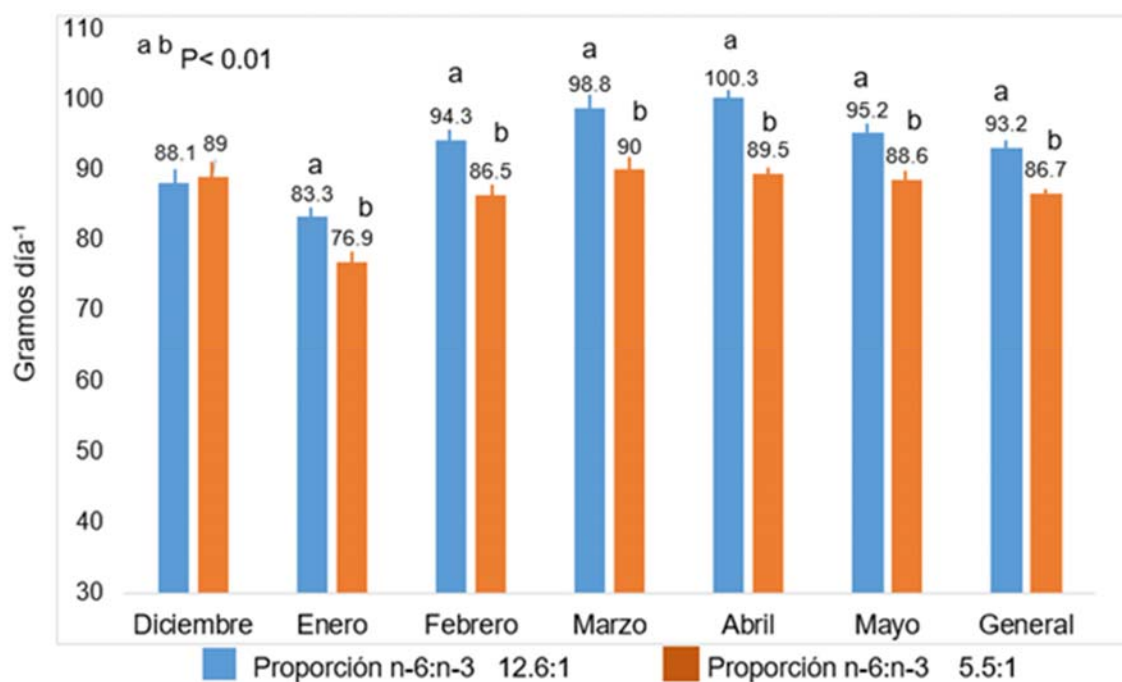


Figura 11. Efecto de la proporción de ácidos grasos n-6:n-3 en el alimento sobre el consumo de alimento de gallos Rhode Island.

Gallinas Lohmann Brown con proporciones de ácidos grasos n-6:n-3 de 40:1, 14:1 y 7:1, consumieron 102.9, 92.4 y 84.3 g por gallina por día, respectivamente (Hamady, 2013). En conejos Delgado *et al.* (2018) observaron que la reducción de la proporción n-6:n-3 (13.4:1 vs. 3.5:1) mejoró la eficiencia de retención del nitrógeno y la energía.

La Figura 12 muestra los resultados para el consumo de agua. El consumo de agua aumentó de 133.8 mL hasta 234.9 mL. En el tratamiento con la proporción 12.6:1 el consumo de alimento estuvo relacionado con el consumo de agua ($r = 0.837$, $P < 0.02$), mientras que en el tratamiento 5.6:1 no se detectó relación ($r = 0.537$, $P > 0.10$).

Con respecto al consumo de agua, no se encontraron trabajos en los que se haya medido esta variable en relación con la proporción de AGE.

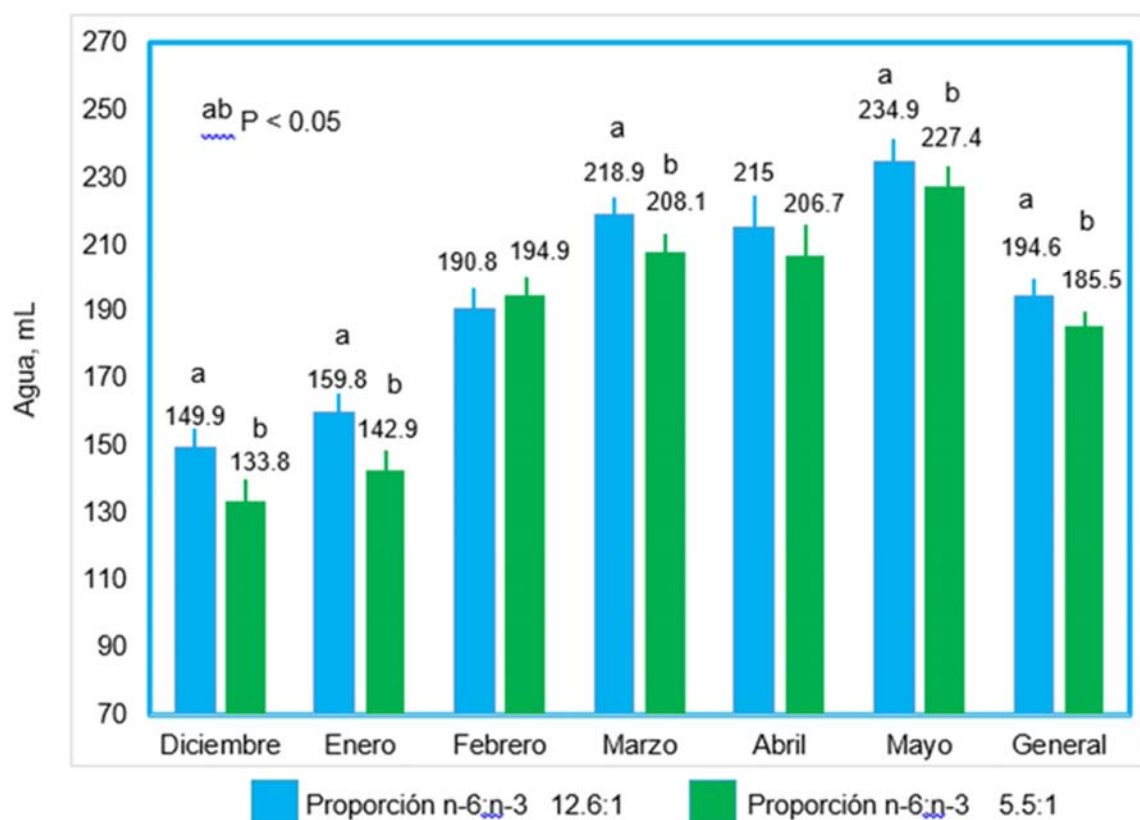


Figura 12. Efecto de la proporción de ácidos grasos n-6:n-3 en el alimento sobre el consumo de agua de gallos Rhode Island.

La relación de agua consumido / alimento consumido se presenta en la gráfica 13. La relación varió de 1.63 a 2.60 mL de agua por gramo de alimento consumido. Durante todo el periodo de estudio la relación de consumo agua/alimento fue superior en los gallos con la proporción n-6:n-3 5.5:1 ($P < 0.05$). El agua debe ser considerada como un elemento esencial, aunque no es posible establecer un requerimiento preciso. La cantidad de agua depende de la temperatura ambiente y la humedad relativa, la composición de la dieta, tasa de crecimiento o producción de huevos (Medway y Kare, 1959). Generalmente se ha asumido que las aves beben aproximadamente el doble de la cantidad de alimento consumido (NRC, 1994).

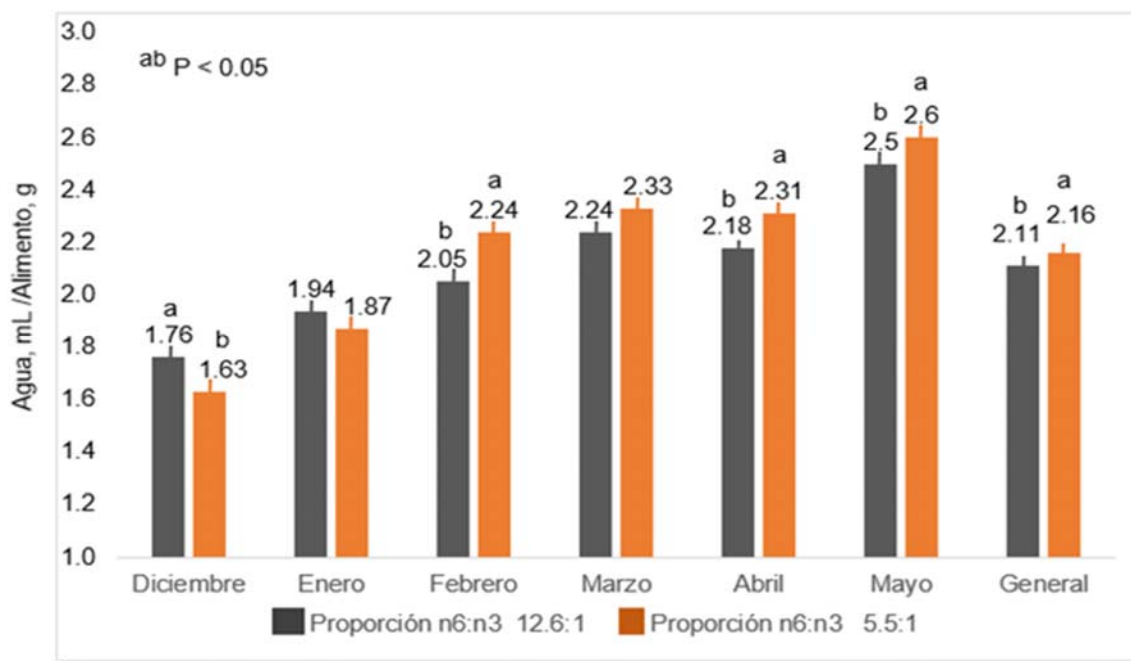


Figura 13. Efecto de la proporción de ácidos grasos omega-6 y omega-3 en la razón de agua / alimento ingerida por gallos Rhode Island.

La evolución del peso de los gallos durante el experimento se presenta en la gráfica 14. El peso corporal de los gallos en cada mes durante todo estudio fue similar ($P > 0.05$) entre tratamientos (3024 g), y se incrementó al avanzar la edad; estos resultados coinciden con los reportados por Feng *et al.* (2015) en gallos reproductores Jing Hong, alimentados con proporciones n-6:n-3 desde 18.39:1 a 2.32:1 contenidos en aceite de soya y linaza, donde el peso corporal a 35 d de edad fue similar entre tratamientos; en la misma especie, al alimentar gallinas Lohmann Brown con proporciones de n-6:n-3 de 40:1 a 7:1, el peso corporal no varió de las 19 a 34 semanas de postura (Hamady, 2013). En Jabalíes Yan *et al.* (2016), observaron que al incluir proporciones de ácidos grasos poliinsaturados n-6:n-3 en el alimento a base de maíz, pasta de soya y salvado de trigo, el peso corporal inicial, peso final y ganancia diaria de peso fue similar entre los tratamientos.

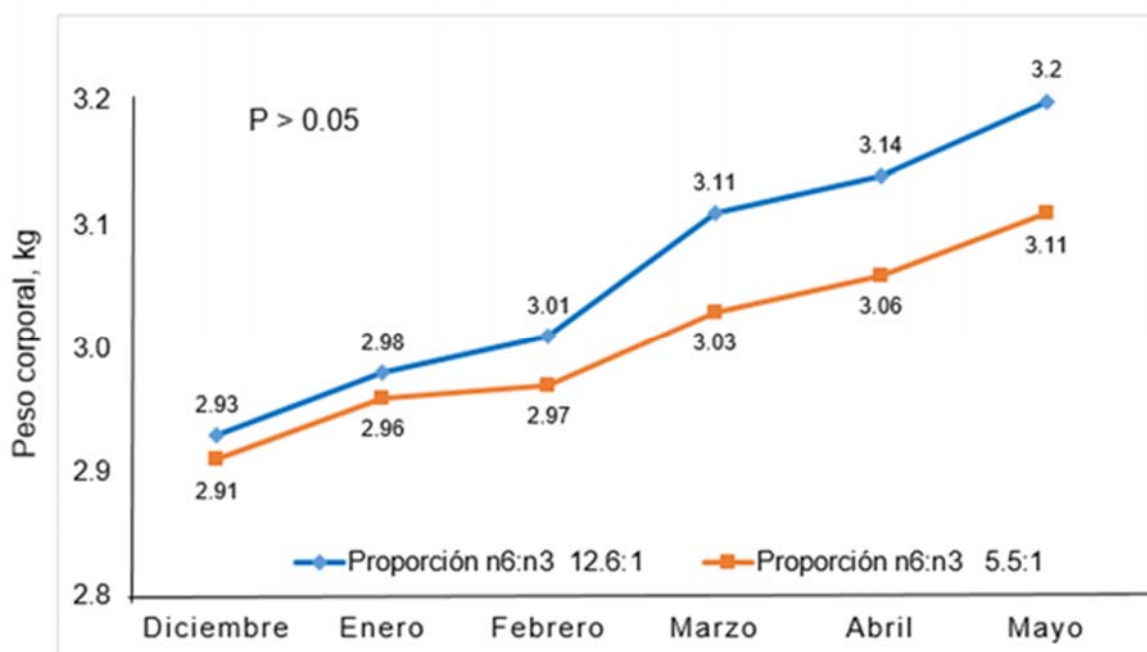


Figura 14. Efecto de la proporción de ácidos grasos omega-6 y omega-3 en el alimento sobre el peso corporal de gallos Rhode Island.

6.2 Características del semen

El efecto de la alimentación de gallos con las proporciones omega 6 y omega 3 se muestra en el cuadro 5.

Las variables medidas en el semen tuvieron valores similares entre las proporciones de n-6 y n-3. En aves los ácidos grasos de la serie 6 son importantes, principalmente 20:4n-6 y 22:4n-6 (Khatibjoo *et al.*, 2011). Es posible que la ausencia de efecto de las proporciones n-6:n-3 en este estudio se deba a que las proporciones son altas con respecto a las que utilizaron Jazmín *et al.* (2010) en machos de codorniz japonesa (0.08:1), donde hubo cambios en el volumen, concentración, espermatozoides vivos y espermatozoides normales. En gallos Khatibjoo *et al.* (2011) observaron incrementó en la motilidad espermática y reducción del porcentaje de espermatozoides lentos y estáticos.

Cuadro 5. Efecto de las proporciones de ácidos grasos n-6:n-3 en las características del semen de gallo Rhode Island.

Variable	Proporción n-6:n-3		P
	12.66:1	5.48:1	
n	12	19	
Motilidad (%)	62.7 ± 11.6	65.2 ± 9.36	0.51
Espermatozoides vivos (%)	69.2 ± 8.5	72.7 ± 3.73	0.35
Pieza intermedia (%)	22.2 ± 6.2	18.1 ± 5.5	0.26
Espermatozoides muertos (%)	8.9 ± 3.7	9.0 ± 3.1	0.85

DE=Desviación estándar; P=Valor de probabilidad.

En ratas Sprague Dawley Yan et al. (2013) observaron que la proporción estrecha (0.66:1) incremento la motilidad y disminuyeron las deformidades de los espermatozoides. En Jabalíes la suplementación de ácidos grasos poliinsaturados aumentó la densidad espermática, espermatozoides totales por eyaculado y se redujo la tasa de espermatozoides con deformidades (Yan *et al.*, 2016).

VII. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo indican que la proporción de ácidos grasos omega-6:omega-3 en la dieta de gallos Rhode Island en 5.45:1 reduce el consumo de alimento y agua, sin afectar el peso corporal y las características del semen, con respecto a la proporción 12.6:1.

VIII. LITERATURA CITADA

- Akhlaghi A, Jafari AY, Navidshad B, Ansari PZ, Zhandi M, Deldar H, Rezvani MR, Dadpasand M, Hashemi SR, Poureslami R, Peebles ED. Improvements in semen quality, sperm fatty acids, and reproductive performance in aged Cobb 500 breeder roosters fed diets containing dried ginger rhizomes (*Zingiber officinale*). Poultry Science. 2014;93:1236-1243. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03617>.
- Al-Daraji HJ, Al-Mashadani HA, Al-Hayani WK, Al-Hassani AS, Mirza HA. Effect of n-3 and fatty acids supplemented diets on semen quality in japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). International Journal of Poultry Science. 2010;9(7):656-663. <http://dx.doi.org/10.3923/ijps.2010.656.663>.
- Al-Daraji HJ, Al-Mashadani HA, Al-HayaniWK, Al-Hassani AS, Mirza HA. Effect of n-3 and fatty acids supplemented diets on semen quality in japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*). International Journal of Poultry Science. 2010;9(7):656-663. <https://doi.org/10.3923/ijps.2010.656.663>.
- Almaida-Pagan PF, Lucas-Sanchez A, Toucher, DR. Changes in mitochondrial membrane composition and oxidative status during rapid growth maturation and aging in zebrafish, *danio reiro*. Biochemistry Biophys Acta. 2014; 1841(7):1003-1011. <https://doi.org/10.1016/j.bbali.2014.04.004>.
- Aro A, Mannisto S, Salminen I, Ovaskainen ML, Kataja V, Uusitupa M. Inverse association between dietary and serum conjugated linoleic acid and risk of breast cancer in postmenopausal woman. Nutrition and Cancer. 2000;38:151-157. https://doi.org/10.1207/S15327914NC382_2.
- Ávila GE, Cuca GM. Fuentes de energía y proteínas para la alimentación de las aves. Departamento de avicultura. Instituto nacional de investigaciones pecuarias. SARH. Palo Alto, México, D.F. 1978. <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/cienciavet/revistas/CVvol2/CVv2c12.pdf07/02/2014>.
- Ayerza R, Coates W. Composition of chia (*Salvia hispanica*) grown in six tropical and sub-tropical ecosystems of South America. Tropical Science. 2004;44: 131-135.

- Ayerza R, Coates W. Dietary levels of chia: Influence on yolk cholesterol, lipid content and fatty acid composition for two strains of hens. *Poultry Science*. 2000;79:724-739. <https://doi.org/10.1093/ps/79.5.724>.
- Ayerza R. H., Coates W. Chía. Redescubriendo un olvidado alimento de los aztecas. Ed. Nuevo Extremo, Buenos Aires, Argentina, p. 205. 2006.
- Barceló-Coblijn G, Murphy E. 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 acids levels. *Progress in Lipid Research*. 2009;48:355-74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plipres.2009.07.002>.
- Brenner RR. The role of fats in human nutrition. San Diego, CA: Academic Press; 1989.
- Burdge GC, Calder PC. Dietary a-linolenic acid and health-related outcomes: A metabolic perspective. *Nutrition Research Reviews*. 2006;19:26-52. <http://dx.doi.org/10.1079/NRR2005113>.
- Burrows WH, Quinn JP. The collection of spermatozoa from the domestic fowl and turkey. *Poultry Science*. 1937;16:19-24.
- Camacho EMA, Lira TI, Ramírez CL, López PR, Arcos GJL. La avicultura de traspatio en la Costa de Oaxaca, México. *Revista Ciencia y Mar*. 2006;10:3-11.
- Carrero JJ, Martín BE, Baró L, Fonollá J, Jiménez J, Boza JJ, López HE. Efectos cardiovasculares de los ácidos omega-3 y alternativas para incrementar su ingesta. *Nutrición Hospitalaria*. 2005;XX(1)63-69.
- Catellini C, Lattaioli P. Effect of number of motile sperm inseminated on reproductive performance of rabbits does. *Animal Reproduction Science*. 1999;57:111-120. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4320\(99\)00051-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4320(99)00051-2).
- Centeno BSB, López DCA, Juárez EMA. Producción avícola familiar en una comunidad del municipio de Ixtacamaxtitlán, Puebla. *Técnica Pecuaria México*. 2007;45(1):41-60.
- Cerolini S, Pizzi F, Gliozzi TM, Maldjian A, Zaniboni L, Parodi L. Lipid manipulation of chicken semen by dietary means and its relation to fertility: a review. *World's Poultry Science*. 2003;59:65-75. <https://doi.org/10.1079/WPS20030003>.
- Church DC, Pond WG. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. Editorial Limusa. México; 2004.

- CIAPAN. Guía para la asistencia técnica del Valle de Culiacán. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias. Culiacán Sinaloa, México. p. 92. 2002.
- Coronado HM, León VS, Gutiérrez TR, García FB, Díaz GG. Los ácidos grasos omega-3 y omega-6: nutrición, bioquímica y salud. *REB* 2006; 25(3):72-79.
- De Antueno RJ, Knickle LC, Smith H, Elliot M, Allen SJ, Nwaka S, Winther MD. Activity of human D5 and D6 desaturases on multiple n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids. *FEBS Letters*. 2001;509:77-80.
- Dommels YEM, Alink GM, Van Bladeren PJ, Van OB. 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*. 2002;12:233-244. [https://doi.org/10.1016/S1382-6689\(02\)00006-6](https://doi.org/10.1016/S1382-6689(02)00006-6).
- Dupont J, White PJ, Johnston KM. Food safety and health effects of canola oil. *The Journal of the American College of Nutrition*. 1989;8:360-375.
- Etches RJ. Reproducción aviar. Editorial Acribia. España.1992.
- Fahy E, Subramaniam S, Brown HA, Glass CK, Merrill AH Jr, Murphy RC, Raetz CR, Russell DW, Seyama Y, Shaw W, Shimizu T, Spener F, van Meer G, VanNieuwenhze MS, White SH, Witztum JL, Dennis EA. A comprehensive classification system for lipids. *Journal of Lipid Research*. 2005;46:839-861. <http://dx.doi.org/10.1194/jlr.E400004-JLR200>.
- FAO. Producción y productos avícolas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/poultry-production-products/production/es/>.
- Ford JJ, Wise TH. Assessment of pubertal development of boars derived from ultrasonographic determination of testicular diameter. *Theriogenology*. 2011;75:241-247. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.08.010>.
- Fraser R, Heslop VR, Murray FEM, Day WA. Ultrastructural studies of the portal transport of fat in chickens. *British Journal of Experimental Pathology*. 1986; 67(6):783-791.

- Gadella BM, Tsai PS, Boerke A, Brewis I. Sperm head membrane reorganization during capacitation. *International of Journal Developmental Biology*. 2008;52: 473-480. <https://doi.org/10.1387/ijdb.082583bg>.
- Gawrysiak-Witulska M, Rudzińska M, Siger A, Bartkowiak-Broda I. A high drying temperature causes degradation of sterols and tocopherols in yellow-seeded *Brassica napus* oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2015;117:483-490. <http://dx.doi.org/10.1002/ejlt.201400353>.
- Gholami H, Chamani M, Towhidi A, Fazeli MH. Effect of feeding a docosahexaenoic acid-enriched nutraceutical on the quality of fresh and frozen-thawed semen in Holstein bulls. *Theriogenology*. 2010;74(9):1548-1558. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.06.025>.
- Gholami H, Chamani M, Towhidi A, Fazeli MH. Effect of feeding a docosahexaenoic acid-enriched nutraceutical on the quality of fresh and frozen-thawed semen in Holstein bulls. *Theriogenology*. 2010;74(9):1548-58. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.06.025>.
- Griffin H, Hermier D. Plasma lipoprotein metabolism and fattening in poultry. In: Leclercq B, Whitehead CC, editors. *Leanness in Domestic Birds*. Londres; Butterworths; p. 175-120. 1988.
- Guiotto EN, Ixtaina VY, Tomás MC, Nolasco SM. Moisture-dependent engineering properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Food Industry Intech*. 2013; 381-397.
- Guiotto EN, Ixtaina VY, Tomás MCM, Nolasco SM. Moisture dependent engineering properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. In: *Food Industry. INTECH*. 2013;381-397. <https://doi.org/10.5772/53173>.
- Gutiérrez TMA, Segura CJC, López BL, Santos FJ, Santos Ricalde RH, Sarmiento FL, Carvajal HM, Molina CG. Características de la avicultura de traspatio en el municipio de Tetiz, Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2007;7:217-224.
- Hodson L, Murray SC, Fielding BA. Fatty acid composition of adipose tissue and blood in humans and its use as a biomarker of dietary intake. *Progress in Lipid Research*. 2008;47:348-380. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2008.03.003>.

- Hulshof KFAM, Erp-Baart VMA, Anttolainen M, Becker W, Church SM, Couet C, Hermann-Kunz E, Kesteloot H, Leth T, Martins I, Moreiras O, Moschandreas J, Pizzoferrato L, Rimestad AH, Thorgeirsdottir H, Van AJMM, Aro A, Kafatos AG, Lanzmann PD, Van PG. Intake of fatty acids in Western Europe with emphasis on trans fatty acids: The TRANSFAIR study. *European Journal of Clinical Nutrition*. 1999;53:143-157.
- IUPAC-IUB. Commission on Biochemical Nomenclature (CNB) The nomenclature of lipids. Recommendations 1976. *European Journal of Biochemistry*. 1977;79:11221.
- IUPAC-IUB. The Nomenclature of Lipids. (Recommendations 1976). IUPAC-IUB Commission on Biochemical Nomenclature. *Journal Biochemistry*. 1978;171: 21-35.
- Jiménez PP, Masson SL, Quitra RV. Composición química de semillas de chía, linaza y rosa mosqueta y su aporte en ácidos grasos omega-3. *Revista Chilena de Nutrición*. 2013;40(2):155-160.
- Johnson GH, Keast DR, Kris-Etherton PM. Dietary modeling shows that the substitution of canola oil for fats commonly used in the United States would increase compliance with dietary recommendations for fatty acids. *Journal of the American Dietetic Association*. 2007;107:1726-1734. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2007.07.015>.
- Kelso KA, Cerolini S, Noble RC, Sparks NHC, Speake BK. The effects of dietary supplementation with docosahexaenoic acid on the phospholipid fatty acid composition of avian spermatozoa. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 1997;118B:65-69.
- Khatibjoo A, Kermanshahi H, Alimon R, Golian A, Zagharia M. Effect of omega6:omega3 fatty acid ratios on semen quality of malaysian village roosters. *Global Veterinaria*. 2011;6(2):213-219.
- Köprücü K, Yonar ME, Özcan S. Effect of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids on antioxidant defense and sperm quality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under regular stripping conditions. *Animal Reproduction Science*. 2015;(163):135-143. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anireprosci.2015.10.008>.

- Kris-Etherton M, Shaffer TD, Yu-Poth S, Huth P, Moriarty K, Fishel V, Hargroe RL, Zhao G, Etherton TD. Polyunsaturated fatty acids in the food chain in the United States. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2000;71:179S-188S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.1.179S>.
- Krogdahl Á. Digestion and absorption of lipids. *Poultry Journal Nutrition*. 1985;115(5):675-85.
- Leaf A, Kang JX, Xiao YF, Billman GE. Clinical prevention of sudden cardiac death by n-3 polyunsaturated fatty acids and mechanism of prevention of arrhythmias by n-3 fish oils. *Circulation*. 2003;107:2646-2652.
- Lehninger Albert. 1985. *Principios de Bioquímica*. 2da. Edición. Barcelona, Omega.
- Lin Yan, Xiao-long Bai, Zheng-feng Fang, Lian-qiang Che, Sheng-yu Xu, De Wu. Effect of different dietary omega-3/omega-6 fatty acid ratios on reproduction in male rats. *Lipids in Health and Disease*. 2013;13(12):33. <http://dx.doi.org/10.1186/1476-511X-12-33>.
- Linos A, Kaklamani VG, Kaklamani E, Koumantaki Y, Giziaki E, Papazoluo S, Mantzoros CS. Dietary factor in relation to rheumatoid arthritis: a role for olive oil and cooked vegetables? *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1999;70:1077-1082. <https://doi.org/10.1093/ajcn/70.6.1077>
- Maldjian A, Pizzi F, Gliozzi T, Cerolini S, Penny P, Noble R. Changes in sperm quality and lipid composition during cryopreservation of boar semen. *Theriogenology*. 2005;63:411-421. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.09.021>.
- McKeegan PJ, Sturmey RG. The role of fatty acids in oocyte and early embryo development. *Reproduction Fertility and Development*. 2011;24:59-67. <https://doi.org/10.1071/RD11907>.
- Medway W, Kare MR. Water metabolism of the growing domestic fowl with special reference to water balance. *Poultry Science Journal*. 1959;38:631.
- Mensink RP, Zock PL, Kester ADM, Katan MB. Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2003;77(5):1146-1155. <https://doi.org/10.1093/ajcn/77.5.1146>.

- Merino GR. Universidad Nacional Autónoma de México. Zootecnia avícola. Tipos de empresas avícolas. México. 2009.
- Mohd N, Keong S, Yong W, Kee B, Wei S, Guan S. The Promising Future of Chía (*Salvia hispanica* L.). *Journal of Biomedicine and Biotechnology*. 2012;1:1-9. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/171956>.
- Morris HD. Diet and risk of ischemic heart disease in India. *Journal Clinic Nutritional*. 2004;79: 582-592. <http://dx.doi.org/10.1093/ajcn/79.4.582>.
- Muñoz LA, Aguilera JM, Rodríguez TL, Cobos A, Díaz O. Characterization and microstructure of films made from mucilage of *Salvia hispanica* and whey protein concentrate. *Journal of Food Engineering*. 2012;111(3):511-518. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.031>.
- North MO, Bell DD. Commercial chicken production manual. 4 ed. Chapman & Hall, New York; 1990.
- Noyan A, Lossow WJ, Brot N, Chaikoff IL. Pathway and form of absorption of palmitic acid in the chicken. *Journal of Lipid Research*. 1964;5(4):538-541.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Nutrient Requirements of Poultry: 9th.Ed. Rev. National Academy Press, Washington, D. C. 145pp. 1994.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. Producción y productos avícolas. Disponible en: <http://www.fao.org/poultry-production-products/production/es/>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. Producción y productos avícolas. Disponible en: <http://www.fao.org/poultry-production-products/production/nutrition-feeding/es/>.
- Páramo RRM. 2. Morfofisiología de los órganos genitales del macho y de la hembra en: Galina HC, Valencia MJ, Reproducción de animales domésticos. 3ra. Ed. Editorial Limusa. p. 27-42. México; 2008.
- Poudyal H, Panchal S.K, Diwan V, Brown L. Omega-3 fatty acids and metabolic syndrome: effects and emerging mechanisms of action. *Progress in Lipid Research*. 2011;50:372-87. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2011.06.003>.
- Quintana JA. Avitecna manejo de las aves domésticas más comunes. Trillas, México; 2011.

- Ratnayake WM, Galli C. Fat and fatty acid terminology, methods of analysis and fat digestion and metabolism: A Background Review Paper. *Annals of Nutrition and Metabolism*. 2009;55:8-43. <https://doi.org/10.1159/000228994>.
- Rato L, Alves MG, Cavaco JE, Oliveira PF. High-energy diets: a threat for male fertility? *Obesity Reviews*. 2014;15:996-1007. <https://doi.org/10.1111/obr.12226>.
- Romero, E. Cunicultura: Inseminación Artificial. Editado por la Editorial on-line Agrobot.com, Córdoba; Argentina; 2007.
- Saether T, Tran TN, Rootwelt H, Grav HJ, Christophersen BO, Haugen TB. Essential fatty acid deficiency induces fatty acid desaturase expression in rat epididymis, but not in testis. *Reproduction*. 2007;133:467-477. <https://doi.org/10.1530/REP-06-00294>.
- SAGARPA. Si tienes una granja y/o unidad de producción avícola tecnificada, debes registrarla. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. 2017. Disponible en: <http://www.sagarpa.mx/ganaderia/Publicaciones/Paginas/default.aspx>
- Samadian F, Towhidi A, Rezayazdian K, Bahreini M. Effects of dietary n-3 fatty acids on characteristics and lipid composition of ovine sperm. *Animal*. 2010;4:12:2017-2022. <https://doi.org/10.1017/S1751731110001308>.
- Sancho S, Pinart E, Briz M, Garcia-Gil N, Badia E, Bassols J. Semen quality of post pubertal boars during increasing and decreasing natural photo periods. *Theriogenology*. 2004;62:1271-1282. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.01.003>.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE (SAS). User's Guide Statistics. Version 8,1. USA. 2002.
- Sauveur B, Reviers M. Reproducción de las aves. Editorial mundi-prensa. Madrid España. 1992.
- Segura CJC, Sarmiento FL, Magaña MJC, Santos RR. Productive performance of creole chickens and their crosses raised under semi-intensive management conditions in Yucatan. *British Poultry Science*. 2004;45:1-4. <https://doi.org/10.1080/00071660410001730833>.
- Siger A, Gawrysiak-Witulska M, Bartkowiak-Broda I. Antioxidant (Tocopherol and Canolol) Content in rapeseed oil obtained from roasted yellow-seeded *Brassica*

- napus*. Journal of the American Oil Chemists' Society. 2017;94(1):37-46. <http://dx.doi.org/10.1007/s11746-016-2921-7>.
- Simopoulos AP, Cleland LG. Omega-6/Omega-3 Essential fatty acid ratio: The scientific evidence. World Review of Nutrition and Dietetics. Basel Karger. 2003;92:37-56.
- Simopoulos AP. The omega-6/omega-3 fatty acid ratio: health implications. The Center for Genetics, Nutrition and Health, 2001 S Street, NW, Suite 530, Washington DC. 2010.
- Singh RB, Dubnov G, Niaz MA, Ghosh S, Singh R, Rastogi SS, Manor O, Pella D, Berry EM. Effect of an Indo-Mediterranean diet on progression of coronary artery disease in high risk patients (Indo-Mediterranean diet heart study): a randomised single-blind trial. The Lancet. 2002;360:1455-1461. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)11472-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(02)11472-3).
- Sprecher H. Long chain fatty acid metabolism. In: Polyunsaturated fatty acids in human nutrition. Braceo U, Deckelbaum RJ (ed). New York: Raven Press; p.13-23, USA, 1992.
- Steel RGD, Torrie JH, Dicky DA. Principles and Procedures of Statistics, A Biometrical Approach. 3rd Edition, McGraw Hill, Inc. Book Co; New York; 1997.
- Sturkie PD. Fisiología aviar. Editorial acribia. Zaragoza España. 1968
- Swierstra EE. A comparison of regular ejaculation with sexual rest on semen characteristics and reproductive organ weights in young boars. Journal Animal Science. 1974;39:575-581.
- Syafwan S, Wermink GJD, Kwakkel RP, Verstegen MWA. Dietary self-selection by broilers at normal and high temperature changes feed intake behavior, nutrient intake, and performance. Poultry Science. 2012;91:537-549. <http://dx.doi.org/10.3382/ps.2011-01559>.
- Towhid A, Parks JE. 2012. Effect of n-3 fatty acids and α -tocopherol on postthaw parameters and fatty acid composition of bovine sperm. Journal of Assisted Reproduction and Genetics. 2012;29(10):1051-1056. <http://dx.doi.org/10.1007/s10815-012-9834-7>.

- Towhid A, Parks JE. Effect of n-3 fatty acids and α -tocopherol on post-thaw parameters and fatty acid composition of bovine sperm. *Journal of Assisted Reproduction and Genetics*. 2012;29(10):1051-1056. <https://doi.org/10.1007/s10815-012-9834-7>.
- UNA. Compendio de indicadores económicos del sector avícola. Unión Nacional de avicultores. 2017. Disponible en: <http://www.una.org.mx/index.php/component/content/article?layout=edit&id=90>
- UNA. Situación de la avicultura Mexicana, expectativas 2018. Unión Nacional de avicultores. 2019. Disponible en: <http://www.una.org.mx/index.php/panorama/situacion-de-la-avicultura-mexicana>
- Unión Nacional de Avicultores. Situación de la avicultura mexicana. Disponible en: <http://www.una.org.mx/index.php/panorama/situacion-de-la-avicultura-mexicana>.
- Uribe JAR, Perez JIN, Kauil HC, Rubio GR, Alcocer CG. Extraction of oil from chia seeds with supercritical CO₂. *Journal Supercrit Fluids*. 2011;56:174-178. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2010.12.007>.
- Valenzuela BA, Morgado TN. Las grasas y aceites en la nutrición humana: algo de su historia. *Revista Chilena de Nutrición*. 2005;32(2). <https://doi.org/10.4067/S0717-75182005000200002>.
- Valenzuela R, Tapia G, González M, Valenzuela A. Omega-3 fatty acids (EPA and DHA) and its application in diverse clinical situations. *Revista Chilena de Nutrición*. 2011;38:356-367.
- Van EM. 1997. Nutritional and physiological effects of flaxseed in diets for laying fowl. *Poultry Science*. 1997;53:253-264.
- Waterhouse KE, Hofmo PO, Tverdal A, Miller RR. Within and between breed differences in freezing tolerance and plasma membrane fatty acid composition of boar sperm. *Reproduction*. 2006;31:887-894. <http://dx.doi.org/10.1530/rep.1.01049>.
- White JP. Fatty acids in oilseeds (Vegetables oils) In: Chow CK, Fatty acids in foods and their health implications. editor. Boca Raton; Florida; 1992. p. 227-262.

Wood A. Defects in mitochondrial β -Oxidation of fatty acids. *Current opinion in lipidology*. 1999;10:107-112.

Yan L, Xu C, Jiude M, De W, Bo R, Sheng-Yu X, Zheng-Feng F, Lian-Qiang C, Cai-Mei W, Jian L. Effects of different dietary n-6/n-3 polyunsaturated fatty acid ratios on boar reproduction. *Lipids in Health and Disease*. 2016;15:31. <http://dx.doi.org/10.1186/s12944-016-0193-8>.