



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA
SALUD ANIMAL.

“El alga marina *Macrocystis pyrifera* como alternativa para aumentar el contenido de iodo en el huevo para plato”.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL.

PRESENTA
NORMA ANGÉLICA RODRÍGUEZ CASTELÁN.

Tutor:
SILVIA CARRILLO DOMÍNGUEZ (INCMNSZ)

Comité Tutor:
ERNESTO ÁVILA GONZÁLEZ (FMVZ- UNAM)
ANTONIO DÍAZ CRUZ (FMVZ- UNAM)

Ciudad Universitaria, Cd. Mx.

Agosto, 2018.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

*A mi familia y amigos por el apoyo, consejo y palabras de aliento.
Gracias por permitirme ser parte de su vida, los amo.*

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por brindarme la oportunidad de continuar con mis estudios. Es un orgullo haber sido formada en sus aulas

Al Instituto Nacional de Ciencias Médicas Salvador Zubirán, por permitirme ser parte de este proyecto que ayudará a muchas personas.

Al Departamento de Nutrición Animal del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, por el apoyo y amistad brindado siempre.

Al Departamento Nutrición, Bromatología y Toxicología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, por la colaboración en el estudio del alga, y su amistad invaluable.

Al CEIEPAV, por todo el apoyo para llevar a cabo el experimento.

Al CICIMAR del IPN, por brindarnos el alga en estudio, su cosecha y deshidratación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el estímulo brindado por el programa de posgrado

A la Dra. Silvia Carrillo por todo el esfuerzo, tiempo y dedicación que invirtió en este proyecto, por ser mi guía y ejemplo a seguir

Al Dr. Ernesto Ávila, por ser un excelente tutor, profesor y persona es un honor haber trabajado con usted.

Al Dr. Antonio Cruz, por su invaluable enseñanza y apoyo, despertó mi curiosidad por aprender más.

A la Dra. Margarita Casas que tan amablemente me compartió sus comentarios y desde luego por brindarnos del alga en estudio.

Al Dr. Juan Carlos Del Río, por confiar en mí y su apoyo tanto en el ingreso al programa, como en la edición final de la tesis.

Resumen

Actualmente el sobrepeso, la obesidad, las Enfermedades Crónicas no Transmisibles (ECNT) y la hipertensión arterial, representan una emergencia sanitaria ya que constituyen las principales causas de mortalidad en México. Ante esto se ha puesto en marcha la Norma Oficial Mexicana NOM-030-SSA2-2017, que promueve hábitos de consumo saludables, tales como la eliminación gradual de sodio, reduciendo el consumo de sal. Sin embargo, esta medida puede tener como consecuencia un aumento en la prevalencia de enfermedades relacionadas con el déficit de yodo como bocio, cretinismo, retardo en el crecimiento e hipertiroidismo en neonatos. Esto puede ocurrir, ya que al disminuir el consumo de sal también se disminuye el de yodo, pues en general la sal en México está yodada (NOM- 040- SSA1- 1993). Por otra parte, en México aún existen poblaciones con deficiencia de yodo, ante suelos deficientes en este elemento y porque al parecer la sal no está yodada como lo exige la norma. La única manera en que el cuerpo puede obtener este elemento es a través del consumo de alimentos ricos en yodo, como es el caso de las algas marinas (0.153%); sin embargo, en México el consumo de estas es bajo. Por tal motivo, se planteó como objetivo de este trabajo utilizar al huevo como vehículo de este elemento, incorporando el alga marina parda *Macrocystis pyrifera* en la dieta de gallinas ponedoras, ya que el consumo de huevo en México es elevado (22kg consumo per cápita anual). El estudio se realizó con 180 gallinas Bovans White de 56 semanas de edad, distribuidas al azar en 4 tratamientos, con 5 réplicas de 9 aves cada una, en los que se incluyeron, durante un periodo de 16 semanas; 0%, 2%, 4% y 6% del alga marina *M.pyrifera* en la dieta. Se midieron las variables productivas de las gallinas, la calidad física del huevo, el sabor del huevo; en la sangre se midieron niveles de hemoglobina y hematocrito, mientras que en el suero se midieron las concentraciones de triglicéridos y colesterol total. Los resultados mostraron un incremento notable en el contenido de yodo en el huevo completo al incluir *M.pyrifera* en la dieta de las aves. Con 2%AM la cantidad de yodo se incrementó hasta un 70% (146µg de I /100g) con respecto al testigo (86µg de I /100g); con 4% AM se logró casi duplicar el contenido, el aumento fue de 99.8% (172µg/100g), mientras que con 6%AM el incremento fue 132.6% superior (199.76µg/100g) al testigo. Las variables productivas no fueron afectadas ($P>0.05$), al igual que la calidad física del huevo, ($P<0.05$). El sabor del huevo frito, del tratamiento con 4% AM, mostró una menor aceptación por parte de los panelistas, en comparación con los otros tratamientos ($P<0.05$). El hematocrito, la hemoglobina, triglicéridos y colesterol total no fueron afectados ($P>0.05$). Se concluye que es factible aumentar el contenido de yodo en el huevo al suplementar la dieta de gallinas ponedoras con niveles de hasta 6% del alga marina *M.pyrifera*, sin afectar negativamente las variables productivas, calidad física del huevo, sabor del huevo y el estado general de salud de las aves.

Palabras clave: Algas, yodo, huevo, gallinas de postura, variables productivas, calidad interna

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	ANTECEDENTES.....	2
	2.1 Principales causas de mortalidad en México	2
	2.2 Factores de riesgo en las enfermedades cardiovasculares	3
	2.3 Consumo de sal en México	3
	2.4 Generalidades sobre el yodo	4
	2.4.1 Descripción fisicoquímica	4
	2.4.2 Importancia del yodo en la dieta	5
	2.4.3 Toxicidad por ingesta excesiva de yodo	6
	2.4.4 Metabolismo del yodo en los humanos.....	7
	2.4.5 Valores nutrimentales de referencia	8
	2.4.6 Situación de la deficiencia de yodo en México	8
	2.4.7 Presencia de yodo en los alimentos	13
	2.5 Generalidades sobre las algas marinas	14
	2.5.1 Clasificación.....	14
	2.5.2 Composición química.....	14
	2.6 Alga marina parda <i>Macrocystis pyrifera</i>	15
	2.6.2 Descripción botánica y taxonómica de <i>Macrocystis pyrifera</i>	16
	2.6.3 Distribución en México y potencial de cosecha	17
	2.6.4 Composición química.....	18
	2.7 Generalidades sobre el huevo de gallina	18
	2.7.1 Composición química del huevo	18
	2.7.2 Producción y Consumo de huevo en México.....	21
	2.8 Estudios realizados para enriquecer con yodo el huevo para consumo	23
	2.9 Metabolismo del yodo en las aves	25
III.	HIPÓTESIS	28
IV.	OBJETIVO.....	28
V.	JUSTIFICACIÓN.....	29
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS	29
	6.1 Obtención y procesamiento del alga	29
	6.2 Análisis químico del alga.....	29

6.3	Determinación de iodo en el alga.....	31
6.4	Formulación y preparación de las dietas.....	31
6.5	Análisis químico de las dietas	33
6.6	Ensayo experimental.....	33
6.6.1	Diseño del estudio	33
6.6.2	Variables a medir	34
□	Variables productivas	34
□	Calidad interna y externa del huevo	34
□	Evaluación sensorial del huevo	34
□	Concentración de iodo en el huevo entero y en albumina (Pino et al., 1998) ...	36
□	Concentración de triglicéridos, colesterol total, HDL y LDL en suero de las gallinas.....	36
□	Medición de Hematocrito, Hemoglobina, Concentración de hemoglobina corpuscular media (MCHC)	38
6.7	Análisis estadístico.....	39
VII.	RESULTADOS	40
7.1	Variables Productivas	40
7.2	Calidad externa e interna de huevo	40
7.3	Evaluación sensorial	41
7.4	Concentración de triglicéridos y colesterol total en suero de gallinas suplementadas con algas marinas.....	42
7.5	Medición de Hematocrito, Hemoglobina, Concentración de hemoglobina corpuscular media (MCHC).....	43
7.6	Contenido de iodo en el huevo completo y albúmina.....	43
VIII.	DISCUSIÓN.....	45
IX.	CONCLUSIÓN.....	51
X.	BIBLIOGRAFÍA.....	52
XI.	ANEXOS	58

Índice de cuadros

	Página
Cuadro 1. Principales causas de mortalidad en México	2
Cuadro 2. Recomendaciones para la ingesta de Iodo	9
Cuadro 3. Criterios epidemiológicos para evaluar el aporte alimentario de Iodo basado en las concentraciones medianas de Iodo en orina de distintos grupos destinatarios	11
Cuadro 4. Contenido de Iodo ($\mu\text{g}/100\text{g}$) en alimentos de consumo común	13
Cuadro 5. Composición química de algunas especies de algas marinas	15
Cuadro 6. Contenido de aminoácidos en algunas algas marinas y en la soya	16
Cuadro 7. Composición química de <i>Macrocystis pyrifera</i>	19
Cuadro 8. Composición de aminoácidos de <i>Macrocystis pyrifera</i> en comparación con la soya	20
Cuadro 9. Composición química del huevo de gallina (en 100g)	21
Cuadro 10. Composición química de la harina del alga <i>Macrocystis pyrifera</i>	30
Cuadro 11. Composición mineral de la harina del alga <i>Macrocystis pyrifera</i>	31
Cuadro 12. Composición de las dietas para las gallinas ponedoras (Kg/t)	32
Cuadro 13. Análisis químico de las dietas para las gallinas ponedoras	33
Cuadro 14. Variables productivas obtenidas durante 16 semanas de experimentación al suplementar las dietas para la gallina ponedora con el alga marina <i>M.pyrifera</i>	40
Cuadro 15. Calidad externa e interna del huevo de gallinas suplementadas por Cuatro meses con el alga marina <i>M. pyrifera</i>	41
Cuadro 16. Evaluación sensorial del huevo	42
Cuadro 17. Concentración de triglicéridos y colesterol total en suero de gallinas suplementadas con algas marinas	42
Cuadro 18. Niveles de hemoglobina, MCHC y hematocrito en sangre de gallinas suplementadas por cuatro meses con el alga marina <i>M. pyrifera</i>	43
Cuadro 19. Contenido de Iodo en huevo completo y albumina liofilizada	44

Índice de figuras

	Página
Figura 1. Mecanismo de células tiroideas para el transporte de iodo, la formación de tiroxina y de triyodotironina y la liberación de esta a la sangre	8
Figura 2. Principales países productores de huevo	22
Figura 3. Principales países consumidores de huevo	22
Figura 4. Metabolismo del iodo en las aves.	27

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el sobrepeso, la obesidad, las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT), y de manera particular las enfermedades cardiovasculares, representan una emergencia sanitaria por la magnitud, frecuencia, ritmo de crecimiento y presión que ejercen sobre el Sistema Nacional de Salud en México, y otros países. Las ECNT con mayor prevalencia son la diabetes mellitus, las enfermedades isquémicas del corazón y los tumores malignos. Estos padecimientos junto con la hipertensión arterial, constituyen las principales causas de mortalidad en México (Programa PCORC, SSA, 2013-2018).

Ante tal situación se ha puesto en marcha “La estrategia nacional para la prevención y el control del sobrepeso, la obesidad y la diabetes” (NOM-030-SSA2-2017), que promueve la construcción de una política pública nacional que genere hábitos de consumo alimenticio saludables, incentivando la eliminación gradual del azúcar, sodio y grasas saturadas en los alimentos y la realización de actividad física en la población, involucrando no solo a los sectores público y privado, también a la sociedad civil.

Aunque con esta estrategia se espera reducir la morbilidad y mortalidad de estas enfermedades, la medida referente a reducir el consumo de sal puede también implicar el riesgo de que la población no cubra sus necesidades de iodo y haya un incremento de bocio y otros problemas asociados a su deficiencia, ya que al disminuir el consumo de sal se reduce también la ingestión de iodo, pues en general la sal en México está iodada.

Por otro lado, en algunas zonas del país aún existe deficiencia de iodo en la población, no solo porque los suelos son deficientes en este elemento, por cuestiones geográficas, sino también porque la sal no está iodada de manera adecuada, tal como exige la Norma Oficial Mexicana NOM-040-SSA1-1993.

La ingesta de alimentos ricos en iodo, es la única vía de administración del mismo para el humano. Una alternativa sería consumir algas marinas (principalmente las cafés o pardas), ya que estas se caracterizan por tener un alto contenido de este elemento (734 mg/kg base húmeda). Sin embargo, el consumo de estas en México es muy bajo, pero el del huevo es elevado (22 kg consumo per cápita anual). Por tal motivo, en este trabajo

se enriqueció con iodo el huevo de gallina, incorporando el alga marina *Macrocystis pyrifera* en la dieta de gallinas ponedoras.

II. ANTECEDENTES

2.1 Principales causas de mortalidad en México

De acuerdo a datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2016), la principal causa de muerte en la población mexicana corresponde a enfermedades del corazón, representando el 20% de las defunciones; le sigue, en orden decreciente, la diabetes mellitus con un 15.4%, los tumores malignos representan un 12% y en la sexta posición se encuentran las enfermedades cerebrovasculares con 5.1% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales causas de mortalidad en México

Orden de importancia	Causas	Defunciones
	Total	685,766
1	Enfermedades del corazón	136,342
	Enfermedades isquémicas del corazón	97,743
2	Diabetes mellitus	105,572
3	Tumores malignos	82,502
4	Enfermedades del hígado	38,755
	Enfermedad alcohólica del hígado	14,029
5	Accidentes	37,418
	De tráfico de vehículos de motor	16,179
6	Enfermedades cerebro vasculares	34,782
7	Agresiones	24,559
8	Enfermedades pulmonares obstructivas crónicas	23,271
9	Influenza y neumonía	21,572
10	Insuficiencia renal	13,132

Fuente: INEGI (2016)

La transición epidemiológica, se manifiesta por el menor número de defunciones provocadas por las enfermedades infecto-contagiosas y el crecimiento de las relacionadas con padecimientos crónico-degenerativos, los accidentes y las agresiones.

2.2 Factores de riesgo en las enfermedades cardiovasculares

La creciente incidencia de enfermedades cardiovasculares motivó, a mediados del siglo XX, el desarrollo de estudios epidemiológicos dirigidos específicamente a identificar los factores que se asociaban a un mayor riesgo de infarto agudo al miocardio. Estos estudios demostraron que, además de la edad y el sexo masculino, las dislipidemias, la obesidad, el tabaquismo, diabetes y resistencia a la insulina, concentración elevada de colesterol-LDL y reducida de colesterol-HDL, junto con la hipertensión arterial (HTA), se asociaban a un riesgo aumentado de complicaciones coronarias y cerebrovasculares (Programa ECV, SSA, 2001; Mostaza et al., 2015; NOM-030-SSA2-2017).

La HTA es un importante factor de riesgo en la enfermedad cardiovascular, su relación con la sal estriba en el hecho de que, una ingesta excesiva de sal interfiere con un mecanismo de seguridad natural del cerebro que impide que la presión arterial se eleve, es decir, desregula un circuito del hipotálamo (estructura del cerebro que hace de puente entre el sistema nervioso y el endocrino) provocando que se libere una cantidad excesiva de la hormona antidiurética (vasopresina) lo que resulta en un aumento de la presión sanguínea o hipertensión. Dentro de una población, cada individuo tiene distintos grados de susceptibilidad al efecto presor de la sal, fenómeno que se conoce como sensibilidad a la sal (De la Sierra, 2004).

Las acciones que ayudan a evitar la aparición de la enfermedad son: el control de peso, la práctica de ejercicio físico de manera regular; la ingestión adecuada de potasio, una alimentación equilibrada y la reducción en el consumo de alcohol y de sal (NOM-030-SSA2-2017).

2.3 Consumo de sal en México

Se estima que el consumo de sal en México es de hasta 11 gramos al día, cifra que se encuentra muy por arriba del consumo recomendado. La NOM 030-SSA2-2017 indica que la ingestión de sal no deberá exceder de 6 g/día (de esta cantidad 2.4 g corresponde al sodio).

Se han realizado estudios en los que se ha demostrado que, si el sodio se redujera en 2 gramos en la dieta diaria se podrían salvar 17 mil vidas cada año. El consumo excesivo de sal provoca graves daños a la salud a nivel renal, así como en el endotelio, que es la capa que recubre las arterias y las venas (NOM-030-SSA2-2017).

La hipertensión arterial sistémica causa diversas lesiones vasculares, tales como aterosclerosis y necrosis fibrinoide. A su vez, el daño vascular provoca complicaciones en órganos blanco como el cerebro, el ojo, el corazón, las arterias y el riñón (NOM-030-SSA2-2017).

Como resultado de la asociación del consumo de sal con la HTA, instituciones de salud han recomendado reducir el consumo de sal, aplicando medidas como retirar el salero de la mesa. Sin embargo, ello puede conducir no solo a que se reduzca la ingesta de sodio, sino también del yodo.

2.4 Generalidades sobre el yodo

2.4.1 Descripción fisicoquímica

El yodo es un elemento no metálico, con símbolo **I**, número atómico 53 y masa atómica relativa de 126.904 u. Es el más pesado de los halógenos (halogenuros) que se encuentran en la naturaleza. En condiciones normales, el yodo es un sólido negro, lustroso y volátil; recibe su nombre por su vapor de color violeta. La química del yodo, como la de los otros halógenos, se ve dominada por la facilidad con la que el átomo adquiere un electrón para formar el ion yoduro, I^- , o un solo enlace covalente $-I$, y por la formación, con elementos más electronegativos (Emstey, 2011).

El yodo es moderadamente soluble en líquidos no polares y el color violeta de las soluciones sugiere que se encuentran presentes las moléculas I_2 (Emstey, 2011).

2.4.2 Importancia del yodo en la dieta

El yodo es un elemento que, en cantidades muy pequeñas, es esencial para la vida animal y vegetal, e indispensable para la síntesis de hormonas tiroideas. Desempeña un papel insustituible en el desarrollo del cerebro, metabolismo y otras funciones del cuerpo. Varias especies animales, incluido el ser humano, no pueden crecer ni completar su ciclo vital satisfactoriamente si su aporte de yodo es inadecuado, ya que no puede ser reemplazado por ningún otro elemento en la síntesis de hormonas tiroideas. Estas hormonas son imprescindibles para el desarrollo del sistema nervioso central (SNC), la formación de los sistemas enzimáticos neuronales y la mielinización de las neuronas (Martínez et al., 2005).

En los mamíferos superiores el yodo se concentra en la glándula tiroidea, allí se convierte en aminoácidos yodados (principalmente tiroxina y yodotirosina) los cuales se almacenan en la misma como tiroglobulina y tiroxina (T₄). La triyodotironina (T₃) es secretada por la glándula tiroidea (Emstey, 2011).

En los seres humanos la deficiencia de yodo da lugar a un amplio espectro de efectos adversos, conocidos como “Trastornos causados por deficiencia de yodo” (TDY) (Arrizabalaga et al., 2013).

Su deficiencia durante la gestación puede causar discapacidades neurológicas y cognitivas en los niños, e incrementa la pérdida del bebé durante el embarazo y la mortalidad en infantes (Méndez et al., 2014). Además, es la causa más frecuente de bocio en todo el mundo.

El bocio es un aumento en el tamaño de la glándula tiroidea. Puede ser congénito o adquirido, endémico o esporádico. La asociación entre déficit dietético de yodo y la prevalencia de bocio o cretinismo está bien demostrada. Un déficit moderado de yodo puede compensarse gracias a un aumento en la eficacia de la síntesis de hormona tiroidea; sin embargo, en las áreas geográficas donde el déficit de yodo es grave, puede producirse una descompensación e hipotiroidismo (Kliegman et al., 2013).

La Organización Mundial de la Salud ha tomado nota de que la carencia de iodo es una de las principales causas de daño cerebral en la infancia, y ha pedido que se renueven los esfuerzos para erradicar este problema en los Estados Miembros que presentan una elevada incidencia de carencia de iodo. La ingesta deficiente de iodo durante el embarazo y la infancia temprana es causa de alteraciones del desarrollo cognitivo y motor en los niños pequeños. Este organismo calcula que hay 2 mil millones de personas en riesgo de sufrir carencia de iodo (OMS, 2014).

Se reconoce que la deficiencia de iodo es un problema de salud pública, que afecta tanto a países desarrollados como a países en desarrollo, en especial a estos últimos (Charoensiriwatana et al., 2010).

2.4.3 Toxicidad por ingesta excesiva de iodo

La intoxicación con iodo es provocada por el consumo de cantidades muy elevadas de este mineral al día (400 veces la dosis diaria recomendada) (Hall, 2016).

En zonas endémicas con déficit de iodo, el hipertiroidismo inducido por un aporte excesivo de éste, puede ocurrir en pacientes con tiroides multinodular, nódulos autónomos o enfermedad de Graves-Basedow latente por un incremento en la producción y liberación de hormona tiroidea. En zonas con suficiente aporte de iodo, la incidencia de hipertiroidismo inducido por la ingesta excesiva de este es baja (Hall, 2016).

El aumento de captación de iodo por la tiroides puede llevar a una inhibición de la síntesis de hormona tiroidea (efecto Wolff-Chaikoff) y con el tiempo causa bocio o mixedema por yoduro. Con dosis de yoduro muy altas, puede presentarse sabor metálico, aumento de salivación, irritación gástrica y lesiones cutáneas acneiformes (Hall, 2016).

El hipertiroidismo inducido por el iodo es una alteración que puede ocurrir principalmente en adultos mayores cuando se incrementa en forma súbita la ingestión de iodo por poblaciones con deficiencia del mismo. El incremento relativo en el consumo de iodo y la rapidez del incremento son factores importantes en la aparición de estos casos (Martínez et al., 2005).

2.4.4 Metabolismo del yodo en los humanos

Los yoduros ingeridos por vía oral se absorben desde el tubo digestivo hasta la sangre de la misma forma que los cloruros. En condiciones normales, la mayor parte se excreta con rapidez por vía renal, pero siempre después de que las células tiroideas hayan retirado selectivamente una quinta parte de la sangre circulante y la hayan empleado en la síntesis de hormonas tiroideas (Hall, 2016).

La membrana basal de las células de la tiroides posee la capacidad específica para bombear de forma activa el yoduro al interior de la célula. Este bombeo se consigue mediante la acción de un importador del yoduro de sodio, que cotransporta el ion yoduro a lo largo de dos iones sodio a través de la membrana basolateral (plasma) a la célula. La energía para el transporte del yoduro en contra de un gradiente de concentración proviene de la bomba de sodio – potasio- adenosina trifosfatasa (ATPasa), que bombea sodio al exterior de la célula, con lo que se establece una baja concentración de sodio intracelular y un gradiente para facilitar la difusión de sodio en la célula (Hall, 2016).

El proceso de concentración de yoduro en la célula se denomina atrapamiento de yoduro. En una glándula normal, la bomba de yoduro concentra esta sustancia hasta que su concentración supera en 30 veces la de la sangre. Cuando la glándula tiroides alcanza su máxima capacidad, la relación entre ambas concentraciones puede elevarse hasta 250 veces. El atrapamiento del yoduro por la glándula tiroides depende de diversos factores, el más importante de los cuales es la concentración de la tirotropina u hormona estimulante de la tiroides (TSH por sus siglas en inglés); esta hormona estimula la actividad de la bomba de yoduro en las células tiroideas, mientras que la hipofisectomía la disminuye (Hall, 2016).

El yoduro es transportado fuera de las células tiroideas a través de la membrana apical hacia el folículo por una molécula de cotransporte de cloruro- yoduro denominada pendrina (Figura 1). Las células epiteliales tiroideas secretan también en el folículo tiroglobulina que contiene aminoácidos de tirosina a los que se unirá el yodo, para la formación de tiroxina (T_4) y triyodotironina (T_3) (Hall, 2016).

2.4.5 Valores nutrimentales de referencia

Tal como lo mencionan Martínez et al. (2005) en México no se han realizado estudios propios para establecer recomendaciones específicas de consumo de Iodo para la población mexicana, por lo tanto, se han aceptado las recomendaciones sugeridas por el Instituto de Medicina de los Estados Unidos de América para las diferentes etapas de la vida, las cuales se exponen en el Cuadro 2.

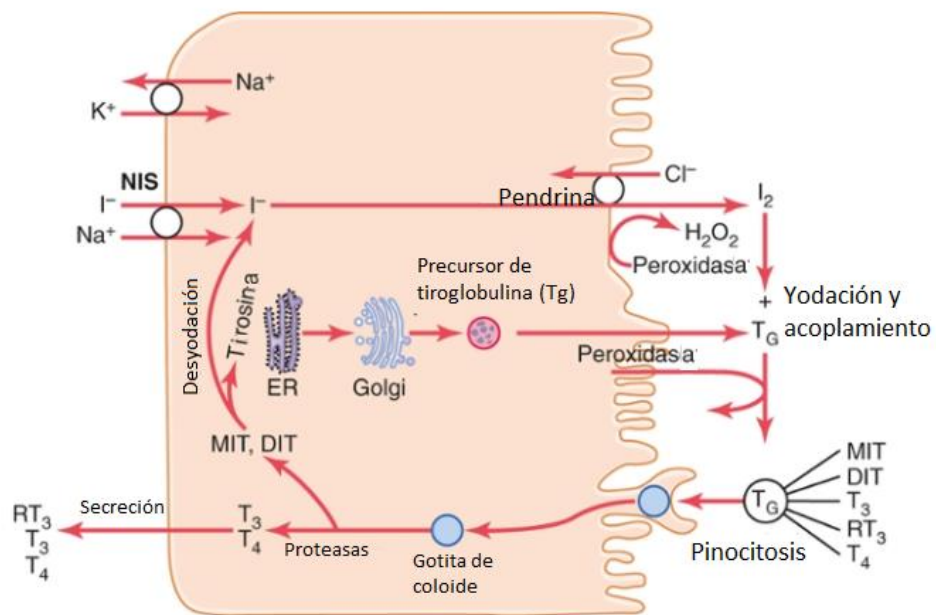


Figura 1. Mecanismos de las células tiroideas para el transporte de iodo, la formación de tiroxina y de triyodotironina y la liberación de esta a la sangre (Hall, 2016).

2.4.6 Situación de la deficiencia de Iodo en México

En México, existe evidencia de la presencia de bocio desde antes de la conquista por los españoles. El bocio era conocido como *quechpezahuailiztli* y *pjadsisi* por los aztecas y los mayas, respectivamente. Desde 1889 se documentó el problema de bocio endémico en México (Martínez et al., 2005).

En 1942, por decreto presidencial, el consumo de sal iodada se hizo obligatorio como estrategia para la disminución de las enfermedades por deficiencia de iodo. Posterior a eso, en México se alcanzó una concentración promedio de iodo en orina de

235 µg/L (UIC por sus siglas en inglés), al parecer, en ese momento, el estatus de iodo en la población ya era adecuado, siendo la cobertura doméstica con sal iodada de 91% (ICCIDD, 2003).

Durante el último decenio del siglo XX, la deficiencia de iodo adquirió nuevamente relevancia, pues estudios puntuales hicieron evidente que aun persistía una deficiencia

Cuadro 2. Recomendaciones para la ingesta de iodo

Grupos de edad	Sexo	IDS	IDR	LSC
		µg/d	µg/d	µg/d
Lactantes				
0-6 meses	M + F	110	-	-
7-12 meses	M + F	130	-	-
Niños menores				
1-3 años	M + F	-	65	200
4-8 años	M + F	-	65	300
Niños mayores y adolescentes				
9-13 años	M	-	73	600
9-13 años	F	-	73	600
14-18 años	M	-	95	900
14-18 años	F	-	95	900
Adultos				
19-50 años	M + F	-	150	1100
51-70 años	M + F	-	150	1100
Más de 70 años	M + F	-	150	1100
Embarazo				
Menos de 18 años		-	220	900
19-30 años		-	220	1100
31-50 años		-	220	1100
Lactancia		-	290	1100

M=Masculino, F=Femenino, IDS=Ingesta Diaria Sugerida, IDR=Ingesta Diaria Recomendada, LSC=Límite Superior de Consumo

Fuente: Martínez et al. (2005)

subclínica y que la sal podía estar iodada inconsistentemente, como lo habían demostrado algunos autores en otros países y en México (Martínez et al., 2005). Además, dependiendo del tiempo de almacenamiento, el iodo presente en la sal iodada puede

perderse. El promedio de pérdidas es mayor del 50% (Gjorgovska et al., 2010). En consecuencia, se tiene menos consumo de iodo del indicado. El iodo es volátil en su almacenamiento y cocción. Este micronutriente se sublima con facilidad y sólo permanece en el paquete de sal durante unos 3-5 meses.

Aunado a esto, otros elementos que participan en la deficiencia del iodo en México son la baja disponibilidad del nutriente en los alimentos, las características geográficas; así como la baja capacidad funcional de la glándula tiroides o procesos alterados de reabsorción del iodo como resultado de deficiencia de este elemento a través de generaciones (Martínez et al., 2005).

A pesar de que en México existe un programa de yodación de la sal para consumo (NOM-040-SSA1-1993), las enfermedades asociadas a la deficiencia de iodo no se han erradicado en algunas poblaciones vulnerables del país.

Se considera déficit leve de iodo una yoduria inferior a 100 µg/L; aumentando la posibilidad de trastornos por déficit de iodo (Capdevila et al., 2010) (Cuadro 3).

Un estudio realizado en el año 2000 mostró que la prevalencia en niños mexicanos de 6 - 12 años (escolares) con una excreción urinaria de iodo < 50 µg/L era del 14.3%, que el 20.4% de los niños evaluados tenían bocio y que el 25.7% de la sal que consumían contenía <15 ppm de iodo (López et al., 2013).

El estado de Hidalgo es una zona endémica con deficiencia de iodo (DI), pues en 2002, se informó una prevalencia de yodurias < 100µg/L en 15.7% de los niños escolares residentes en albergues indígenas del estado (Cruz, 2000). En tres zonas del estado de Hidalgo se detectó bocio en 10.5% de los niños escolares, y en 22% se registraron yodurias <100 µg/L (zona de la Huasteca, 32%; Pachuca, 24%, y el valle del Mezquital 9%) (Martínez et. al., 2002).

Un estudio importante a mencionar es el de hipertirotropinemia como indicador del estado de suficiencia de iodo. Vela et al. (2003) realizaron un estudio entre los años de 1999 a 2000, en cinco estados de la República, Jalisco, Tlaxcala, San Luis Potosí, Oaxaca, Zacatecas; en muestras sanguíneas de recién nacidos mexicanos y los resultados mostraron que todos presentaban deficiencia leve del elemento. Los autores

señalan que a pesar de que el bocio endémico parecía haber disminuido en forma importante en esos años en México, el hecho de que los neonatos presentaran, después de las 48 horas de nacidos, hipertirotropinemia, era preocupante puesto que la deficiencia de iodo, aunque sea leve, produce en los niños discapacidad intelectual permanente.

Cuadro 3. Criterios epidemiológicos para evaluar el aporte alimentario de iodo basados en las concentraciones medianas de iodo en orina de distintos grupos destinatarios

Concentración media de iodo en orina ($\mu\text{g/L}$)	de Ingesta de iodo	Estado Nutricional
Niños en edad escolar (mayores de 6 años)		
<20	Insuficiente	Carencia grave de iodo
20- 49	Insuficiente	Carencia moderada de iodo
50- 99	Insuficiente	Carencia leve de iodo
100- 199	Suficiente	Nutrición correcta con respecto al iodo
200- 299	Valor superior a las necesidades	Riesgo leve de ingesta de iodo superior a la necesaria
>300	Excesiva	Riesgo de sufrir problemas de salud (hipertiroidismo inducido por el iodo, tiroiditis autoinmune)
Embarazadas		
<150	Insuficiente	
150- 249	Suficiente	
250- 499	Valor superior a las necesidades	
>500	Excesiva	
Madres lactantes y menores de 2 años		
<100	Insuficiente	
>100	Suficiente	

(OMS, 2014)

En el 2013 se evaluaron 1,333 niños (lactantes, preescolares tempranos y preescolares tardíos) residentes en 56 municipios de Hidalgo, con edades de 8 meses a 5 años. En dicho estudio se observó que las localidades rurales son las más afectadas, pues se detectaron diferencias notables en la concentración promedio de iodo, tanto en la sal como en la orina, siendo menores en climas húmedos y mayores en climas secos. Por otro lado, el grado de marginación también influyó en la cantidad de iodo en la sal y la yoduria de los niños, entre mayor fue el grado de marginación menores cifras promedio

de iodo fueron registradas. En cambio, en los niños que habitaban en localidades urbanas, hubo diferencia en los promedios de iodo en la sal en los diferentes climas, pero no se registraron cambios en las concentraciones de yoduria, y el grado de marginación no se relacionó con menores cantidades de iodo en sal (López et al., 2013)

La DI en los niños del estado de Hidalgo tuvo la siguiente distribución geográfica: el 52% de los niños con yoduria $< 100 \mu\text{g/L}$ residían en localidades rurales con climas húmedos, y el 60% de los niños con $>300 \mu\text{g/L}$ de yoduria vivían en localidades urbanas o rurales con climas secos, lo que indica que el porcentaje de humedad se relaciona tanto con la DI como con el exceso (López et al., 2013).

También se encontró que el contenido de sal de consumo familiar varía significativamente entre marcas y tipos de sal y solamente 59.3% de las muestras de sal, cumplían el rango de iodo establecido en la Norma Oficial Mexicana ($30 \pm 10 \text{ ppm}$) y cerca del 20% de ellas no contenían la cantidad mínima recomendada por la OMS ($> 15 \text{ ppm}$ de iodo). Por otra parte, 12.2% de las muestras de sal tenían concentraciones de iodo $>40\text{ppm}$, cifra que se encuentra por encima del rango establecido (López et al., 2013).

Durante 2013, se registraron en México 137 casos de Bocio (Jalisco 18, México 14, Veracruz y Michoacán 9 casos, entre los estados con mayor incidencia) (SSA, 2013).

Se ha descrito también, una alta prevalencia de deficiencia de iodo (DI) en niños tarahumaras y en habitantes de Arandas, Jalisco. En niños que asistían al Instituto Alteño para el desarrollo de Jalisco (INADEJ) en Arandas, Jalisco (1997- 1999), se encontró que los niveles de iodo en orina eran anormalmente bajos en 29% de la población estudiada y de estos 10.5% podrían considerarse con un déficit moderado o grave (Vásquez et al., 2001). Posteriormente entre los años 2000 y 2010, se realizó el estudio en niños atendidos por el INADEJ, y niños del sistema escolar del municipio. Se observó una disminución significativa en la prevalencia de deficiencia leve de iodo ($<100 \mu\text{g/l}$) en los niños de INADEJ 2010 (9.5%), respecto a los niños de INADEJ 2000 (29%). Sin embargo, los niños del sistema escolar mostraron una prevalencia mayor de deficiencia leve de iodo (46.5%) que los niños de INADEJ 2010 (9.5%) (Vásquez et al., 2014).

2.4.7 Presencia de iodo en los alimentos

La ingesta de alimentos ricos en iodo es la única vía de administración del mismo (Capdevila et al., 2010). El contenido de dicho elemento en los alimentos puede variar enormemente. En el caso de los alimentos de origen vegetal, su contenido depende principalmente del tipo de suelos de cultivos, el agua y los fertilizantes usados. En el caso de los productos de origen animal, su concentración está en relación al tipo de alimento consumido por los animales. En forma general, se puede indicar que aquellas zonas más cercanas a los océanos poseen mayor contenido de iodo que las zonas montañosas (Martínez et al., 2005).

Las principales fuentes alimentarias de iodo son los productos del mar; mariscos, peces, algas marinas (300 a 3000 ng/g); seguidas por los vegetales, carnes y huevo (con aportes de casi 300 ng/g), productos lácteos y cereales (100 ng/g) y las frutas (40 ng/g) (Cuadro 4). Como lo señalan varios autores, los alimentos de origen marino son los que mayor cantidad de iodo poseen, porque el yoduro y el yodato que se encuentran en las aguas marinas entran en el ciclo metabólico de la mayor parte de la flora y la fauna marinas (Gjorgovska et al., 2010; Civantos et al., 2013).

En la corteza terrestre, el iodo se presenta en una concentración de 0,14 ppm, mientras que en el agua de mar su abundancia es de 0,052 ppm. A pesar de la baja concentración del microelemento en el agua marina, ciertas especies de algas pueden extraerlo y acumularlo (Emstey, 2011).

Cuadro 4. Contenido de iodo ($\mu\text{g}/100\text{g}$) en alimentos de consumo común

Alimento	Iodo	Alimento	Iodo
Leche de vaca	3.3	Arroz	2.0
Queso procesado	5.1	Harina de trigo	5.8
Huevo de gallina	9.5	Zanahoria	1.6
Carne de res	5.4	Manzana	2.0*
Carne de cerdo	4.5	Naranja	2.0*
Atún en aceite	50	Plátano	2.0
Maíz	2.6	Sandía	10

Fuente: Martínez et al. (2005), Moreiras et al. (2010)

2.5 Generalidades sobre las algas marinas

2.5.1 Clasificación

Existen principalmente dos tipos de algas; macroalgas (algas marinas) que pueden ser de gran tamaño y microalgas (algas pequeñas) que se encuentran en hábitats bentónicos y de litoral, así como en aguas de los océanos en forma de fitoplancton. Las macroalgas generalmente residen en la zona litoral y pueden ser de muchas formas, tamaños, colores y composiciones diferentes. Estas se clasifican en algas pardas o cafés (Ochrophyta), algas rojas (Rhodophyta) y algas verdes (Chlorophyta) (Chapman y Chapman, 1980).

2.5.2 Composición química

Las algas tienen una variabilidad muy alta en su composición química, ya que esta depende de la especie, el tiempo de cosecha, hábitat y condiciones ambientales como la temperatura del agua, intensidad de la luz y la concentración de nutrimentos en el agua (Cuadro 5) (Carrillo et al., 2002; Makkar et al., 2015).

En general, las algas marinas contienen solo pequeñas cantidades de lípidos (1-5% en materia seca). En las algas cafés y rojas predominan dentro de esta fracción los ácidos araquidónicos (20:4 n-6 AA) y el eicosapentaenoico (20:5 n-3 EPA) (Makkar et al. 2015). También contienen nitrógeno no proteico (como nitratos libres), lo que en ocasiones resulta en una sobre estimación de su contenido proteico. El factor de conversión del nitrógeno proteico es de 5.38, 4.92 y 5.13 para algas pardas, rojas y verdes, respectivamente. Contienen aminoácidos esenciales para los humanos como metionina, cisteína, lisina entre otros (Cuadro 6) (Makkar et al., 2015).

Si bien es cierto, que las algas pardas tienen un menor contenido de proteína con respecto a las algas rojas y verdes, también es cierto que se caracterizan por poseer un alto contenido mineral (Cuadro 5) (concentran minerales del agua de mar y contienen 10-20 veces los minerales de las plantas terrestres) y una cantidad importante de compuestos bioactivos (Carrillo et al., 2002; Makkar et al., 2015). Tal es el caso del alga parda *Macrocystis pyrifera*.

Cuadro 5. Composición química de algunas especies de algas marinas

Componente Químico	<i>Ascophyllum nodosum</i> (alga parda)	<i>Laminaria</i> y <i>Saccharina sp.</i> (alga parda)	<i>Sargassum sp.</i> (alga parda)	<i>Palmaria palmata</i> (alga roja)	<i>Ulva sp.</i> (alga verde)
Proteína Cruda (%)	8.0	9.8	8.5	19.1	18.6
Fibra Cruda (%)	5.5	6.6	10.1	1.5	6.9
FDN (%)	20.9	16.6	29.5	NR	26.2
FDA (%)	13.1	NR	21.3	NR	8.7
Lignina (%)	13.8	NR	4.5	NR	3.5
Extracto etéreo (%)	3.9	0.8	1.2	NR	1.2
Cenizas (%)	22.5	31.5	35.9	24.5	23.0
Energía bruta (MJ/kg)	14.6	NR	9.1	NR	14.7
Ca (g/kg)	20.0	8.8	3.8	NR	29.2
P (g/kg)	1.0	3.0	2.2	NR	2.7
K (g/kg)	2.0	59.5	46.2	NR	22.1
Na (g/kg)	NR	25.3	76.6	NR	20.2
Mg (mg/kg)	8.0	5.5	7.7	NR	16.7
Mn (mg/kg)	12.0	6.0	214.0	11.0	101.0
Zn (mg/kg)	181.0	111.0	214.0	143.0	45.0
Cu (mg/kg)	28.0	14.0	7.0	24.0	12.0
Fe (mg/kg)	134.0	233.0	7291.0	153.0	1246.0

*NR: no reportado Fuente: Makkar et al. (2015)

FDN (Fibra Detergente Neutro), FDA (Fibra Detergente Ácida)

2.6 Alga marina parda *Macrocystis pyrifera*

2.6.1 Generalidades

M. pyrifera es un alga de gran tamaño que en ocasiones alcanza una longitud de 50 m o más. En su base se encuentra sujeta a un substrato rocoso por medio de un rizoide, del cual se origina el estipe primario de la planta, que tiene apariencia de tallo y de este a su vez parten los cauloides que tienen apariencia de ramas. A lo largo de estos, se encuentran estructuras flotadoras llamadas neumatocistos o aerocistos de donde se despliegan las láminas, constituyendo cada cauloides, con sus aerocistos y láminas, una fronda. Los aerocistos sostienen las frondas y permiten que crezcan hacia la superficie. Una vez que la fronda alcanza la superficie continúa creciendo y expandiéndose, formando un denso dosel flotante. Cada planta consta de un gran número de frondas, contando siempre con una mezcla de frondas juveniles, adultas y senescentes (Casas, 2001).

Cuadro 6. Contenido de aminoácidos (g/16 g nitrógeno) en algunas algas marinas y en la soya

Aminoácidos	<i>Ascophyllum nodosum</i>	<i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Saccharina japonica</i>	<i>Macrocystis pyrifera</i>	<i>Ulva sp.</i>	Pasta de Soya
Esenciales						
Metionina	1.3	1.9	1.7	1.9	1.6	1.32
Cistina	NR	1.2	2.2	2.6	5.9	1.38
Valina	4.1	7.8	6.7	5.2	4.4	4.5
Isoleucina	3.1	4.5	3.5	3.4	2.6	4.16
Leucina	5.3	7.9	6	5.8	5.2	7.58
Fenilalanina	3.2	4.7	3.9	3.8	3.6	5.16
Tirosina	0.9	2.8	2.3	2.6	1.4	3.35
Histidina	1.4	2.9	3	1.3	2.0	3.06
Lisina	4.6	6.2	5.8	4.7	3.8	6.18
Treonina	0.9	4.4	4.5	4.6	3.8	3.78
Triptófano	1.4	0.5	0.4	0.9	NR	1.36
No esenciales						
Serina	3.5	3.8	3.6	4.2	4.2	5.18
Arginina	6.0	5.2	4	3.5	4.5	7.64
Ácido glutámico	11.6	10.5	15	14.3	13.3	19.92
Ácido aspártico	8.4	7.5	10	9.7	7.9	14.14
Prolina	3.0	3.5	3.1	3.6	2.8	5.99
Glicina	4.8	5.2	4.7	4.5	5.4	4.52
Alanina	5.4	10.7	6.5	10.9	5.9	4.54

*NR: no reportado Fuente: Makkar et al. (2015)

2.6.2 Descripción botánica y taxonómica de *Macrocystis pyrifera*

La clasificación taxonómica de *M. pyrifera* es la siguiente:

- División: Ochrophyta
- Clase: Phaeophyceae
- Orden: Laminariales
- Familia: Lessoniaceae
- Género: *Macrocystis*
- Especie: *pyrifera*

2.6.3 Distribución en México y potencial de cosecha

La distribución de *M. pyrifera* en la costa occidental de la península de Baja California se divide en dos grupos, separados por una discontinuidad natural en Bahía Vizcaíno. Los mantos de la parte norte comprenden desde la frontera con los Estados Unidos de Norteamérica (EEUU), hasta Punta San Fernando, Baja California, estos mantos estaban sujetos a explotación; mientras que los de la parte sur permanecen sin ser explotados y se localizan de Isla San Benito, Baja California a Punta San Pablo, Baja California Sur (Casas et al., 1996).

Esta alga es la especie más importante para la producción de alginatos, por su abundancia y alto contenido de este ficocoloide (Hernández-Carmona et al., 2012). Por tal motivo, se empezó a cosechar en 1958 con una producción promedio de 40,000 toneladas anuales (peso fresco). En aquel entonces, esta alga se vendía a la compañía Kelco en California, EU para la extracción de alginatos; sin embargo, la empresa cerró en 2006 y ahora solo se cosecha una pequeña cantidad del alga para la elaboración de fertilizantes y como alimento para la abulón (Productos del Pacífico, comunicación personal). Esta situación crea una oportunidad de inversión en la que se tiene una amplia disponibilidad del recurso sin explotar y además se cuenta con el proceso tecnológico para la obtención de alginatos (Casas-Valdez et al., 2011; Hernández et al., 2012).

Debido a la importancia que este recurso tenía, por los altos rendimientos y calidad de los alginatos que de él se obtenían, se realizaron varias evaluaciones sobre los mantos formados por el alga en estas zonas (Casas et al., 1996).

Esta especie presenta una alta tasa de regeneración (12 cm/día en verano, a 20.8 cm/día en invierno) lo que permite se efectúen dos cosechas al año. Esto evidencia un alto potencial de cosecha para Baja California Sur de 30,000 t anuales en peso húmedo. Esta cantidad representa 3000 t en peso seco (10%), con las cuales se puede producir 600 t de alginatos (20%) (Casas et al., 1996; Hernández et al., 2012).

Aunque México cuenta con este abundante recurso y la tecnología para la obtención de alginatos, no hay empresas dedicadas a su industrialización, por ello durante el periodo correspondiente al segundo semestre de 2007 al primer semestre del 2008, México importó 535 toneladas de alginatos provenientes de 12 países. El costo fue de 6.2 millones de dólares (11.6 dólares por kg) (Hernández et al., 2012).

2.6.4 Composición química

Tal como ocurre con la mayoría de las macroalgas café, la cantidad de proteína presente en *M.pyrifera*, no corresponde a un ingrediente proteico (Cuadro 7), sin embargo, la composición de aminoácidos es interesante (Cuadro 6 y 8) ya que al combinarse en la dieta, con la pasta de soya (ingrediente comúnmente utilizado en la alimentación de las aves como fuente de proteína), puede contribuir a cubrir las necesidades del ave en lo que respecta a los aminoácidos metionina y cisteína, los cuales son limitantes en la pasta soya (Cuca et al., 2010). Por otra parte, *M. pyrifera* también posee un alto contenido de minerales como se muestra en el Cuadro 7. Particularmente, es interesante notar que, en lo que respecta al iodo, su contenido es alto en comparación con otras algas verdes y rojas, así como con otros alimentos considerados ricos en este elemento mineral.

Ahora bien, aunque esta alga es una excelente fuente de iodo, no es una práctica común en México el consumo de este tipo de alimento, además de que esta alga tiene una textura que resulta desagradable al paladar y por su alto contenido en taninos provoca escozor en la lengua. Sin embargo, incorporarla en la dieta de las gallinas, podría ser una alternativa para que el huevo sea fortificado con este elemento mineral, y la población que tiene deficiencia de este mineral pueda cubrir parte de sus necesidades de iodo al consumir este tipo de huevo fortificado con iodo.

2.7 Generalidades sobre el huevo de gallina

2.7.1 Composición química del huevo

El huevo de gallina ocupa uno de los primeros lugares en la tabla nutricional, debido a que constituye una fuente económica de calorías y proteínas de primera calidad,

de hecho, todos los aminoácidos esenciales para los seres humanos se encuentran en el huevo en proporciones ideales. Por tal motivo, su proteína es utilizada por la Organización Mundial de la Salud como patrón de referencia para evaluar el resto de proteínas de origen animal. Su valor nutrimental se muestra en el Cuadro 9.

Su composición química depende de la dieta de la gallina, así como del sistema de crianza, siendo los lípidos o fracción grasa el componente más variable en el huevo (Quintana, 2011).

Cuadro 7. Composición química de *Macrocystis pyrifera*

Componente químico	<i>M. pyrifera</i>
Proteína Cruda (%)	10.0
Fibra Cruda (%)	8.0
FDN (%)	19.9
FDA (%)	12.6
Lignina (%)	3.6
Extracto etéreo (%)	0.6
Cenizas (%)	32.0
Energía bruta (MJ/kg)	9.0
Calcio (g/kg)	14.1
Fósforo (g/kg)	2.9
Potasio (g/kg)	67.5
Sodio (g/kg)	36.9
Magnesio (mg/kg)	39
Manganeso (mg/kg)	11
Zinc (mg/kg)	12
Cobre (mg/kg)	2
Hierro (mg/kg)	117
Iodo (mg/kg)*	830-1530

Fuente: (Castro et al., 1994; Makkar et al., 2015; *Rodríguez y Hernández, 1991)

FDN-Fibra Neutro Detergente, FDA-Fibra Ácido Detergente

Cuadro 8. Composición en aminoácidos (g/16 g nitrógeno) de *Macrocystis pyrifera* en comparación con la soya.

Aminoácidos	<i>M. pyrifera</i>	Soya
Esenciales		
Metionina	1.9	1.32
Cistina	2.6	1.38
Valina	5.2	4.5
Isoleucina	3.4	4.16
Leucina	5.8	7.58
Fenilalanina	3.8	5.16
Tirosina	2.6	3.35
Histidina	1.3	3.06
Lisina	4.7	6.18
Treonina	4.6	3.78
Triptófano	0.9	1.36
No esenciales		
Serina	4.2	5.18
Arginina	3.5	7.64
Ácido glutámico	14.3	19.92
Ácido aspártico	9.7	14.14
Prolina	3.6	5.99
Glicina	4.5	4.52
Alanina	10.9	4.54

Fuente: Castro et al. (1994); Makkar et al. (2015)

Normalmente el contenido de iodo en el huevo está en un intervalo de 9.5-12.7 μ g (Cuadro 9). Se le encuentra tanto en la yema como en la albumina, pero la mayor cantidad de minerales está situada en la yema (Arrizabalaga et al., 2013).

Cuadro 9. Composición química del huevo de gallina (en 100g)

Componente	Unidad	Huevo Fresco	Clara	Yema	Huevo deshidratado
Energía	kcal	154	45	342	590
Humedad	%	74.39	86.11	50.84	4.55
Carbohidratos	g	1.11	0.92	0.81	4.03
Proteínas	g	12.33	10.57	16.18	46.13
Lípidos totales	g	11.14	0.20	30.56	41.86
Ácidos grasos					
Saturados	g	3.21	0	10.18	13.63
Monoinsaturados	g	4.39	0	13.61	17.09
Poliinsaturados	g	1.92	0	4.22	5.69
Colesterol	mg	436.33	0	1313.40	1819.00
Minerales					
Calcio	mg	55.42	8.48	137.00	207.33
Fósforo	mg	199.10	13.73	512.25	708.66
Hierro	mg	20.40	0.35	5.82	8.16
Magnesio	mg	11.94	10.50	13.75	43.00
Sodio	mg	132.97	176.80	55.60	520.50
Potasio	mg	134.00	144.00	111.40	485.00
Cinc	mg	1.36	0.05	3.49	5.41
Iodo*	µg	12.70*	3**		
Vitaminas					
RAE (vit.A)	µg	188.20	0	552.00	586
Ácido ascórbico	mg		0	0	0
Tiamina (vit B ₁)	mg	0.12	0.02	0.27	0.31
Riboflavina (vit. B ₂)	mg	0.36	0.031	0.42	1.17
Niacina	mg	0.11	0.09	0.08	0.20
Piridoxina (vit. B ₆)	mg	0.12	0.01	0.30	0.40
Ácido fólico	µg	48.82	15.25	145.50	184.00
Cobalamina (vit B ₁₂)	µg	1.54	0.37	2.60	10.00

Fuente: (*Quintana, 2011, **Seuss, 2007; Carrillo et al., 2014)

2.7.2 Producción y Consumo de huevo en México

En 2016, México ocupó el cuarto lugar en producción de huevo, después de China, Estados Unidos e India, con un volumen de alrededor de 2.7 millones de toneladas al año y 158.7 millones de gallinas ponedoras (INA, 2017) (Figura 2).

México es el primer país consumidor de huevo en el mundo. De acuerdo con las estadísticas globales, para 2018, se espera que el consumo de huevo cierre en 23.3

kilogramos por habitante, lo que da una idea de la importancia del alimento para la población mexicana (INA, 2017) (Figura 3).

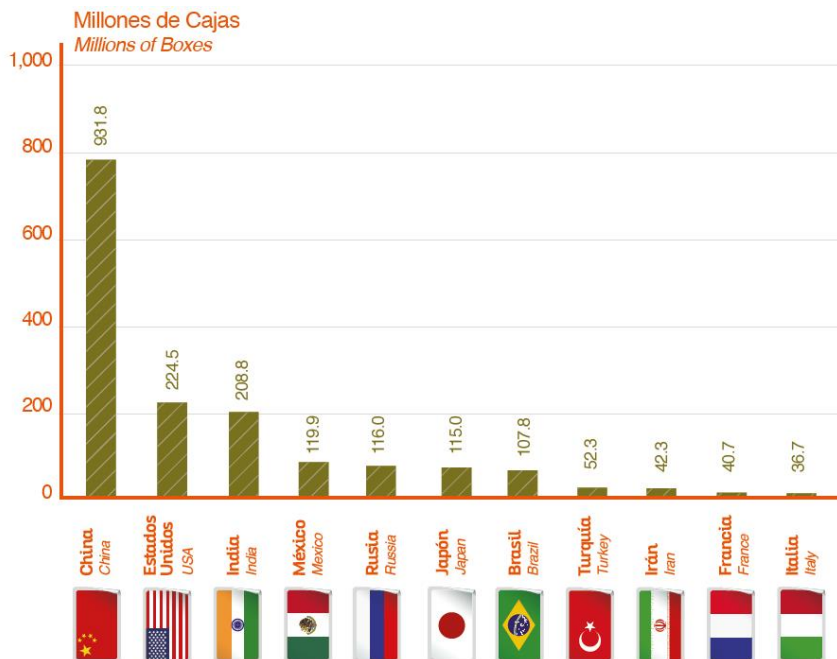


Figura 2. Principales países productores de huevo
Fuente: UNA (2017)

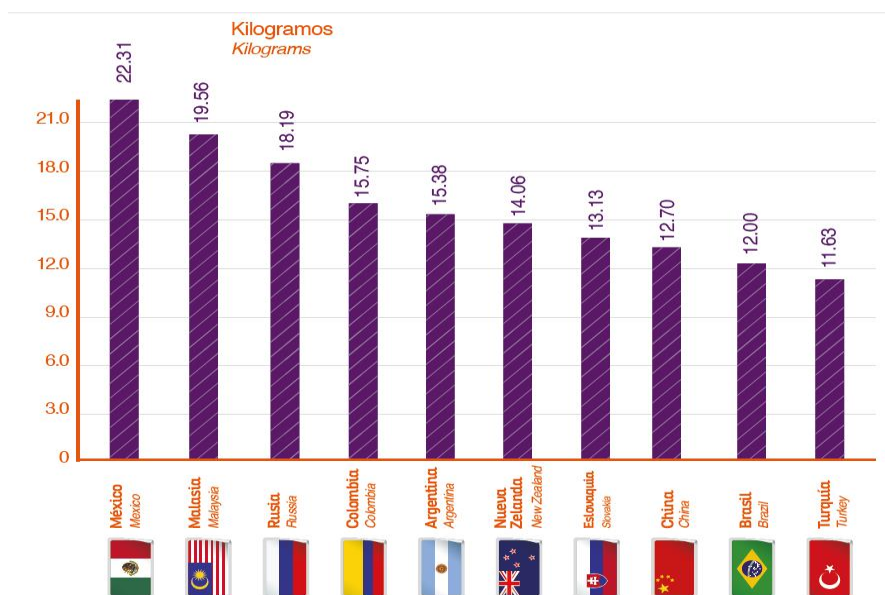


Figura 3. Principales países consumidores de huevo
Fuente: UNA (2017).

2.8 Estudios realizados para enriquecer con iodo el huevo para consumo

Autor, año de publicación	Aportación
Kaufmann et al. (1998)	<p>Utilizaron como fuente de iodo en la alimentación de gallinas KIO_3 (0.5, 1.0, 2.0, 5.0 mg l/kg de alimento) y alga marina roja (<i>Euchema spinosum</i>) 5 y 10% (2.5, 4.9 mg l/kg de alimento), en 40 gallinas de 24 semanas de edad durante 4 semanas. Encontraron que dichas concentraciones, incrementaron el contenido de iodo en yema y clara después de 2 y 4 semanas (de $16.1 \pm 2.7 \mu g$ a $51.4 \pm 6.2 \mu g$ después de la suplementación con 5.0 mg l/kg de alimento. La biodisponibilidad del iodo del alga fue menor comparado con el KIO_3, (aprox.50-60%), sin embargo, la concentración de iodo en la yema y clara fueron significativas.</p>
Lichovníková et al. (2008)	<p>Se estudió el efecto de la canola no tratada con la suplementación de Ca $(IO_3)_2$ en una proporción de 3 mg/kg y 100 g/kg de canola, en gallinas Isabrown de 19-64 semanas de edad, durante 45 semanas. La adición de I en la dieta incrementó el peso del huevo $p < 0.001$ (62.1 g vs 60.7 g). También incrementó el peso de la yema (15.7 g vs 15.3 g,) mejoró la calidad del cascarón $p < 0.001$, y no afectó el sabor, olor ni la aceptabilidad</p>
Charoensiriwatana et al. (2010)	<p>En este estudio se propone el consumo de huevo enriquecido con iodo para resolver la deficiencia endémica en áreas remotas en Tailandia. Como fuente de iodo se utilizó KI en una concentración de 4 mg l/kg de alimento, por 30 días. Se tomó una línea basal de iodo con 30 huevos frescos de 50-55 g con 25.31 mcg l/huevo o 75.96 mcg l/100g en peso fresco, posterior al enriquecimiento se obtuvieron huevos de 55-60g con 93.57 mcg l/huevo o 182.67 mcg l/100g en peso fresco y huevos de 60-65g con 97.76mcg l/huevo o 184.58 mcg l/100g en peso fresco.</p>
Gjorgovska et al. (2010)	<p>Como fuente de iodo se utilizó solución de KI (5mg/kg de alimento) en gallinas Hisex Brown de 80 semanas de edad. Un grupo control con dieta base y 0.8 mg l/kg, y un grupo experimental con dieta base y 5 mg l/kg, durante 30 días de tratamiento. Se muestreo huevo al día 10, 20, 30, teniendo 65, 103, 125 mcg l/100g en la yema del grupo experimental. La cantidad de iodo en la yema se incrementó lentamente, donde el nivel más alto fue después de un mes iniciado el tratamiento. El estudio mostró que los huevos enriquecidos pueden cubrir</p>

	11-15% del requerimiento diario de un adulto si consume un huevo por día.
<p><i>Słupczyńska et al. (2014)</i></p>	<p>Se estudió el efecto de ioduro de potasio (KI) y yodato de potasio (KIO₃) como fuente de I, en cantidades iguales a 1, 3 ó 5 mg de I/kg de alimento, así como 2 tipos de dieta que incluyen maíz, soya y maíz, soya y canola, además del rendimiento de las gallinas ponedoras jóvenes, la acumulación de iodo en los huevos, las características de los huevos y los índices morfológicos y bioquímicos en la sangre, en gallinas Hy-line brown, edad 18 semanas, durante 150 días. El uso de KI mejoró el peso del huevo, conversión alimenticia y disminuyó la proporción de huevos dañados. Se encontraron mayores concentraciones de eritrocitos y hemoglobina con el uso de KI. La dieta con canola tuvo mayor actividad enzimática hepática, mientras que los índices de metabolismo de lípidos no tuvieron efectos por dieta ni niveles de I. La acumulación de I fue afectada por la canola. La aplicación de KI mejoró la acumulación de I en el huevo después de 5 meses de tratamiento. El aumento en el suministro de I aumenta significativamente la acumulación del mismo en el huevo después de 3 y 5 meses (260-310 a 1011-1256 mcg/kg de huevo base húmeda).</p>
<p><i>Opaliński et al. (2012)</i></p>	<p>Se estudió el efecto de la suplementación de levadura enriquecida con iodo de una dieta sobre el rendimiento de las gallinas ponedoras, las características de los huevos y el contenido de iodo en el huevo. Tuvieron un grupo testigo, 1 mg de iodo (Ca (IO₃)₂ · H₂O) / kg de dieta y dos grupos experimentales E1 y E2, con 1 y 2 mg de iodo (I-levadura) por kilogramo de dieta respectivamente, en 60 gallinas Hy-Line Brown, edad 25 semanas, durante 12 semanas (3 meses). La I-levadura no afectó la ganancia de peso. La baja producción de huevo de E1 y E2 no fueron confirmados estadísticamente. El menor consumo de alimento fue en E1, y la conversión alimenticia fue mayor en E2. La concentración de I en la yema de los grupos E1 y E2 fue 80 y 90% mayor que el grupo control. Los resultados del estudio mostraron que la transferencia de iodo en el contenido de huevo fue significativamente mayor en los grupos de aves alimentadas con la levadura enriquecida con iodo en comparación con la forma inorgánica de ese elemento comúnmente utilizado en la alimentación de los animales.</p>

2.9 Metabolismo del iodo en las aves

El iodo es una parte integral de las hormonas tiroideas, triyodotironina y tiroxina (Klasing, 1998).

La mayor parte del iodo en los alimentos está en forma orgánica y es fácilmente absorbido a través del tracto gastrointestinal como yoduro, usando el mismo sistema de transporte que el cloruro. Las formas orgánicas del iodo como aminoácidos yodados son eficientemente absorbidos (Klasing, 1998).

La síntesis de hormonas tiroideas en especies aviares es similar a como ocurre en los mamíferos, donde el yoduro es concentrado dentro de la tiroides, llamada trampa de iodo (Sturkie, 1986). Las células foliculares tiroideas atrapan iones yoduro (I^-) por transporte activo desde la sangre hacia el citosol (Figura 4) (Tortora et al., 2013).

Las tiroides de las aves exhiben buena plasticidad en ajustarse funcionalmente a un amplio rango del contenido de iodo dietario (Sturkie, 1986). Las aves tienen una larga retención de yoduro, especialmente bajo condiciones de bajos niveles de iodo en la dieta o ayuno (Sturkie, 1986).

Mientras las células foliculares están atrapando I^- , también están sintetizando tiroglobulina (TGB), una glucoproteína grande producida por el retículo endoplásmico rugoso, modificada en el complejo de Golgi y almacenada en vesículas secretoras. Las vesículas luego sufren exocitosis, que libera TGB en la luz del folículo (Figura 4) (Tortora et al. 2013).

Algunos de los aminoácidos en la TGB son tiroxina que van a ser yodados. Sin embargo, los iones de yoduro cargados negativamente no pueden unirse a la tiroxina hasta que sufran una oxidación (pérdida de electrones) a iodo molecular: $2I^-$ a I_2 . A medida que los iones yoduro se oxidan, pasan a través de la membrana hacia la luz del folículo (Tortora et al., 2013).

Cuando se forman las moléculas de yodo (I_2), reaccionan con la tiroxina que es parte de la molécula de tiroglobulina. La unión de un átomo de yodo produce monoyodotirosina (T_1) y la segunda yodación produce diyodotirosina (T_2) (Tortora et al, 2013). Hay 3.4 mol de tiroxina/100mol del total de aminoácidos TGB. La tiroglobulina en aves es altamente yodada, representando 1.5%TG en peso, considerando que los mamíferos generalmente solo tienen 0.5% de yodo por peso. Una molécula de TGB contiene de 50- 90 átomos de yodo. La molécula de monoyodotirosina y diyodotirosina, muestran cromatográficamente estar presentes en la tiroides de las aves donde son formadas (Figura 4) (Sturkie, 1986).

La TGB con átomos de yodo incorporados, forma un material pegajoso que se acumula y se almacena en la luz del folículo tiroideo, y se conoce como coloide (Figura 4) (Tortora et al., 2013)

Durante el último paso en la síntesis de la hormona tiroidea, dos moléculas de T_2 se unen para formar T_4 o una T_1 y una T_2 se unen para formar T_3 (Figura 4) (Tortora et al., 2013).

Gotitas de coloide vuelven a entrar en las células foliculares por pinocitosis y se unen a los lisosomas. Enzimas digestivas en los lisosomas degradan la TGB, liberando moléculas de T_3 y T_4 (Figura 4) (Tortora et al., 2013).

Como la T_3 y T_4 son liposolubles, difunden a través de la membrana plasmática hacia el líquido intersticial y luego hacia la sangre. Más del 99% de la T_3 y la T_4 se combinan con proteínas de transporte en la sangre, principalmente con la globulina de unión a la tiroxina (Tortora et al., 2013).

Metabolismo de iodo en las aves

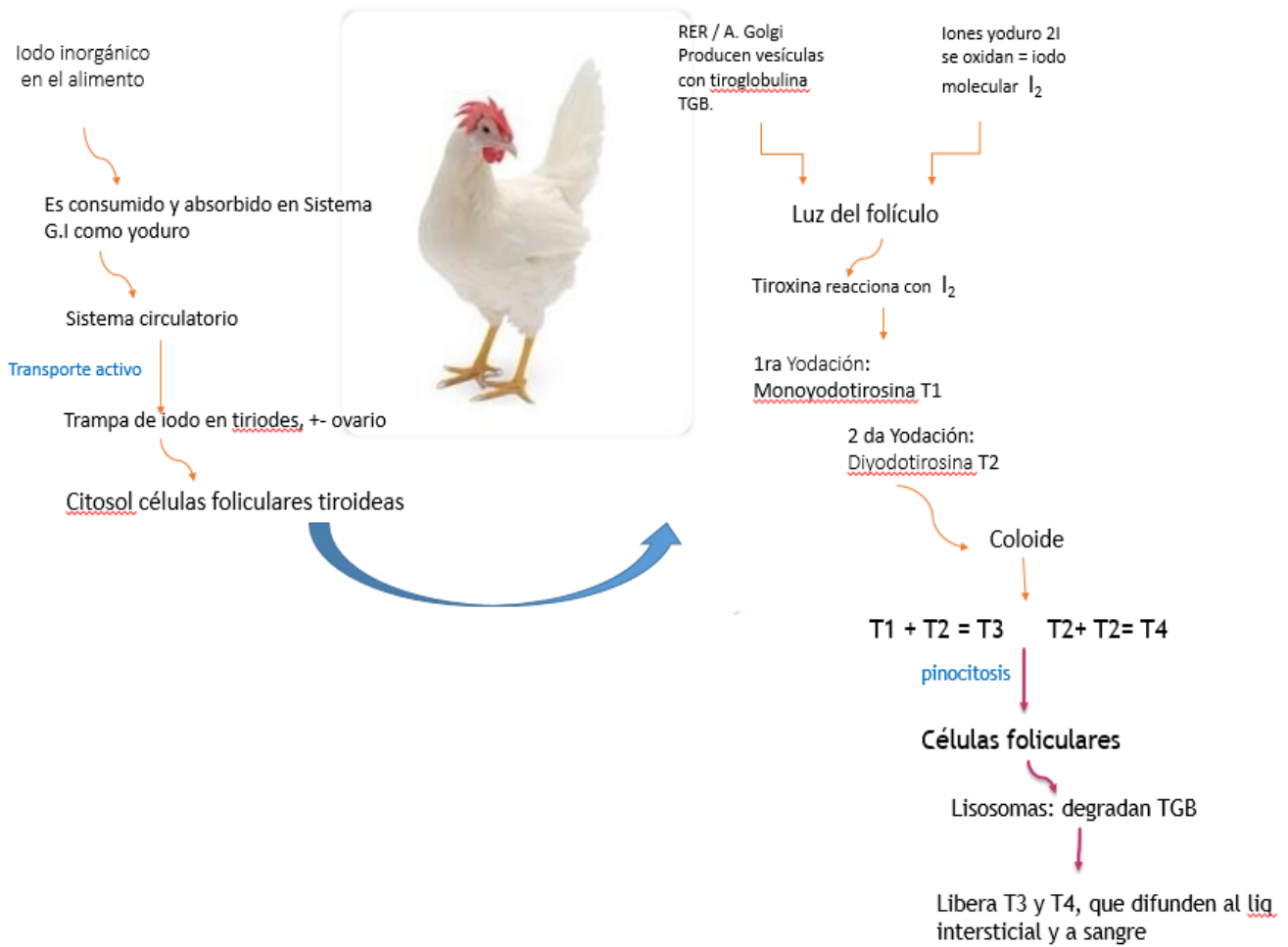


Figura 4. Metabolismo de iodo en las aves.

III. HIPÓTESIS

Al incorporar el alga marina parda *Macrocystis pyrifera* en la dieta de gallinas ponedoras, el contenido de iodo en el huevo se incrementará.

IV. OBJETIVO

Objetivo general

Aumentar la concentración de iodo en el huevo a través de la inclusión del alga marina *Macrocystis pyrifera* en la dieta de gallinas ponedoras.

Objetivos específicos

Determinar el contenido de iodo en el alga *Macrocystis pyrifera*.

Determinar si al incluir el alga *M. pyrifera* en la dieta de gallinas ponedoras:

- aumenta la concentración de iodo en el huevo.
- se afectan las variables productivas.
- se afecta la calidad física del huevo.
- se afectan las características sensoriales del huevo.
- se afectan las concentraciones de lípidos en el suero de las aves.
- se afectan los niveles de hemoglobina y hematocrito de las aves.

V. JUSTIFICACIÓN

Actualmente las enfermedades cardiovasculares, junto con la hipertensión, representan una emergencia sanitaria en México, por lo cual se ha incentivado a la población a reducir el consumo de sal. Esto conlleva el riesgo de reducir la ingesta de iodo, dado que, por decreto, la sal se ha yodado con la función de evitar una deficiencia del elemento entre la población mexicana. Además, en algunas zonas del país los suelos son deficientes en este mineral, lo que ha originado que, niños en edad preescolar y neonatos que viven en dichas zonas presenten serias deficiencias de iodo. Una alternativa para aumentar su ingesta es el consumo de algas marinas, principalmente las pardas, sin embargo, como en México la población no está acostumbrada a comerlas, se ha planteado como objetivo del presente trabajo, incorporar el alga *Macrocystis pyrifera* en la dieta de las gallinas ponedoras con el propósito de aumentar el contenido de iodo en el huevo.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Obtención y procesamiento del alga

Las algas marinas (*Macrocystis pyrifera*) fueron recolectadas por personal del Laboratorio de Macroalgas del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN), en las costas de Bahía Tortugas, B. C. S., México. La cosecha se realizó de forma manual, cortando el alga 1m por debajo de la superficie. Se expusieron al sol sobre una plancha de cemento, durante tres días, para su secado. Se molieron en un molino de martillos, posteriormente por cuarteo, se tomó un kilogramo de ésta para molerla en un molino de cuchillas con malla de 1 mm para realizar los siguientes análisis en el alga.

6.2 Análisis químico del alga

En los laboratorios del Departamento de Nutrición, Bromatología y Toxicología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, se aplicaron los siguientes análisis a la harina del alga (Cuadro 10 y 11).

- Análisis químico aproximado (AOAC, 2005)
- Minerales (Ca, P, K, Na, Mg, Fe) (AOAC, 2005)
- Metales pesados: Pb, Hg (Tejada, 1992)
- Energía bruta (Bomba calorimétrica Parr)
- Fracciones de fibra (Tejada, 1992)

Cuadro 10. Composición química de la harina del alga *Macrocystis pyrifera*

Componente químico	<i>M. pyrifera</i>
Materia seca (%)	92.70
Humedad (%)	7.30
Cenizas (%)	33.86
Proteína Cruda (%)	9.30
Extracto Etéreo (%)	1.20
Fibra Cruda (%)	5.57
Elementos libres de Nitrógeno (%)	50.07
Fibra neutro detergente (%)	19.70
Fibra ácido detergente (%)	12.60
Lignina (%)	10.50
Celulosa (%)	14.90
Hemicelulosa (%)	7.10
Contenido celular (%)	80.30
Fibra Dietética (%)	31.35
Energía bruta kcal/g	2.334

Cuadro 11. Composición mineral de la harina de algas *Macrocystis pyrifera*

Mineral	<i>M. pyrifera</i>
Calcio (g/kg)	8.11
Fósforo (g/kg)	16.9
Potasio (g/kg)	53.5
Sodio (g/kg)	30.0
Magnesio (g/kg)	12.1
Hierro (mg/kg)	117
Iodo (mg/kg)	1560
Plomo (mcg de Pb/gramo)	No detectado
Mercurio (ng de Hg/gramo)	26.29

6.3 Determinación de iodo en el alga

La determinación de iodo en la harina del alga se realizó por medio de una técnica colorimétrica (técnica con persulfato de amonio) (Pino, 1998) descrita en el Anexo 1. Se realizó en el laboratorio del Departamento de Nutrición Animal del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (Cuadro 11).

6.4 Formulación y preparación de las dietas

Las dietas se formularon utilizando como base el sorgo y la pasta de soya. El programa Nutrion (versión 5.0) fue empleado para la formulación a fin de cubrir los requerimientos energéticos y proteicos señalados por el manual de la estirpe para gallinas ponedoras Bovans White. Una vez formuladas las dietas, se prepararon en la Planta de Alimentos dentro del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAV), de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM. En el Cuadro 12, se describe la composición de las dietas y la premezcla de vitaminas y minerales traza empleada, esta última con 1 ppm de iodo, en una dosis de 2.5 kg de premezcla/t alimento.

Cuadro 12. Composición de las dietas para las gallinas ponedoras (kg/tonelada)

	Dieta Basal	DB+ 2% AM	DB + 4%AM	DB + 6%AM
Ingrediente	kg	kg	kg	Kg
Sorgo	640.58	615.61	590.63	565.13
Pasta de soya 48%	218.18	219.22	220.25	221.39
Carbonato de calcio	107.44	107.22	106.99	106.77
Aceite acidulado	13.64	19.97	26.31	32.80
Alga Marina	0	20.00	40.00	60.00
Ortofosfato	7.34	6.94	6.55	6.16
Sal	4.40	2.84	1.29	0
Premezcla vits y mins*	3.00	3.00	3.00	3.00
Lisina	2.52	2.36	2.21	2.06
Metionina 99	2.20	2.17	2.13	2.10
L- Treonina	0.29	0.25	0.21	0.17
Antioxidante	0.15	0.15	0.15	0.15
Fitasa	0.10	0.10	0.10	0.10
Antibiótico	0.10	0.10	0.10	0.10
Pigmento amarillo	0.05	0.05	0.05	0.05
Pigmento rojo	0.02	0.02	0.02	0.02
	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
Aporte calculado de nutrimentos				
Energía metabolizable (Mc/kg)	2.840	2.840	2.840	2.840
Proteína (%)	17.00	17.00	17.00	17.00
Metionina (%)	0.45	0.45	0.45	0.45
Met + Cistina (%)	0.72	0.72	0.72	0.72
Arginina (%)	0.99	0.99	0.99	0.99
Lisina (%)	0.90	0.90	0.90	0.90
Treonina (%)	0.63	0.63	0.63	0.63
Triptófano (%)	0.21	0.21	0.21	0.21
Calcio total (%)	4.30	4.30	4.30	4.30
Fósforo disponible	0.40	0.40	0.40	0.40
Sodio (%)	0.180	0.180	0.180	0.190
Cloro (%)	0.33	0.41	0.48	0.57
Iodo (mg/kg) o ppm	1.33	32.48	63.63	94.8
Colina (mg/kg)	1056.13	1042.15	1028.17	1014.12
Ac. Linoleico (%)	1.49	1.78	2.07	2.37

* Premezcla minerales que proporciona: Vitamina A 11,500.00.0 UI, Vitamina D3 4,500,00.0 UI, Vitamina E 40,000.0 UI, Vitamina K3 4.00g, Vitamina B1 1.5g, Vitamina B2 6.00g, Vitamina B6 3.00g, Vitamina 12 20.00mg, Niacina 45.00g, Ácido pantoténico-D 10.00g, Ácido fólico 1.00g, Biotina 120.00mg, Vitamina C 0.00g, Cloro 400.00g, Hierro 70.00g, Zinc 80.00g, Manganeso 110.00g, Cobre 10.00g, Iodo 1.00g, Selenio 0.30g

6.5 Análisis químico de las dietas

Se determinó el contenido de proteína cruda, energía bruta y fibra cruda de las dietas, en el laboratorio del Departamento de Nutrición y Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM. El contenido de iodo se determinó en el INCMNSZ (Cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis químico de las dietas para las gallinas ponedoras

Tratamiento	% Proteína cruda	Energía kcal/g	% Fibra cruda	Contenido de iodo (mg/kg)
Dieta 0% AM	13.56	3244.95	5.67	1.09
DB + 2% AM	13.01	3490.97	7.46	29.04
DB + 4% AM	13.77	3487.95	6.77	50.94
DB + 6% AM	13.24	3551.82	7.48	94.00

6.6 Ensayo experimental

El ensayo se realizó de marzo a julio del 2017 con una duración de 16 semanas en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAV), Tláhuac, ubicado en la calle Manuel M. López s/n, Avenida Tláhuac, km 21.5, Colonia Zapotitlán, Delegación Tláhuac, en la Ciudad de México. La altura es de 2,250 msnm, con una temperatura media anual de 18° C y una precipitación pluvial de 747 mm, con una superficie de 48,470 m².

6.6.1 Diseño del estudio

Se utilizaron 180 gallinas de la estirpe Bovans White con 56 semanas de edad distribuidas al azar en 4 tratamientos con 5 réplicas de 9 aves cada una. Los tratamientos quedaron de la siguiente manera:

Tratamiento	Contenido
T1	Dieta Basal 0%AM
T2	DB + 2% AM
T3	DB + 4% AM
T4	DB + 6% AM

6.6.2 Variables a medir

▶ Variables productivas

Se llevó un registro diario de la producción de huevo, peso de huevo, huevo sucio, huevo roto (este no se pesaba); y un registro semanal del consumo de alimento. Con estos datos se calculó la conversión alimenticia y la masa de huevo.

▶ Calidad interna y externa del huevo

Durante la primera y última semanas de experimentación se tomaron 3 huevos de cada réplica para medir, un día después de ovoposición, en cada uno las siguientes variables, utilizando un equipo automatizado (Technical Services and Supplies, 1999, England):

- Peso del huevo
- Altura de albúmina
- Unidades Haugh
- Color de la yema
- Grosor del cascarón

▶ Evaluación sensorial del huevo

Esta prueba se realizó en el Laboratorio de Evaluación Sensorial del Depto. de Ciencia y Tecnología de los Alimentos del INCMNSZ. Se utilizó una prueba de aceptación con una escala hedónica de 5 puntos (5=gusta mucho, 4=gusta poco, 3=ni gusta ni disgusta, 2=disgusta poco, 1=disgusta mucho). En cada prueba, participaron 30 panelistas adultos de ambos sexos, consumidores habituales de huevo.

- Evaluación del sabor en huevo frito

En las semanas 10 y 16 del ensayo experimental se tomaron al azar 6 huevos por tratamiento, se cocinaron a fuego bajo en una sartén de teflón rociada con aceite de canola (PAM^{MR}), no se agregó sal.

Cada muestra fue identificada con tres dígitos (seleccionados al azar en una tabla de números aleatorios) (Pedrero et al, 1989). Las cuatro muestras de huevo se colocaron en un plato de unicel blanco e iban acompañados con pan y agua para eliminar residuos de sabor entre muestra y muestra.

Se entregó a cada participante un cuestionario donde asignaban su nivel de agrado a cada muestra (Anexo 2).

- Evaluación del huevo cocido

En las semanas 10 y 16 del ensayo experimental se tomaron al azar 6 huevos por tratamiento, se colocaron en una olla cubiertos con agua y se mantuvieron con fuego alto hasta alcanzar ebullición a 92°C, se bajó el fuego y se apagó a los 15 min, por último, se dejaron enfriar dentro del agua por 10 min más. No se agregó sal en ningún momento. Cada muestra fue identificada con tres dígitos tomados al azar de una Tabla de números aleatorios (Pedrero et al. 1989).

Una vez enfriados, se retiró el cascarón y se cortaron en rodajas con ayuda de un cortador de huevo. Se sirvió una rodaja por tratamiento. Las cuatro muestras de huevo se colocaron en un plato de unicel blanco e iban acompañados con pan y agua para que el panelista pudiera eliminar residuos de sabor entre muestra y muestra.

Se entregó a cada participante un cuestionario en el que asignaba su calificación con una "X" en una escala de 5 puntos exponiendo su nivel de agrado hacia cada muestra (Anexo 3).

- Evaluación del color de la yema

En las semanas 10 y 16 del ensayo experimental se tomó al azar una pieza de huevo por cada replica. Cada yema se colocó en un plato blanco, y se identificó con un número aleatorio de tres dígitos (Pedrero et al., 1989).

Al igual que con las muestras anteriores, se proporcionó a cada participante un cuestionario donde asignaban su calificación con una “X” en una escala de 5 puntos (para el segundo y tercer muestreo) exponiendo su nivel de agrado hacia cada muestra (Anexo 4).

► Concentración de iodo en el huevo entero y en albumina (Pino et al., 1998)

En las semanas 10 y 16 de experimentación, se tomaron al azar 3 huevos de cada réplica (15 por tratamiento). De estos, en 10 se mezclaron albúmina + yema, de las otras 5 piezas solo se tomó la clara. El producto de cada pieza se colocó en un vaso de precipitados de plástico, el contenido se homogenizó con una batidora Braun, durante 60 seg en el caso del huevo completo, mientras que en el caso de la albumina eran 15 seg porque se formaba mucha espuma. El contenido de cada muestra fue vertido en un frasco de vidrio con tapón de plástico, para posteriormente liofilizarlos en un equipo USIFROID, SMH-50 Lyophilizer.

Posteriormente se procedió a la determinación de iodo en huevo completo y en albumina, utilizando una técnica colorimétrica (Pino et al., 1998), descrita en el Anexo 1.

► Concentración de triglicéridos, colesterol total, HDL y LDL en suero de las gallinas

Durante las semanas 10 y 16 de experimentación, 3 aves de cada réplica (15 por tratamiento), fueron seleccionadas al azar para tomarles muestras de sangre. Se utilizaron jeringas desechables de 10 mL, para obtener 4 mL de sangre de cada ave. La sangre se dejó caer suavemente por las paredes de tubos de vidrio (tubo BD Vacutainer con EDTA K2 7.2 mg, REF 368171, 4 ml). Los tubos se colocaron en una hielera con refrigerantes, para ser transportados a los laboratorios del INCMNSZ, donde las muestras fueron centrifugadas a 3500 rpm durante 12 min en un equipo Beckman, TJ-6 Centrifuge. El suero fue separado con pipeta Pasteur, colocado en tubos Eppendor y mantenido en congelación a -20°C en un ultracongelador (Thermo Scientific).

Posteriormente los sueros fueron descongelados a temperatura ambiente. Se realizaron diluciones 1:5 del suero con un buffer a base de NaCl al 0.85% (200 µl de buffer + 50 µl de suero), las cuales fueron depositadas en copas de muestra, Beckman

Sincron CX, 2ml, BKM-SYN 5536, colocadas en gradillas, para posteriormente realizar las lecturas de colesterol total, triglicéridos y HDL-C, en un equipo Synchron Clinical System Unicel DxC600 de la marca Beckman Coulter.

El reactivo Colesterol CHOL (Beckman Coulter no. 467825), junto con el calibrador CX MULTI de los sistemas SYNCHRON CX, se utilizó para la determinación cuantitativa de la concentración de colesterol en suero, empleando el método de punto final. En la reacción, el colesterol esterasa (CE) hidroliza los ésteres de colesterol a colesterol libre y ácidos grasos. El colesterol libre se oxida a colesteno-3-ona y peróxido de hidrógeno mediante el colesterol oxidasa (CO). La peroxidasa cataliza la reacción de peróxido de hidrógeno con 4-aminoantipirina (4AAP) y fenol para producir un producto coloreado, la quinoneimina.

El sistema SYNCHRON CX dispensa automáticamente los volúmenes apropiados de muestra y reactivo en la cubeta. La proporción usada es una parte de muestra a 100 partes de reactivo. El sistema controla el cambio de absorbancia a 520 nm. Este cambio en absorbancia es directamente proporcional a la actividad del colesterol en la muestra y es usado por el sistema SYNCHRON CX para calcular y expresar la concentración de colesterol.

El reactivo Triglicéridos-GPO (Beckman Coulter, no. 445850), junto con el calibrador CX MULTI de sistemas SYNCHRON CX, se utilizó para la determinación cuantitativa de la concentración total de triglicéridos en suero, mediante el método de punto final periódico. Los triglicéridos en la muestra se hidrolizan a glicerol y ácidos grasos libres gracias a la acción de lipasa. Una secuencia de tres pasos enzimáticos acoplados, utilizando glicerol quinasa (GK), glicerofosfato oxidasa (GPO), y peroxidasa de rábano picante (HPO) provoca el acoplamiento oxidativo del ácido 3,5- dicloro-2-hidroxibenzeno sulfónico (DHBS) con 4-aminoantipirina para formar un colorante rojo de quinoneimina.

El sistema SYNCHRON CX dispensa automáticamente los volúmenes apropiados de muestra y reactivo en la cubeta de reacción. La proporción usada es una parte de muestra a 100 partes de reactivo. El sistema controla el cambio de absorbancia a 520 nm. Este cambio en absorbancia es directamente proporcional a la concentración de triglicéridos

en la muestra y es usado por el sistema SYNCHRON CX para calcular y expresar la concentración de triglicéridos.

El reactivo HDL Colesterol (HDLD) (Beckman Coulter, no. 650207) junto con el calibrador para lípidos de los sistemas SYNCHRON se utilizaron para la determinación cuantitativa de HDL colesterol en la fracción de lipoproteínas de alta densidad (HDL) en suero, mediante un método de punto final cronometrado. Este método directo de HDL colesterol es un ensayo homogéneo que no requiere centrifugación ni ningún tratamiento previo fuera de línea. El método depende de un detergente especial que solubiliza únicamente las partículas de lipoproteína HDL y libera HDL colesterol para que reaccione con la colesterol esterasa y la colesterol oxidasa en presencia de cromógenos para producir un producto de color. El mismo detergente también inhibe la reacción de las enzimas de colesterol con las lipoproteínas LDL, VLDL y los quilomicrones mediante la adsorción de sus superficies. Un polianión contenido en el reactivo mejora la selectividad del ensayo de HDL colesterol estableciendo enlaces con LDL, VLDL y quilomicrones.

El sistema SYNCHRON CX dispensa automáticamente los volúmenes apropiados de muestra de HDL colesterol y de reactivo en una cubeta. La proporción usada es una parte de muestra a 93 partes de reactivo. El sistema controla el cambio de absorbancia a 560 nm. Este cambio en absorbancia es directamente proporcional a la concentración de colesterol en la muestra y es usado por el sistema SYNCHRON CX para calcular y expresar la concentración de HDL- colesterol.

La concentración de LDL se calculó por la diferencia de triglicéridos menos HDL.

► *Medición de Hematocrito, Hemoglobina, Concentración de hemoglobina corpuscular media (MCHC)*

Al final del experimento, se tomó una muestra de sangre a un ave de cada replica (5 por tratamiento) siguiendo el procedimiento descrito anteriormente. Solo que en este caso se tomaron 2 mL de sangre por ave, los cuales se depositaron en tubo de vidrio con anticoagulante (Tubo BD vacutainer serum, REF 367815, 6ml). Los tubos se guardaron en hieleras con refrigerantes, para ser transportados al Laboratorio.

Una vez en el laboratorio las muestras de sangre se pasaron a tubos capilares con anticoagulante, los cuales fueron sellados con plastilina y colocados en una centrifuga para microhematocrito (marca Sol-BAT, modelo H-07), a 1500 rpm por 5 min. Se realizaron las mediciones en un microhematocrito (International micro-capillary reader marca IEC). Los datos obtenidos se multiplicaron por 100 para obtenerlos en porcentaje. La hemoglobina y la concentración de hemoglobina corpuscular media (MCHC) se calcularon de la siguiente manera:

$$\text{Hemoglobina} = \frac{\% \text{ Hematocrito}}{3} * 10$$

$$\text{MCHC} = \frac{\text{Hemoglobina} \times 100}{\% \text{ Hemetocrito}}$$

6.7 Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las variables productivas, calidad física del huevo, concentración de triglicéridos y colesterol total en suero, pruebas de evaluación sensorial (sabor del huevo frito y huevo cocido, así como el color de la yema de huevo), fueron analizados a través de un Análisis de varianza para un diseño completamente al azar, utilizando la prueba de Tukey para comparación de medias ($P < 0.05$).

VII. RESULTADOS

7.1 Variables Productivas

No se encontraron diferencias significativas en la producción y peso del huevo, consumo de alimento, masa de huevo e índice de conversión ($P>0.05$). Lo que indica que suplementar la dieta de las gallinas en producción con inclusiones de 0, 2, 4, 6% del alga marina *Macrocystis pyrifera*, no afecta la productividad de las mismas (Cuadro 14).

Cuadro 14. Variables productivas obtenidas durante 16 semanas de experimentación al suplementar las dietas para gallinas ponedoras con el alga marina *Macrocystis pyrifera*

Tratamiento	Postura	Peso de Huevo	Consumo de Alimento	Masa de huevo	Índice de Conversión
	(%)	(g)	ave/ día (g)	ave/ día (g)	(kg:kg)
T1 (0%AM)	94.2	62.8	108.4	59.2	1.8
T2 (2%AM)	94.2	62.0	107.8	58.4	1.9
T3 (4%AM)	94.2	62.2	108.7	58.6	1.9
T4 (6%AM)	92.4	62.2	108.6	57.5	1.9
P	0.605	0.738	0.873	0.718	0.73
EEM	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23

En cada columna, no se detectaron diferencias estadística entre tratamientos ($P>0.05$).

7.2 Calidad externa e interna de huevo

La presencia de huevo sucio y roto en los diferentes tratamientos no mostró ser diferente entre ellos ($P>0.05$). En general se obtuvieron promedios de 4.15% y 2.9 % respectivamente (Cuadro 15).

La altura de albumina, las Unidades Haugh (UH) y grosor de cascarón tampoco fueron afectados por la inclusión del alga marina *M. pyrifera* en la dieta, durante las 16 semanas de experimentación ($P>0.05$) (Cuadro 15).

En cuanto al color de yema, no se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos que incluían algas y con respecto al testigo. En relación al grosor del

cascarón tampoco se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 15).

Cuadro 15. Calidad externa e interna de huevo de gallinas suplementadas por cuatro meses con el alga marina *Macrocystis pyrifera*.

Tratamiento	Huevo sucio (%)	Huevo roto (%)	Altura albúmina (mm)	Unidades Haugh	Color de yema DSM	Grosor de cascarón (µm)
T1 (0%AM)	4.8	3.6	6.6	79	10.7 a	44.8
T2 (2%AM)	2.8	2.3	7.1	82.3	10.4 a	46.3
T3 (4%AM)	3.8	2.1	6.9	81.4	10.0 a	45.3
T4 (6%AM)	5.2	3.6	7	81.8	10.4 a	46
P	0.265	0.628	0.151	0.163	0.103	0.249
EEM	0.23	0.23	0.13	0.13	0.14	0.13

a,b En cada columna, literales distintas indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$)

7.3 Evaluación sensorial

El sabor del huevo frito del tratamiento con 4% AM fue menos aceptado por los panelistas que el del tratamiento con 6%AM ($P < 0.05$), sin embargo, respecto al tratamiento con 2%AM y el testigo con 0% no mostró diferencia ($P < 0.05$) (Cuadro 16), ubicándose la aceptación en “gusta poco”.

En el caso del huevo cocido, la aceptación de los panelistas fue igual para los 4 tratamientos ($P > 0.05$). Obteniendo puntajes de 4 “gusta poco” en los diferentes tratamientos.

La aceptación por el color de yema de huevo tuvo el mismo comportamiento, no observándose diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$) y ubicándose la calificación en “ni gusta ni disgusta” (Cuadro 16).

Cuadro16. Evaluación sensorial de huevo

Tratamiento	Sabor huevo frito	Sabor huevo cocido	Color de yema
T1 (0%AM)	4.1 ab	4.3	3.7
T2 (2%AM)	4.1 ab	4.1	3.8
T3 (4%AM)	3.7 b	4.3	3.8
T4 (6%AM)	4.4 a	4.1	4.2
P	0.013	0.46	0.142
EEM	0.091	0.091	0.091

a,b En cada columna, literales distintas indican diferencia estadística ($P \leq 0.05$)

* Los resultados son la calificación promedio dada por los panelistas a cada muestra de acuerdo a una escala hedónica de cinco puntos, donde 5= gusta mucho, 4=gusta poco, 3=ni gusta ni disgusta, 2=disgusta mucho, 1=disgusta poco

7. 4 Concentración de triglicéridos y colesterol total en suero de gallinas suplementadas con algas marinas

Las concentraciones de triglicéridos y colesterol en suero fueron iguales entre los tratamientos que incluían algas marinas y con respecto al testigo ($P>0.05$).

No se presentan los datos de HDL, ya que las concentraciones no fueron detectadas ante la turbidez (lipemia) del suero. En consecuencia, tampoco se presentan los datos de LDL, ya que se obtienen por diferencia de triglicéridos menos HDL (Cuadro 17)

Cuadro 17. Concentración de triglicéridos y colesterol total en suero de gallinas suplementadas con algas marinas

Tratamiento	Triglicéridos (mg/dl)	Colesterol Total (mg/dl)
T1 (0%AM)	2655.6	179.1
T2 (2%AM)	2350.3	155.3
T3 (4%AM)	2570.1	172.5
T4 (6%AM)	2533.3	178.6
P	0.471	0.34
EEM	0.23	0.23

En cada columna, no se detectaron diferencias estadísticas entre los tratamientos ($P>0.05$).

7.5 Medición de Hematocrito, Hemoglobina, Concentración de hemoglobina corpuscular media (MCHC)

Los datos presentes en el Cuadro 18 muestran que la inclusión de hasta 6% del alga marina *M.pyrifera*, en la dieta de las gallinas ponedoras, no afectó los niveles de hemoglobina, MCHC y hematocrito ($P > 0.05$).

Cuadro 18. Niveles de hemoglobina, MCHC y hematocrito en sangre de gallinas suplementadas por cuatro meses con el alga marina *Macrocystis pyrifera*

Tratamiento	Hematocrito (%)	Hemoglobina (g/L)	MCHC (g/L)
T1 (0%AM)	31.2	104.2	334
T2 (2%AM)	30.5	101.7	333.4
T3 (4%AM)	29.6	98.8	333.8
T4 (6%AM)	30	100	333.3
P	0.134	0.114	0.166
EEM	0.16	0.16	0.16

En cada columna, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$).

7.6 Contenido de yodo en el huevo completo y albúmina

La concentración de yodo en el huevo completo mostró un incremento notable, proporcional al nivel de inclusión del alga marina *Macrocystis pyrifera* en la alimentación de las aves ($P < 0.05$). Las diferencias resultaron ser estadísticamente significativas. El tratamiento testigo (0% AM) obtuvo la menor concentración con 85 $\mu\text{g}/100\text{g}$ de muestra ($P < 0.05$), le sigue el tratamiento con 2%AM con 146 $\mu\text{g}/100\text{g}$ ($P < 0.05$), luego el tratamiento con 4%AM duplica el contenido de yodo con 171 $\mu\text{g}/100\text{g}$ ($P < 0.05$), con respecto al testigo; y finalmente el tratamiento con 6%AM supera el contenido de yodo en todos los tratamientos, con 199 $\mu\text{g}/100\text{g}$ ($P < 0.05$) (Cuadro 19).

Por otro lado, el contenido de yodo en la clara también fue notablemente superior en los tratamientos que incluían algas marinas ($P < 0.05$). El grupo testigo mostró la menor

concentración, 67 µg/100g (P<0.05). Le siguió el tratamiento con 2% AM (126µg/100g) y posteriormente los tratamientos con 4% y 6% de AM, cuyas concentraciones fueron iguales (P>0.05), mostrando en promedio 183 µg/100g (Cuadro 19).

Cuadro 19. Contenido de iodo en huevo completo y albúmina liofilizados

Tratamiento	Huevo completo	Clara
	(µg/100g)	(µg/100g)
T1 (0%AM)	85.87 ± 6.8 d	67.46 ± 7.3 c
T2 (2%AM)	146.17 ± 11.5 c	126.33 ± 6.1 b
T3 (4%AM)	171.62 ± 12.5 b	182.44 ± 8.6 a
T4 (6%AM)	199.76 ± 11.6 a	184.10 ± 14.9 a
P	<0.0001	<0.0001
EEM	0.16	0.16

a, b, c, d, Literales distintas indican diferencia estadística (P ≤ 0.05)

VIII. DISCUSIÓN

Contenido de iodo en el alga

Las concentraciones de iodo en *Macrocystis pyrifera* resultaron ser considerablemente altas (1560 mg/kg) en relación a lo informado por Cabrita et al (2016), quienes determinaron la composición mineral de algas cafés, rojas y verdes comunes de Portugal. En su estudio encontraron que las algas cafés son las más ricas en dicho elemento, tal es el caso de *Saccharina latissima* (958 mg/kg), seguida por *Laminaria ochroleuca* (884 mg/kg). Un hecho interesante que también señalan estos autores es que, junto con su alto contenido de iodo, los puntos débiles de los enlaces entre los polisacáridos y el iodo permiten su rápida liberación, lo que hace que las algas sean una buena fuente dietética de este elemento.

Ahora bien, es importante tomar en cuenta que la composición química de las algas marinas presentará variaciones a lo largo del año ya que depende de diversos factores bióticos y abióticos. Por ejemplo, Rodríguez et al. (1991) al analizar la composición química de *M. pyrifera* recolectada en Bahía Tortugas, en la costa occidental de Baja California Sur, encontraron que el contenido de iodo durante el invierno, la primavera, el verano y el otoño fue de 0.100, 0.120, 0.083, 0.120 % (1000, 1200, 830, 1200 mg/kg) respectivamente.

Contenido de iodo en huevo completo y albúmina

El presente estudio reveló que la inclusión del alga marina *Macrocystis pyrifera* produce un aumento sustancial del contenido de iodo tanto en el huevo completo como en la albúmina. Existen varios trabajos (Katamie et al., 1985, Lichonvńíková et al., 2008, Charoensiriwatana et al., 2010, Gjogovska et al., 2010, Slupczynskan et al., 2014, Sumaya et al., 2016) en los cuales se ha enriquecido el huevo con iodo, empleando diversas fuentes inorgánicas del elemento, como es el yoduro de potasio (KI), yodato de potasio (KIO₃), yodato de calcio Ca(IO₃). Son realmente pocos los trabajos en los que se han utilizado fuentes naturales (Garber et al., 1992, Kaufman et al., 1998, Opalinski et al., 2012, Kulshreshtha et al., 2014) como lo son las algas marinas, para este fin.

En el presente trabajo se encontró que en el huevo completo obtenido del tratamiento con 2% de inclusión con alga marina la cantidad de iodo se incrementó hasta un 70% (146 µg de I /100g) con respecto al testigo (86 µg de I /100g); con 4% AM se logró casi duplicar el contenido, el aumento fue de 99.8% (172 µg/100g), mientras que con 6% AM el incremento fue 132.6% superior (199.76 µg/100g) al testigo. Esto concuerda con lo informado por Kaufman et al. (1998) quienes con 5% de algas rojas (*Euchema spinosum*) obtuvieron una concentración de iodo en yema de hasta 175 µg/100g, y con 10%, 240 µg/100g, mostrando esto que, incorporar algas marinas en la dieta de las aves, es una alternativa viable para fortificar el huevo con este elemento.

En el presente trabajo no se probaron niveles superiores al 6% ya que las algas no fueron lavadas previamente a su desecación, factor que influye directamente en el contenido de sodio de las algas, cuestión citada por el mismo autor como un problema, ya que como se mencionó en un inicio, diversos trabajos han demostrado que utilizar concentraciones superiores al 8% en la dieta de las aves ocasiona que las excretas sean muy húmedas por el alto contenido de sodio (Rojkind, 1977; Carrillo et al., 1990, Ventura et al., 1994). Por ello, resultó interesante observar en el presente estudio que, con los niveles de inclusión utilizados no se afectó negativamente el desempeño productivo, calidad interna y externa del huevo, el sabor del huevo ni el estado general de salud de las aves, no obstante, la presencia de excretas líquidas a medida que incremento el contenido de AM

Es importante mencionar que autores como Kaufman et al. (1998), sostienen que la biodisponibilidad del iodo del alga es menor comparada con una fuente inorgánica en aproximadamente 50-60%, aspecto que habría que evaluar en estudios futuros con el alga *M.pyrifera*.

Opalinski et al. (2012) utilizaron levadura enriquecida con yoduro de potasio, bajo ambiente de laboratorio, observando que con dietas que contenían 1mg de I/kg de dicha levadura, se obtenían huevos con 132 µg/100 g de muestra; con 2 mg de I /kg contenían 198 µg/100g; y en el grupo control que incluía 1 mg de I/kg $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ los huevos contenían 155 µg/100g.

Slupczynska et al. (2014), reportaron que suplementar por más de cinco meses, con KI es más efectivo que el KIO_3 , especialmente, en gallinas de 18 semanas donde proporcionaron a las aves dietas con 1 a 5 mg de KI, obteniendo huevo fresco con 46.6 a 132.5 $\mu\text{g I}/100\text{g}$. Estos mismos autores mencionan que el contenido de yodo en el huevo depende de diversos factores, tales como el tipo y nivel del suplemento de yodo, tipo de la dieta, periodo de aplicación del aditivo, características genéticas de los animales, edad del animal, tasas de postura y métodos químicos por los cuales se realizan las determinaciones de yodo.

Por otro lado, el incremento gradual en el contenido de yodo observado en las claras (67, 126, 182 y 184 $\mu\text{g}/100\text{ g}$), concuerda también con lo observado por Kaufman et al. (1998), quienes al utilizar algas rojas para aumentar el contenido de yodo en el huevo, obtuvieron concentraciones de hasta 15 $\mu\text{g}/100\text{g}$ en la albúmina.

Slupczynska et al. (2014) mencionan que las albúminas de huevos enriquecidos con fuentes inorgánicas tienen contenidos de 1.4 - 12.4 $\mu\text{g}/100\text{g}$ según el nivel de inclusión.

Sumaiya et al. (2016) utilizaron como fuente de yodo el $\text{Ca (IO}_3)_2$ (20 mg/kg) en una dosis de 13 mg I /kg obteniendo albúminas con 12 $\mu\text{g}/100\text{g}$.

Con los resultados obtenidos, es posible decir que incluir algas marinas en la alimentación de las gallinas ponedoras, es una alternativa para fortificar el huevo completo o solo la clara con yodo y hacerlo llegar a la población vulnerable con deficiencia de este mineral, ya que como se mencionó antes el requerimiento de yodo en niños de 1 a 8 años es de 65 $\mu\text{g}/\text{d}$, menores de 9 a 18 años es de 73 a 95 $\mu\text{g}/\text{d}$ y en adultos de 150 $\mu\text{g}/\text{día}$.

A este respecto, resulta interesante el estudio realizado por Charoensiriwatana et al. (2010) quienes, a través de la dieta proporcionada a las aves, enriquecieron el huevo con KI (4 mg I/kg/ 30 días) para solucionar la deficiencia endémica de yodo en áreas remotas de Tailandia. Los habitantes manifestaban yodurias de 7- 7.04 $\mu\text{g}/\text{dl}$, y después del consumo de dichos huevos, con contenidos de yodo de 94- 97 μg de I/huevo de 55- 65 g, las yodurias se incrementaron a un nivel óptimo 20.76 μ/dl .

Ahora bien, ¿qué efecto pudiera tener en pacientes con problemas de dislipidemias el consumo de estos huevos fortificados con iodo? Un estudio realizado por Garber et al. (1992) tuvo como propósito resolver esta duda y determinar el efecto de la ingestión de huevo enriquecido con iodo (711 µg I / pza. de huevo) sobre pacientes en el límite superior de colesterol lipoprotéico plasmático y con hiperlipidemia. Los resultados mostraron que la ingestión de una pieza diaria de dicho huevo no redujo la concentración de colesterol total, por el contrario, tuvo un incremento significativo de 1.7% con respecto al grupo control. Las concentraciones séricas de LDL aumentaron en el grupo testigo y en el grupo que consumió huevo fortificado con iodo; el HDL-C incrementó en ambos grupos. Es importante mencionar que este estudio no tomó en cuenta personas sanas, ni consumo de huevo normal. Garber et al. (1993) sugieren que no hay efectos adversos clínicamente significativos a corto plazo (12 semanas) en la función tiroidea u otro parámetro químico clínico (T₃, T₄, TSH, TBG) que estuviera asociado con la ingestión diaria de estos huevos.

En relación a la función tiroidea Katamine et al. (1985) estudiaron el efecto de consumir huevo con altas concentraciones de iodo (hasta 529 µg I /100g de dieta) y determinaron que no hubo diferencias significativas entre ratas que recibieron altas concentraciones de iodo en el huevo, con respecto a las que recibieron huevos ordinarios, en su estado de hipo o hipertiroidismo. Ningún cambio fue encontrado en relación a las hormonas tiroideas, con dichas concentraciones después de la administración de huevos tanto fortificados como ordinarios; sin embargo, el contenido de iodo en tiroides fue significativamente mayor en animales alimentados con huevo enriquecido.

Variables Productivas

Los resultados observados en el presente estudio respecto a que las variables productivas no fueron afectadas, incluso hasta con 6% del alga fue algo bueno, estos difieren de lo mencionado por Kulshreshtha et al. (2014) quienes al evaluar el rendimiento productivo y la calidad de huevo, al suplementar la dieta de las aves con las algas marinas rojas *Chondrus crispus* (CC) y *Sarcodiotheca gaudichaudii* (SG), encontraron que la producción de huevo fue significativamente alta con la inclusión de 2% SG y 1%CC, las

conversiones alimenticias fueron mejores, y con inclusiones bajas del alga en la dieta (0.5%) se redujo la producción de huevo. Asimismo, concuerdan con lo señalado por Kaufmann (1998), quien menciona que con inclusión de hasta 10% de algas no encontró alteraciones en los parámetros productivos de las aves y con lo observado por Carrillo et al. (2008) cuando utilizaron también 6% de esta misma alga en la alimentación de gallinas. Opslinski et al. (2012) quienes utilizaron levadura yodada para fortificar el huevo, tampoco vieron afectadas las variables productivas.

Slupczynska et al. (2014) encontraron que con dietas con inclusión de 3 mg de KIO₃/ kg se obtuvieron las mayores tasas de postura (88.4%) (P=0.009) respecto el nivel de inclusión sube a 5 mg, KI (ioduro de potasio) es mejor que KIO₃ (iodato de potasio). También observaron que a mayor inclusión (5 mg/kg) de KI o KIO₃ el peso del huevo aumentaba. La masa de huevo disminuyó significativamente hasta 43.8 g/ave/día, cuando se utilizó una dosis de 3 mg/kg de KI, efecto contrario con KIO₃ (49.5 g/ave/día)

El índice de conversión alimentaria que reporta Slupczynska et al. (2014) es superior a 2.1 con fuentes inorgánicas de iodo, en comparación con el presente trabajo que no tuvo diferencias significativas entre tratamientos con diferentes niveles de iodo, donde el promedio fue 1.9, sin mencionar que las aves tenían una edad de 56 semanas.

Calidad Física de Huevo

A pesar de la diuresis producida en las primeras semanas por el consumo de 6% de alga en las aves, la calidad física externa del huevo no tuvo cambios.

En cuanto a la calidad interna, el hecho de que no fuese afectada por la inclusión de las algas en la dieta concuerda con lo reportado por Carrillo et al. (2008). Slupczynska et al. (2014) no encontraron efecto alguno sobre la calidad del huevo al utilizar KI y KIO₃ con 1, 3, 5 mg. Lichovniková et al. (2008) mencionan que con la concentración más alta que utilizó de iodo (Ca (IO₃)₂ a 3 mg/kg de iodo) se favoreció a las UH y la calidad del cascarón.

Evaluación sensorial

Los resultados concuerdan con lo señalado por Carrillo et al. (2008) quienes al incluir las algas marinas *M. pyrifera* y *S. sinicola* en la dieta de gallinas ponedoras no detectaron efecto alguno sobre el sabor del huevo, ni el color de la yema. Lichovníková et al. (2008), quienes utilizaron $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$ a 3 mg/kg de iodo y canola de igual forma no detectaron cambios en el sabor, olor y aceptación del huevo cocido.

Concentración de triglicéridos y colesterol total en suero de gallinas suplementadas con algas marinas

Según Jiménez-Escrig et al. (1999) los esteroides presentes en las algas tienen la capacidad para bajar niveles de colesterol sanguíneo al competir con el colesterol endógeno o exógeno. Rodríguez (2000) menciona que los ficocoloides presente en las algas pueden reducir la concentración de colesterol en la sangre, debido a que interrumpen el ciclo hepático completo de los ácidos biliares y evitan que se sintetice colesterol nuevamente, pero en el presente estudio esto no fue observado con el alga de estudio en los niveles empleados.

Slupczynska et al. (2014) no encontraron diferencias en las características sensoriales del huevo al incluir KI y KIO₃ hasta 5mg/kg en la dieta de las gallinas. Datos similares datos fueron obtenidos por Yalcin et al. (2004) con el uso de 12 y 24 mg de I.

Medición de Hematocrito, Hemoglobina, Concentración de hemoglobina corpuscular media (MCHC)

Ante los niveles de sal ocupados y la diuresis producida por dicho elemento, se consideró una posible deshidratación de las aves, sin embargo, esto no ocurrió. Por el contrario, se encontraron concentraciones normales de Hematocrito, Hemoglobina y Concentración de hemoglobina corpuscular media (MCHC).

Contrario a lo que se suponía que podría ocurrir, Slupczynska et al. (2014), encontraron que los valores de hemoglobina fueron más altos en sangre de gallinas que fueron alimentadas con dietas suplementadas con KI y KIO₃.

IX. CONCLUSIÓN

Se concluye que bajo las condiciones en que se llevó a cabo este estudio, la inclusión de hasta 6% del alga marina *Macrocystis pyrifera* en una dieta para gallinas ponedoras, es una buena alternativa natural para fortificar con iodo el huevo completo y la albúmina, sin que se afecten negativamente las variables productivas de las aves, la calidad interna y externa del huevo, el sabor del huevo, ni el estado general de salud de las gallinas.

Se sugiere realizar un estudio costo beneficio para determinar la factibilidad de utilizar esta alga marina como recurso para fortificar con iodo el huevo completo y la clara y evaluar el consumo de este producto fortificado en poblaciones vulnerables deficientes en iodo.

El consumo de huevo fortificado con iodo podría ser un recurso importante como complemento del programa de yodación de la sal y buena alternativa para las personas que tienen restricción de consumo de sodio por factores de salud.

X. BIBLIOGRAFÍA

Arrizabalaga J, Jalón M, Espada M, Cañas M, Latorre PM. 2013. Concentración de yodo en la leche ultrapasteurizada de vaca. Aplicaciones en la práctica clínica y en la nutrición comunitaria. *Medicina Clínica*,145: 55-61

AOAC,2005. Official methods of analysis, DC: Association of Official Analytical chemists. Washington:16th.

Cabrita AR, Maia MR, Oliveira HM, Sousa-Pinto I, Almeida A, Pinto E, Fonseca AJ. 2016. Tracing seaweeds as a mineral sources for farm- animals. *J Appl.Phycol*, DOI:10.1007/s10811-016-0839-y

Capdevila B., Marsal J.R., Pujol S., Anguera F.R. 2010. Estudio de prevalencia de la deficiencia de yodo en una población escolarizada de 6 años. *An Pediatr* 2010; 72: 331-8, DOI: 10.1016/j.anpedi.2009.12.023

Carrillo DS, Casas VMM, Ramos RF, Pérez-Gil RF, Sánchez RI. 2002. Algas marinas de Baja California Sur, México: Valor nutrimental. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 52: 400-405.

Carrillo DS, Casas VMM, Ávila E, Castillo RM, Carranco ME, Calvo C, Pérez- Gil F. 2008. Potential use of seaweeds in the laying hen ration to improve the quality of n3 fatty acid eggs. *J.Applied Phycol*, 20:721- 728

Casas VM, Hernández CG, Hernández GCJ.1996. Recurso *Macrocystis pyrifera*. En: Estudio del potencial pesquero y acuícola de Baja California Sur. Casas VM, Ponce DG, (editores). Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Pp.431-443

Casas VM. 2001. Efecto de la variabilidad climática sobre la abundancia de *Macrocystis pyrifera* y *Gelidium robustum* en México (Tesis de doctorado). Universidad de Colima, México Colima. Pp. 15-148: http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Maria%20Margarita%20Casas%20Valdez.pdf

Casas-Valdez M, SERVIERE ZE, LLUCH BD. 2011. Temporal Changes in the Harvest of the Brown Algae *Macrocystis pyrifera* (Giant Kelp) along the Mexican Pacific Coast. Chapter 8. pp 147-160. In Darko Matovick (Ed.). *Biomass-Detection, Production and Usage*. 496 pp.

Castro GM, Carrillo DS, Pérez-Gil F. 1994. Chemical composition of *Macrocystis pyrifera* (Giant Sargazo) collected in summer and winter and its possible use in animal feeding. *Ciencias Marinas*, 20:33-40.

Civantos S, Cancer E, Gorgojo JJ, Cánovas G, Rodríguez A. 2013. Implicación del aporte excesivo del yodo en la enfermedad de Graves-Basedow. *Endocrinología y Nutrición*, 60: 273-275, doi: 10.1016/j.endonu.2012.04.008

Chapman VJ, Chapman DJ. 1980. *Seaweeds and their uses*. Chapman and Hall, Third edition, London.

Charoensiriwatana W, Srijantr P, Teeyapant P, Wongvilairattana J. 2010. Consumen iodine enriched eggs to solve the iodine deficiency endemic for remote areas in Thailand. *Nutrición jornal*, 9:68. DOI: 10.1186/1475-2891-9-68

Cruz MB. 2000. Evaluación del estado nutricional de los escolares residentes en los albergues del INI en Hidalgo. *Servicios de Salud de Hidalgo Pachuca, Hidalgo*

Cruz SL, Ricque M, D., Tapia SM, Guajardo BC. 2000. Uso de harina de kelp (*Macrocystis pyrifera*) en alimentos para camarón. *Avances En Nutrición Acuícola V. Memorias Del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*, 227–266. <https://doi.org/10.1038/nature10345>

De la Sierra A. 2004. La restricción salina es una medida de utilidad en la prevención y tratamiento de la hipertensión arterial. *Hipertensión y Riesgo Vascular*, 21:311-6

Emstey J. 2011. *Las piezas de construcción de la naturaleza.*, Oxford: University Press, Inglaterra. Pp. 640-645

Garber DW, Henkin Y, Osterlund LC, Darnell BE, Segrest JP. 1992. Plasma lipoproteins in hyperlipidemic subjects eating iodine- enriched eggs. *Journal of American college of nutrition*, 11:3, 294-303

Garber DW, Henkin Y, Osterlund LC, Woolley TW, Segrest JP. 1993. Thyroid Function and other clinical chemistry parameters in subjects eating iodine- enriched eggs. *Fd Chem. Toxic*, 31:4, 247-251

Gjorgovska N., Kiril F. 2010. Enrich table eggs whith iodine. *Lucrări Științifice- Seria Zootehnie*, 53: 332-335

Hall J. E. (Ed.). 2016. *Guyton y Hall Tratado de Fisiología Médica*. Pp.951-952. Barcelona: Elsevier

Hernández CG, Rodríguez MY, Arvizu HD, Reyes TR., Murillo AJ, Muñoz OM. 2012. Avances tecnológicos en la producción de alginatos en México. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 13(2), 155-168.

Jiménez E, Goñi YA. 1999. Evaluación nutricional y efectos fisiológicos de macroalgas marinas comestibles. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 49 (2) :114-20

Katamine S, Hoshino N, Totsuka K, Suzuki M. 1985. Effects of the long term (17-19 months) feeding of high- iodine eggs on lipid metabolism and thyroid function in rats. *J.Nutr.Sci.Vitaminol*, 31, 339-353.

Katamine S, Tanaami S, Mamiya Y, Seekimoto K, Hoshino N, Totsuka K, Suzuki M. 1985. Influences of feeding of high iodine eggs on hypo and hyperthyroid rats. *J.Nutr.Sci.Vitaminol*, 31, 541-551

Kaufmann S., Wolfram G., Delange F., Rambeck W.A. 1998. Iodine supplementation of laying hen feed: a supplementary measure to eliminate iodine deficiency in humans. *Z Ernährungswiss Steinkopff Verlag*, 37: 288-293

Klasing KC.1998. *Comparative Avian Nutrition*. U.K.: Ed. Cab International. Pp.266-267

Kliegman R., Behrman R. 2013. Nelson. *Tratado de pediatría*. (Ed. 19.^a), España, S.L.: Elsevier

Kulshreshtha G, Rathgeber B, Stratton G, Thomas N, Evans F, Critchley A, Prithiviraj B. 2014. Immunology, health, and disease: Feed supplementation with red seaweeds, *Chondrus crispus* and *Sarcodiotheca gaudichaudii*, affects performance, egg quality, and gut microbiota of layer hens. *Poultry Science*, 93(12), 2991–3001. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04200>

Lichovníková M., Zeman L., Jandásek J. 2008. The effect of feeding untreated rapeseed and iodine supplement on egg quality. *Czech J.Anim. Sci.*, 53: 77-82

López RG., Galvan M., Silva MI, Chávez D M. 2013. Factores asociados al estado nutricional de yodo en preescolares del estado de Hidalgo, México. *Gaceta Médica de México*, 149: 161-7

Makkar HPS, Harinder PS, Tran G, Heuzé V, Giger-Reverdin S, Lessire M, Lebas F., Ankers P. 2015. Seaweeds for livestock diets: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 212:1-17

Martínez H, Castañeda LR, González UM, Ramos HR, Velásquez LL. 2005. Iodo. En: *Recomendaciones de ingestión de nutrimentos para la población mexicana, bases fisiológicas*. Bourges H, Casanueva E, Rosado J. (editores). Tomo I, pp. 301-315. Ed. Médica Panamericana, México

Martinez SH, Castañeda LR, Del Campo D.M., et.al. 2002 Iodine deficiency and other potential goitrogen in the persistence of endemic goiter in México. *Gac Med Mex*. 138:149-56

Méndez VL, Elton PJE, Solís S JC, Sampson ZE, García GC, Villalobos P., Colarossi A., García OP, Robles OL, García SP. 2014. Iodine nutrition and thyroid function

assessment in childbearing age women from Querétaro, México. *Nutrición hospitalaria*, México, 29: 204-211

Moreiras O, Carbajal A, Cabrera L, Cuadrado C .2010. *Tablas de composición de alimentos.*, 10ª edn: Madrid. Pp. 18-20

Mostaza JM, Nieto J. 2015, Nuevas poblaciones con riesgo cardiovascular aumentado. *Arteriosclerosis*, 27:226-227

NOM-040-SSA1-1993, NORMA Oficial Mexicana NOM-040-SSA1-1993, Bienes y servicios. Sal yodada y sal yodada fluorada. Especificaciones sanitarias.

NOM-030-SSA2-2017, Norma Oficial Mexicana, Para la prevención, detección, diagnóstico, tratamiento y control de la hipertensión arterial sistémica. Recuperado de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5480159&fecha=19/04/2017

Opaliński S, Dolińska B, Korczyński M, Chojnacka K, Dobrzański Z, Ryszka F. 2012. Effect of iodine-enriched yeast supplementation of diet on performance of laying hens, egg traits, and egg iodine content. *Poultry Science*, 91 :1627–1632

Pedrero D, Pangborn R. 1989. *Evaluación Sensorial de los alimentos, métodos analíticos.* México: Ed. Alhambra Mexicana, S, A de C.V.

Pino S, Fang SL, Braverman L.E. 1998. Ammonium persulfate: A new and safe method for measuring urinary iodine by ammonium persulfate oxidation. *Exp Clin Endocrinol Diabetes*, 106 3: S22-7

Quintana JA. 2011. *Avitecnia, manejo de las aves domésticas más comunes.* México: Ed. Trillas

Rojkind AR. 1977. *Algas marinas bentónicas como suplemento en la alimentación animal: Ensayos con pollos y gallinas ponedoras*". *Contribución Técnica No.19.* Centro de Investigación de Biología Marina, Estación Puerto Deseado y Estación Austral. Buenos Aires. Argentina.24p

Rodríguez R. H. 2000. *Manejo de alternativas alimenticias para aves de postura destinadas a la obtención de huevos con bajo contenido de colesterol.* (Tesis de doctorado). Universidad de Colima, México Colima. Pp 5-55 http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Hernan%20Rodriguez%20Rios.pdf

Seuss B I. 2007. Nutritional evaluation of egg. En: *Bioactive egg compounds.* Huopalahti R, López FR, Anton M, Schade R. (Editores). Pp.121. Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Slupczynska M., Jamroz D., Orda J., Wiliczkiwicz A. 2014. Effect of various sources and levels of iodine, as well as the kind of diet, on the performance of Young laying

hens, iodine accumulation in eggs, egg characteristics, and morphotic and biochemical indices in blood. Poultry Science, 93:2536-2547

Sturkie PD, Et al. (4^oed) .1986. Avian physiology. EEUU: Springer- Verlag Inc

Sumaiya S, Nayak S, Baghel R.P.S, Nayak A, Malapure C.D, Kumar R. 2016. Effect of dietary iodine on production of iodine enriched eggs. Veterinary World, 9: 554-558

Tejada HI. 1992. Control de calidad y análisis de alimentos para animales. Sistema de educación continua de producción animal, A.C. México

Tortora G, Derrickson B. 2013. Principios de anatomía y fisiología. China: Editorial médica panamericana.

Vela AM, Hernandez OC, Gamboa CS, González CCR., Pérez AM, Ortiz C J, Aguirre VBE. 2003. Salud Publica de México, 45: 269-275

Ventura MR, Castañón JIR, McNab JM.1994. Nutritional value of seaweed (Ulva rigida) for poultry Anim.Feed Sci. and Tech. 49:87-92

Vásquez GEM, Romero VE, Nápoles RF, Nuño C M.E, Trujillo CF, Sánchez MO. 2001. Prevalencia de deficiencia de hierro y yodo, y parasitosis en niños de Arandas, Jalisco, México. Salud Publica de México, 44:195-200

Vásquez GEM, Romero VE, Nápoles RF, Nuño CM.E, Trujillo Contreras F, Sánchez MO. 2014. Cambios en la prevalencia de deficiencia de hierro y yodo, y parasitosis en niños de Arandas, Jalisco, México. Salud Publica de México, 56:238-239

Páginas de Internet consultadas

ICCIDD, Iodine Global network, México, 2003, Recuperado de: <http://www.ign.org/mexico.htm>

INA. 2017. Recuperado en: <http://www.ina.org.mx/?q=dia-mundial-del-huevo-2017>

INEGI.2016. Recuperado en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/registros/vitales/mortalidad/tabulados/ConsultaMortalidad.asp>

OMS. 2014. Concentraciones de yodo en orina para establecer el estado nutricional de yodo en poblaciones. Sistema de Información Nutricional sobre Vitaminas y Minerales. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2014. Recuperado de : http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/130836/1/WHO_NMH_NHD_EPG_14.3_spa.pdf?ua=1

Programa ECV, SSA, 2001. Secretaría de Salud. Programa de acción: Enfermedades Cardiovasculares e Hipertensión Arterial. Primera edición 2001.

[Internet], México, D.F. Disponible. en:
http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/documentos/enf_cardiovasculares.pdf

Programa PCORC, SSA, 2013-2018. Secretaría de Salud. Programa de Acción Específico Prevención y Control de la Obesidad y Riesgo Cardiovascular 2013-2018. [Internet], México, D.F. Disponible en:
http://www.cenaprece.salud.gob.mx/descargas/pdf/PAE_PrevencionControlObesidadRiesgoCardiovascular2013_2018.pdf

Subsistema de Notificación Semanal de Casos Nuevos de Enfermedades, Información Epidemiológica de Morbilidad, Reporte Correspondiente a marzo de 2013, SSA, Recuperado en:
http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/doctos/infoepid/inf_morbilidad/2013/3Reporte%20marzo_2013.pdf

UNA, 2017. Compendio de Indicadores Económicos del Sector Avícola 2017. Recuperado en: <http://www.una.org.mx/index.php/component/content/article/2-uncategorised/19-indicadores-economicos>

XI. ANEXOS

Anexo 1. Técnica con Persulfato de Amonio (Ensayo Colorimétrico) (Pino,1998).

Se pesaron 10 mg de muestra, en tubos previamente purgados con metanol. Posteriormente se adicionaron 2 mL de persulfato de amonio 1mol/L en ácido sulfúrico al 10M, para colocar en un bloque de calentamiento a 100 °C durante 2 horas.

A continuación, se dejaron enfriar los tubos para adicionar 2 mL de ácido arsenioso al 0.0253 mol/l en ácido sulfúrico al 0.625 mol/l, y 0.5ml de ácido sulfúrico al 2.5N, para posteriormente introducir los tubos en baño maría a 42°C durante 15 min.

Se retiran las muestras del baño maría, se agregaron 0.3 mL de sulfato de amonio cérico (20g/ l) y se realizó en transmitancia a 420nm en celdas de 10mm, en un espectrofotómetro.

La curva de calibración constaba de 5 puntos, donde se pesaron 0.0169 g el estándar KIO_3 y se aforo con 10 mL de agua destilada. A partir de dicha solución se tomaron 0.2mL para el primer punto, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 ml para los siguientes. Después de esto se le aplicaran los reactivos y el mismo manejo que se realiza para las muestras. Luego se procedió a leer en el espectrofotómetro a 420nm.

Anexo 2. Cuestionario para evaluar el sabor del huevo frito

Prueba de Nivel de Agrado

Fecha: _____

Sexo: M/ F: _____ Edad: _____ Ocupación: _____

Producto: Huevo frito

Prueba para evaluar únicamente: SABOR 2

Instrucciones:

Pruebe cada una de las muestras de huevo que a continuación se le presentan, y por favor indique con una “X” su nivel de agrado. Es importante que entre muestra y muestra tome un poco de agua y pan.

	733	584	667	904
Gusta	_____	_____	_____	_____
Ni gusta ni disgusta	_____	_____	_____	_____
Disgusta	_____	_____	_____	_____

Observaciones: _____

¡GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN!

Anexo 3. Cuestionario para evaluar el sabor del huevo cocido

Prueba de Nivel de Agrado

Fecha: _____

Sexo: M/ F: _____ Edad: _____ Ocupación: _____

Producto: Huevo duro/cocido

Prueba para evaluar únicamente: SABOR

Instrucciones:

Pruebe cada una de las muestras de huevo que a continuación se le presentan, y por favor indique con una “X” su nivel de agrado. Es importante que entre muestra y muestra tome un poco de agua y pan.

	345	128	821	457
Gusta	_____	_____	_____	_____
Ni gusta ni disgusta	_____	_____	_____	_____
Disgusta	_____	_____	_____	_____

Observaciones: _____

GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN

Anexo 4. Cuestionario para evaluar el color de la yema

Prueba de Nivel de Agrado

Fecha: _____

Sexo: M/ F: _____ Edad: _____ Ocupación: _____

Producto: Yema de huevo

Prueba para evaluar únicamente: COLOR

Instrucciones:

Observe detenidamente cada una de las yemas de huevo que a continuación se le presentan, y por favor indique con una “X” su nivel de agrado.

	246	865	139	624
Gusta	_____	_____	_____	_____
Neutral	_____	_____	_____	_____
Disgusta	_____	_____	_____	_____

Observaciones: _____

¡GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN !