

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

ESCUELA DE ZOOTECNIA

**Evaluación de la inclusión de harina de camarón en la alimentación de gallinas
ponedoras comerciales y su efecto en el desempeño productivo de las aves y
las características del huevo**

Laura María Zamora Sánchez


Tesis presentada para optar por el título en el grado
académico de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con
énfasis en Zootecnia

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

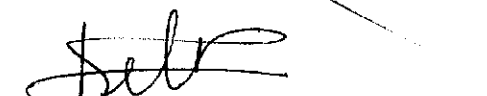
2013

TRIBUNAL EXAMINADOR


Esta tesis fue aceptada por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia


M.Sc. Alejandro Chacón Villalobos

Codirector de tesis


Dra. Catalina Salas Durán

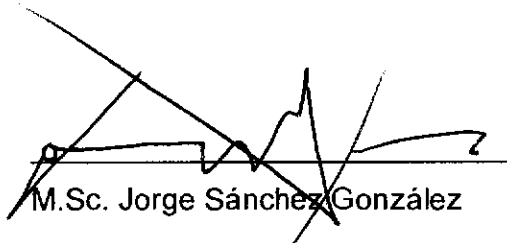
Codirectora de tesis


M.Sc. Rebeca Zamora Sanabria


Miembro del tribunal


Lic. Mauricio Maroto Hernández

Miembro del tribunal


M.Sc. Jorge Sánchez González

Director de Escuela


Laura María Zamora Sánchez

Sustentante

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen de los Ángeles
Por haberme dado las fuerzas para alcanzar una meta más

A mi madre Shirley
Por todos los sacrificios, esfuerzo y paciencia

A mi tía Isa
Por el apoyo, la motivación y las llamadas
de atención cuando las necesité

A mis abuelos Carlos y Estrella y mi bisabuela Paso
Por estar ahí siempre que los he necesitado

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque por Él he logrado llegar hasta aquí

A la Escuela de Zootecnia por la formación profesional, y muy especialmente a la Dra. Catalina Salas y M.Sc. Alejandro Chacón por haber recorrido el camino de este proyecto a mi lado, brindándome siempre su asesoría y apoyo incondicional.

A la empresa Alimentos ProSalud S.A., por la colaboración en la elaboración de la harina de camarón; y muy especialmente a Danny Prudente y todo el personal de la Planta de Harinas de la empresa por la disposición y la atención tan especial.

Al Centro de Investigaciones en Nutrición Animal (CINA) de la Universidad de Costa Rica por los análisis realizados a la harina de camarón.

A don Mario Naranjo, propietario de la Granja Avícola Piedras Negras S.A., por darme la oportunidad de realizar el ensayo en su granja, y al personal de la granja por el recibimiento y la disposición brindada a lo largo del ensayo.

A M.Sc. Marta Bustamante Mora, Directora de la Escuela de Tecnología de Alimentos, por darme la oportunidad de hacer uso de los laboratorios de esta Escuela.

A Giovanni González Sáenz, Coordinador del Laboratorio de Química de la Escuela de Tecnología de Alimentos, por la disposición en la capacitación en el uso de los equipos. A Greivin Villareal Fonseca y Pamela Castro Alvarado, asistentes del Laboratorio de Análisis Sensorial de la Escuela de Tecnología de Alimentos, por la colaboración en el desarrollo del panel sensorial.

A todos los familiares que siempre estuvieron pendientes y me brindaron su apoyo, muy especialmente a mi tía Damaris Zamora por cuidar de alguien muy especial mientras realizaba el trabajo experimental; y a mi prima Valeria Sánchez por su colaboración en el panel sensorial.

A mis amigos Carlos Rojas, Mercedes Chacón y María de los Ángeles Drouilly por su apoyo y amistad incondicional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

TRIBUNAL EXAMINADOR	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. General	4
2.2. Específicos.....	4
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
3.1. Industria camaronera	5
3.1.1. Principales especies comerciales de camarón	6
3.1.2. Métodos de producción de camarón	8
3.1.3. Desechos de la industria camaronera	9
3.1.4. Harina de camarón en alimentación animal	10
3.2. Pigmentos Carotenoides en la industria avícola.....	15
3.2.1. Generalidades de los carotenoides	15
3.2.2. Tipos de pigmentos utilizados en la alimentación de gallinas ponedoras	17

3.2.3.	La harina de camarón como pigmentante de la yema de huevo	19
3.2.4.	La pigmentación en la yema de huevo	22
3.2.5.	Legislación nacional acerca del uso de pigmentos en la alimentación animal	26
3.3.	El huevo como alimento	26
3.3.1.	Características del huevo de gallina	27
3.3.2.	La calidad en el huevo	29
3.3.3.	Propiedades funcionales del huevo	30
3.4.	Producción de huevos	31
3.4.1.	Situación de la industria avícola nacional	31
3.4.2.	Sistemas de producción	32
3.4.3.	Línea de ponedoras Hy-Line variedad Brown	34
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	36
4.1.	Elaboración y caracterización de la harina de camarón	36
4.1.1.	Origen y naturaleza de la materia prima	36
4.1.2.	Elaboración de la harina de camarón	36
4.1.3.	Caracterización de la harina de camarón	39
4.2.	Formulación y elaboración de las raciones	41
4.3.	Experimento biológico	46
4.3.1.	Caracterización preliminar de las aves y su manejo habitual	48
4.3.2.	Mediciones en campo asociadas	49
4.4.	Mediciones instrumentales	56
4.4.1.	Medición de textura	56
4.4.2.	Medición del color	57
4.4.3.	Medición del pH	57

4.4.4.	Medición de viscosidad	58
4.5.	Análisis sensorial	59
4.6.	Percepción de la calidad en una muestra poblacional	61
5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	62
5.1.	Primera Fase del ensayo	62
5.2.	Segunda Fase del ensayo	64
5.3.	Panel sensorial	65
5.4.	Percepción de la función de calidad en una muestra poblacional	66
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
6.1.	Caracterización de la harina de camarón	67
6.2.	Variables medidas a nivel de campo	72
6.2.1.	Producción porcentual	73
6.2.2.	Consumo de alimento	74
6.2.3.	Índice de conversión alimenticia	74
6.2.4.	Peso del huevo	76
6.2.5.	Peso corporal de la ponedora	77
6.2.6.	Mortalidad	78
6.2.7.	Porosidad aparente de la cáscara	78
6.2.8.	Estado aparente de la cutícula	79
6.2.9.	Índice morfológico	80
6.2.10.	Índice de yema	82
6.2.11.	Índice de clara	83
6.2.12.	Unidades Haugh	84
6.2.13.	Color de yema con abanico colorimétrico	85
6.2.14.	pH de clara y yema	87

6.2.15. Viscosidad dinámica de la clara	88
6.2.16. Volumen de la cámara de aire	90
6.2.17. Grosor de la cáscara.....	92
6.3. Mediciones instrumentales a nivel de laboratorio	93
6.3.1. Medición de textura.....	93
6.3.2. Medición del color	95
6.3.3. Medición de pH.....	97
6.3.4. Medición de viscosidad	99
6.4. Análisis sensorial	100
6.4.1. Ordenamiento por el agrado del color de la yema.....	100
6.4.2. Agrado por color de la yema	101
6.4.3. Agrado por el sabor.....	102
6.5. Percepción de la calidad en una muestra poblacional.....	107
6.5.1. Frecuencia de compra de huevos	107
6.5.2. Lugar de compra de huevos.....	109
6.5.3. Definición de un huevo de calidad.....	111
6.5.4. Concepto del huevo como alimento	113
6.5.5. Disposición a comprar huevos ligeramente más pequeños, si estos presentan un mejor color de yema	116
6.6. Aspectos económicos en el uso de la harina de camarón para pigmentar huevos.....	118
7. CONCLUSIONES	120
8. RECOMENDACIONES.....	123
9. LITERATURA CITADA	126
10. ANEXOS.....	138

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Especies de camarón capturados en el litoral Pacífico de Costa Rica (Modificado de Araya <i>et al.</i> 2007).....	7
2. Contenido en base seca de astaxantinas totales (mg/100g de muestra) en harinas de diferentes especies de camarón de Costa Rica.....	21
3. Contenido nutricional garantizado de la ración “Impulsor” utilizada en la Granja Avícola Piedras Negras.....	41
4. Formulaciones de las raciones control y experimentales para alimentar las gallinas ponedoras.....	42
5. Perfil de aminoácidos totales para una harina de camarón determinado por Gernat (2001) mediante un analizador de aminoácidos intercambiador de cationes.....	44
6. Resultados de los análisis químicos practicados a la harina de camarón.....	67
7. Resultados de la producción porcentual de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) a lo largo de las 4 semanas del ensayo.....	73
8. Resultados del consumo/ave/día en gramos para los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.....	74
9. Resultados de los índices de conversión alimenticia (Kg alimento/Kg huevo) para los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.....	75

10. Resultados de peso de huevo (g) para los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.....	76
11. Peso corporal promedio (Kg) de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.....	77
12. Porosidad aparente promedio (escala de 1 a 5) de las cáscaras de los huevos obtenidos a partir de la implementación de los tratamientos experimentales resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.....	79
13. Estado aparente promedio de la cutícula (escala de 1 a 3) de las cáscaras de los huevos obtenidos a partir de la implementación de los tratamientos experimentales resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.....	80
14. Resultados de índice morfológico (%) de los huevos provenientes de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.....	81
15. Resultados de índice de yema de los huevos provenientes de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.....	82
16. Resultados de índice de clara promedio para huevos provenientes de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.....	83
17. Unidades Haugh promedio de huevos provenientes de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidas a lo largo de las 4 semanas del ensayo.....	84
18. Resultados de color de yema promedio, medidos con abanico colorimétrico de DSM, de los huevos provenientes de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).....	85

19. Resultados promedio de pH de clara y yema medido con papel tornasol para huevos provenientes de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.....	88
20. Viscosidades dinámicas promedio (milistokes) de las claras provenientes de huevos producidos por las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.....	89
21. Volumen promedio (mL) de la cámara de aire de los huevos producidos por las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.....	91
22. Grosor de cáscara promedio (mm) para huevos provenientes de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.....	92
23. Resultados de medición de parámetros de textura para los huevos producidos por las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).....	94
24. Resultados de medición instrumental del color para los huevos producidos por las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).....	96
25. Resultados de medición instrumental del pH de la clara y yema de los huevos producidos por las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).....	98
26. Viscosidad medida instrumentalmente en centipoise (cP) para claras y yemas de los huevos producidos por las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).....	99

27. Agrado por color de la yema (escala de 1 a 10) de huevos provenientes de los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).....	102
28. Agrado por sabor (escala de 1 a 10) de los huevos cocinados en tortas provenientes de los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).....	103
29. Resultados de los ANOVAS internos en los clusters obtenidos para agrado por sabor de los huevos cocinados en tortas provenientes de los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Diagrama de flujo para la elaboración de una harina de camarón para consumo animal según Chavéz <i>et al.</i> 2010.....	11
2. Subproductos de camarón utilizados para la elaboración de la harina de camarón.....	36
3. Diagrama de flujo del proceso de la elaboración de la harina de camarón.....	39
4. Parte de la Galera # 1 donde se llevó a cabo el ensayo experimental.....	46
5. Jaulas experimentales: a) Dimensiones de cada jaula ubicada en la primera fila de la batería. b) Dimensiones de cada jaula ubicada en la segunda y tercera fila de la batería.....	47
6. Medición de color con abanico colorimétrico de DSM: a) Huevo proveniente del tratamiento control. b) Huevo proveniente del tratamiento con 5%HC. c) Huevo proveniente del tratamiento con 10%HC. d) Huevo proveniente del tratamiento del 15%HC.....	87
7. Diagrama CIELAB que muestra la relación de color rojo/verde ($a^{*+/-}$) y amarillo/azul ($b^{*+/-}$) coordenadas oponentes a luminosidad L^{*}	96
8. Dendrograma de los tres cluster (C) obtenidos por medio del método de aglomeración de Ward para agrado por sabor.....	104
9. Gráfico del porcentaje de la población de panelistas que formó cada uno de los clusters o conglomerados resultantes al utilizar el método de aglomeración de Ward en el análisis de la variable sensorial de agrado por sabor.....	105
10. Gráficos resultantes para la frecuencia de compra de huevos en veces al mes: a) Frecuencia de compra general. b) Frecuencia de compra para mujeres. c) Frecuencia de compra para hombres.....	108

11. Gráficos sobre la preferencia en el lugar de compra del huevo: a) Preferencia de lugar de compra general. b) Preferencia de lugar de compra para mujeres. c) Preferencia de lugar de compra para hombres.....110
12. Gráficos sobre la definición de calidad del huevo: a) Definición general de calidad en el huevo. b) Calidad en el huevo para mujeres. c) Calidad en el huevo para hombres.....112
13. Gráficos sobre el concepto del huevo como alimento: a) Concepto general del huevo como alimento. b) Conceptualización del huevo como alimento para mujeres. c) Conceptualización del huevo como alimento para hombres.....114
14. Gráficos sobre la disposición a comprar huevos más pequeños, con mejor color de yema: a) Disposición general. b) Disposición en mujeres. c) Disposición en hombres.....117

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Página
1. Fotografías de Texturómetro TA.XT Plus- Texture Analyser en funcionamiento..	138
2. Fotografía de Colorímetro HunterLab modelo ColorFlex.....	138
3. Medición instrumental de viscosidad de yema y clara. a) Viscosímetro marca Cole-Parmer, modelo 98936-10/15. b) Viscosímetro marca Brookfield, modelo RVT..	139
4. Cuestionario aplicado en el panel sensorial para determinar el agrado por sabor de los huevos cocinados en torta provenientes de cada tratamiento.....	140
5. Cuestionario aplicado en el panel sensorial para determinar el agrado y ordenamiento por color de la yema de los huevos provenientes de cada tratamiento.....	141
6. Encuesta aplicada para conocer la percepción de la función de calidad del huevo en una muestra poblacional.....	142
7. Resumen del modelo de costos de producción de huevos. Reglamento No. 18547-MEIC (1988).....	143

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar la inclusión de harina de subproductos de camarón (*Pleuroncodes planipes*) en la alimentación de una muestra poblacional de gallinas ponedoras comerciales, a través del desempeño productivo de las aves, la calidad del huevo y desde el punto de vista sensorial. Los tratamientos consistieron en 4 niveles de inclusión de la harina (0%, 5%, 10% y 15%) en las raciones alimenticias. Se utilizaron un total de 140 gallinas de la línea Hy-Line variedad Brown, con una edad de 40 semanas. Se colocaron 7 gallinas por jaula, de manera que cada jaula constituyó una repetición, para un total de 5 repeticiones por tratamiento asignadas completamente al azar. A lo largo de 4 semanas se midieron variables productivas y de calidad del huevo. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$) para las variables de: producción de huevos, consumo de alimento, índice de conversión alimenticia, peso corporal, índice de yema, unidades Haugh y grosor de la cáscara. El color de la yema medido con abanico colorimétrico mostró una mayor pigmentación (13-14) para el tratamiento con 15% de harina de camarón (HC) a partir de la segunda semana. Los resultados para peso de huevo en la tercera semana mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) con un mayor peso promedio ($63,3 \pm 0,4$ g) para el tratamiento que incluye 5%(HC). El índice morfológico promedio mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en la primera semana, de igual manera sucedió con el índice de clara en la segunda semana, estas diferencias no fueron atribuibles a la inclusión de HC. Las variables de: porosidad aparente de la cáscara, estado aparente de la cutícula, pH de la clara y yema estimado con papel tornasol, viscosidad dinámica de la clara y volumen de la cámara de aire, no revelaron anomalías causadas por la inclusión de HC. Al finalizar la cuarta semana, se tomaron muestras de huevo de todos los tratamientos para análisis instrumentales a nivel de laboratorio y análisis sensoriales. Con respecto a la textura se encontró que conforme aumenta el nivel de inclusión de HC, aumenta el punto de ruptura de la cáscara (de 0,34 mm a 0,51 mm) y disminuye la rigidez de la cáscara (de 94,48 N/mm a 65,71 N/mm) significativamente ($p < 0,05$). En la medición de color de yema, el tratamiento con 15%HC tiende a una pigmentación más naranja con respecto a los demás tratamientos ($p < 0,05$). El pH de yema y clara,

y la viscosidad de la clara no mostraron diferencias significativas ($p>0,05$). La viscosidad promedio de las yemas del tratamiento con 5%HC fue significativamente mayor ($p<0,05$) a los demás tratamientos ($826,67 \pm 15,28$ cP). Se realizó un panel sensorial que contempló la participación de 101 consumidores habituales de huevo. No se obtuvieron diferencias significativas para el ordenamiento según color de la yema. En el agrado por color de yema, los huevos de los tratamientos control y con 10%HC recibieron un mayor nivel de agrado que fue significativo ($p<0,05$). Por agrado del sabor, se encontraron 3 diferentes clusters, en uno de ellos se le confiere un mayor nivel de agrado a los huevos del tratamiento con 15%HC. En conclusión, la harina de camarón es un excelente pigmentante de la yema de huevo, que no afecta de manera significativa ($p>0,05$) el rendimiento productivo de las ponedoras (producción de huevos, consumo de alimento, índice de conversión alimenticia, peso corporal) y tiene efectos positivos sobre la cáscara de huevo gracias a su contenido mineral. Además, ningún nivel de inclusión reveló desagrado de los huevos entre los participantes del panel sensorial.

SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the inclusion of shrimp waste (*Pleuroncodes planipes*) meal in feeding a population sample of commercial layers, through the productive performance of poultry, egg quality and from the sensory point of view. Treatments consisted of four levels of inclusion of the shrimp meal (0%, 5%, 10% and 15%) in feed rations. A total of 140 hens of the line Hy-Line variety Brown, aged 40 weeks were used. Seven hens were placed per cage, so that each cage was a repetition, for a total of 5 replicates per treatment in a completely randomized design. For a period of 4 weeks, production and egg quality variables were measured. No significant differences were found between treatments ($p>0,05$) for variables: egg production, feed consumption, feed conversion ratio, body weight, yolk index, Haugh units and shell thickness. The yolk color estimated with visual colorimetric scale showed increased pigmentation (13-14) for the 15% shrimp meal (SM) treatment from

the second week on. The results for egg weight in the third week showed significant differences ($p < 0,05$) with a higher average weight ($63,3 \pm 0,4$ g) for the 5% SM treatment. The average morphological index showed significant differences between treatments ($p < 0,05$) in the first week, as well as for the albumen index in the second week, these differences were not attributable to the inclusion of SM. The variables: shell apparent porosity, apparent condition of the cuticle, albumen and yolk pH measured with litmus paper, albumen dynamic viscosity and volume of the air chamber, revealed no abnormalities caused by the inclusion of SM. At the end of the fourth week, egg samples were taken for all treatments for instrumental analyzes in laboratory and sensory analysis. Regarding texture, it was found that increasing the level of inclusion of SM, increases the breaking point of the shell (0,34 mm to 0,51 mm), and decreases the stiffness of the shell (of 94,48 N/mm 65,71 N/mm) significantly ($p < 0,05$). For yolk color assessment, 15% SM treatment tends to a more orange pigmentation compared to the other treatments ($p < 0,05$). The yolk and albumen pH, and albumen viscosity showed no significant differences ($p > 0,05$). The average yolk viscosity of the 5% SM treatment was significantly ($p < 0,05$) higher than the other treatments ($826,67 \pm 15,28$ cP). The sensory panel was conducted, involving 101 ordinary egg consumers. No significant differences ($p > 0,05$) were obtained for the ordering for the yolk color. For yolk color liking, the eggs of the control and 10% SM treatments received a significantly ($p < 0,05$) higher level of pleasantness. For flavor, 3 different clusters were found; one of them gives a higher level of liking towards the eggs of the 15% SM treatment. In conclusion, the shrimp meal is an excellent pigment of egg yolk, which does not affect the layers productive performance (egg production, feed consumption, feed conversion ratio, body weight) and has positive effects on egg shell, thanks to its mineral content. In addition, any inclusion level showed displeasure of the eggs between panelists.

1. INTRODUCCIÓN

El estilo de vida actual tan acelerado, obliga a consumir alimentos fáciles de preparar y que al mismo tiempo hagan un aporte nutritivo importante en la dieta diaria; en ese panorama el huevo de gallina se convierte en el aliado de muchas personas que deciden incluirlo en las diferentes comidas del día, en variadas presentaciones. Lo anterior se justifica tomando en cuenta que el huevo es un alimento bastante completo nutricionalmente hablando, conteniendo proteína de un alto valor biológico, grasas, vitaminas hidrosolubles, liposolubles y minerales.

El huevo es un componente importante en la dieta de los costarricenses, de hecho quedó demostrado en un estudio realizado en el 2001, en el cual se entrevistaron personas de 800 hogares localizados desde Paraíso de Cartago hasta San Ramón de Alajuela (Región Central de Costa Rica), observándose que el huevo es un producto privilegiado que cuenta con un alto grado de aceptación en los hogares, esto pues un 96,9% de ellos consumen huevos (Monge 2001).

El color usualmente se considera como el atributo más importante de la apariencia de cualquier alimento, sobre todo si se asocia con otros aspectos de la calidad (MacDougall 2002); el caso del huevo no es la excepción pues una gran mayoría de personas relacionan la coloración de la yema con aporte nutricional. Según Aro *et al.* (2009) esto es cierto: la coloración amarilla intensa de la yema de huevo, aparte de otras cualidades estéticas, se considera más nutritiva con respecto a la vitamina A y otros precursores de carotenoides, en comparación con la yema de un huevo con el color amarillo desteñido.

Monge (2001), indicó que las principales características de calidad del huevo para el consumidor de la Región Central de Costa Rica son en orden de importancia: el tamaño grande, el color naranja fuerte de la yema, así como la limpieza y frescura del mismo. La intensidad del color de la yema es un indicador de calidad interna del huevo, siendo la primera característica notable al romper la cáscara (Aro *et al.* 2009).

Como las gallinas ponedoras no pueden sintetizar los pigmentos de la yema de huevo, el color de la misma depende estrechamente de los pigmentos liposolubles en las dietas alimenticias (Lokaewmanee *et al.* 2009). La coloración de la yema no sólo depende de los niveles de sustancias pigmentantes, llamadas xantofilas, sino también del tipo y la proporción de estos compuestos presentes en la alimentación (Galobart *et al.* 2004).

Recientemente las personas han mostrado su fobia a los pigmentos sintéticos cuando los conceptos "pigmentos sintéticos" y "enfermedad" se asociaron, y cuando los beneficios farmacológicos atribuidos a pigmentos naturales entraron en consideración (Delgado-Vargas *et al.* 2000). Actualmente, los consumidores están exigiendo alimentos que provengan de sistemas productivos libres de químicos, por lo que para los avicultores eventualmente se convertirá en una necesidad alejarse del uso de aditivos químicos en la alimentación animal (Lokaewmanee *et al.* 2009).

Debido a todas las preocupaciones que existen acerca de los pigmentos sintéticos es que, en diferentes lugares del mundo, se han venido investigando fuentes naturales de pigmentos que puedan ser una alternativa. Baiao *et al.* (1999), resaltan que los productos sintéticos son caros y su uso no está aprobado en muchos países, por lo que la investigación sobre pigmentos naturales se convierte en una opción muy apropiada, aparte del aporte nutricional que pueden hacer a las dietas por medio de ciertos nutrientes específicos.

Actualmente en el país la alimentación representa uno de los rubros más significativos dentro de la producción de huevos, debido a que la gran mayoría de insumos utilizados para la fabricación de alimentos concentrados para aves provienen de importaciones, lo que eleva los costos de producción. Uno de estos costosos insumos son los pigmentantes o colorantes artificiales que se incluyen en la ración de las gallinas ponedoras con el fin de aumentar la intensidad en la coloración de la yema de huevo y lograr la aceptación por parte del consumidor. De aquí la importancia de evaluar alternativas como la harina de camarón dentro de la alimentación de gallinas ponedoras comerciales, la cual representa un insumo de

menor costo que se puede elaborar a partir de subproductos resultantes del procesamiento de camarón dentro del país. De esta manera la harina de camarón podría convertirse en una opción viable que contribuya a abaratar los costos en la producción de huevos, además de que es una materia prima de origen natural lo que daría un valor agregado a los huevos producidos bajo su implementación.

En Costa Rica ha sido poco estudiada la opción de utilizar harina de subproductos de camarón en la alimentación avícola y el potencial que podría tener esta materia prima como colorante frente a los costosos productos sintéticos importados. Además los estudios realizados, tanto nacionales como en otros países, han sido enfocados principalmente al efecto pigmentante de la harina de camarón y se ha dejado de lado el efecto de este material sobre la condición física y estado productivo del animal, así como sobre otras características de la calidad del huevo, aparte de la coloración de la yema (Chavarría 1993, Gernat 2001, Carranco 2002, Carranco *et al.* 2011b)

Todo nuevo ingrediente que se utilice en la alimentación de animales con fines productivos va a tener un efecto tanto en el animal como en el producto final, con respecto a esto Carranco (2002) menciona que a medida que se prueben fuentes alternativas de pigmentos, se deben determinar tanto la eficacia de los pigmentos como los rendimientos de las dietas que contienen los productos de pigmentación. De ahí que se vio la necesidad de evaluar la harina de camarón como ingrediente de la dieta de gallinas ponedoras; ya que además de contener pigmentos, la harina de camarón aporta nutrientes importantes en la alimentación animal, como lo es proteína, minerales (Ca, Mg, Na y K) y quitina (Carranco 2002).

2. OBJETIVOS

2.1. General

- Evaluar el efecto de la harina de camarón al incluirla en diferentes porcentajes dentro de las raciones de una muestra poblacional de gallinas ponedoras comerciales, esto en términos de su acción colorante natural, las características morfológicas generales resultantes en los huevos, el desempeño productivo de las aves y el agrado sensorial.

2.2. Específicos

- Caracterizar la composición proximal de una harina a emplear como sustrato de sustitución, elaborada a partir de subproductos de camarón.
- Formular e implementar las raciones que contienen la harina de camarón en diferentes niveles (0%, 5%, 10% y 15%) con base en la dieta de postura "Impulsor" de La Granja Avícola Piedras Negras y utilizando el Software Brill®.
- Evaluar las variables productivas y de calidad de huevo de las gallinas ponedoras sometidas a los diferentes tratamientos durante el estudio.
- Medir las principales características de calidad en los huevos producidos por las gallinas sometidas a los diferentes tratamientos por medio de métodos instrumentales.
- Evaluar sensorialmente el agrado general de los huevos producidos por las gallinas sometidas a los diferentes tratamientos por medio del uso de escalas.
- Establecer la percepción de la calidad asociada al huevo de un grupo representativo de consumidores por medio del uso de la metodología de encuesta.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Industria camaronera

La producción mundial de camarón (tanto de captura como de cría) es de alrededor de 6 millones de toneladas anuales; aproximadamente el 60% de esta cantidad entra en el mercado mundial. En términos de valor, el camarón es en la actualidad el producto pesquero comercializado internacionalmente más importante (Gillet 2010).

La producción de camarón constituye una industria exportadora en los países latinoamericanos, con efectos significativos en el uso de recursos naturales, en las economías locales, regionales y en las comunidades adyacentes a las áreas de la industria (Moreno 2010).

De acuerdo con datos del Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA), existen unas 1600 hectáreas dedicadas a la producción de camarón en todo el país, con una concentración de la actividad en la costa pacífica. Además, hay alrededor de 118 camaroneros, que representan un 7% del total de acuicultores del país. La mayor parte de ellos son pequeños productores del Golfo de Nicoya que anteriormente eran salineros y se reconvirtieron a raíz del ingreso de sal procedente de México a bajos precios (Blanco 2008).

En el caso de Costa Rica, la industria camaronera es una actividad en pleno desarrollo y crecimiento. Según el INCOPECA (2013), del año 2008 al año 2011 la cantidad de kilogramos totales de exportación de camarón aumentó de 298.312 Kg a 880.044 Kg, que en ingresos significa un aumento de \$2.171.433 a \$4.942.055. Los métodos de conservación bajo los que se exporta el camarón en el país son: camarón marino congelado, camarón fresco refrigerado y camarón cultivado congelado (INCOPECA 2013).

A nivel internacional existen diversas formas de presentación del camarón, hay diversas categorías para diferentes mercados (Gillet 2010):

- “Verde” descabezado: es la forma comercializada estándar. Incluye los seis segmentos de la cola, la vena, el caparazón y la aleta caudal. “Verde” no se refiere al color del caparazón, sino al camarón no cocido, crudo. El camarón “verde” también se denomina “con caparazón adherido” o “descabezado”;
- Pelado: camarón “verde” descabezado sin caparazón;
- PUD: pelado, sin desvenar, con o sin aleta caudal, crudo o cocido. La vena que recorre la cola es el intestino y también se denomina “vena de arena” o “de fango”;
- Con cola redondo: camarón sin desvenar, con aleta caudal;
- P&D: pelado, desvenado, con o sin aleta caudal, crudo o cocido;
- Limpio: camarón pelado y lavado; mediante este proceso se quitan algunas o todas las venas, pero no es suficiente para la obtención del etiquetado P&D;
- Cocido con caparazón adherido: cola cocida, con vena, caparazón y aleta caudal;
- Partido, mariposa, cola en forma de abanico: camarón con cola con cortes profundos tras el desvenado.

Como se ve, muchos de los procesos del camarón generan desechos producto del acondicionamiento y pelado, aspecto que se ampliará en la sección 3.1.3.

3.1.1. Principales especies comerciales de camarón

En el país se explotan de manera comercial 10 especies principales de camarón las cuales se encuentran distribuidas en varios ambientes. Desde el punto de vista pesquero, los camarones se clasifican como camarones de profundidad y camarones de aguas someras o de poca profundidad. A los camarones fidel, camello corriente y camello real se les considera como camarones de profundidad. A los camarones blanco, tití, rosado y café, como camarones de aguas someras, de poca profundidad o de orilla. Los camarones de profundidad se cosechan normalmente a partir de los 120 m y los de aguas someras, entre los 5 y 120 m (Álvarez y Ross 2010). En el Cuadro 1 se pueden observar las principales especies comerciales de camarón con sus respectivas profundidades aproximadas.

Cuadro 1. Especies de camarón capturados en el litoral Pacífico de Costa Rica (Modificado de Araya *et al.* 2007).

Nombre común	Nombre Científico	Talla Máxima (cm)	Lugar de Pesca (Profundidad, m)
	<i>Litopenaeus occidentalis</i>	24	
Camarón blanco	<i>Litopenaeus stylirostris</i>	21,4 (macho) 26,3 (hembra)	5 – 50
	<i>Litopenaeus vannamei</i>	23	
Camarón tití	<i>Xiphopenaeus riveti</i>	17	5-50
Camarón conchudo o carabalí	<i>Trachypenaeus byrdii</i>	13,4 (macho) 18,9 (hembra)	3,5-20
Camarón rosado	<i>Farfantepenaeus brevirostris</i>	21	35-120
Camarón café	<i>Farfantepenaeus californiensis</i>	24	35-120
Camarón fidel	<i>Solenocera agassizi</i>	11,5 (macho) 14,0 (hembra)	120-350
Camello corriente o camellito	<i>Heterocarpus vicarius</i>	12	350-1000
Camello real o camellón	<i>Heterocarpus affinis</i>	15	350-1000

Fuente: Álvarez y Ross 2010.

En los últimos tiempos se ha dado la explotación comercial de otras especies como por ejemplo el camarón langostino (*Pleuroncodes planipes*), que es una especie que está presente a los largo de la Costa Pacífica Centroamericana y en Costa Rica se conoce empíricamente de su abundancia en la zona del Golfo de Papagayo (Madrigal-Carballo *et al.* 2003).

La composición proximal del camarón langostino es variable según la zona de captura, la estación del año, la edad de los organismos, etc., sin embargo, se ha reportado que los componentes más abundantes de la langostilla son la proteína, las cenizas, la quitina y el extracto etéreo, con rangos de 21,2-54,7%; 12,8-35,9%; 4,76-21,6%; 4,7-14% respectivamente (Castro-González *et al.* 1995, citado por Civera *et al.* 1996). Así mismo, su contenido de carotenoides es elevado (10-16 mg/ 100 g) y

los aminoácidos presentes son adecuados para la alimentación humana (Civera *et al.* 1996).

3.1.2. Métodos de producción de camarón

Según Álvarez y Ross (2010), actualmente, en Costa Rica se obtiene camarón mediante la pesca de arrastre (barcos camaroneros), con el uso de trasmallos y rastras (pescadores artesanales) y en estanques de cultivo (acuicultores). Estos autores explican cada método:

- **Redes de arrastre:** La pesca se realiza normalmente utilizando dos redes por barco, en embarcaciones tipo "Florida". Consiste en arrastrar la red sobre el fondo, la cual se abre por efecto de los calones. Una vez abierta, la cadena sujeta a la relinga inferior actúa como lastre y mantiene la red pegada al fondo asustando a los camarones, los cuales saltan y quedan atrapados dentro de la red. Esta normalmente se arrastra por periodos de 2 a 5 horas
- **Trasmallos:** Se utiliza una red, conocida también como red agallera. La red es colocada en el fondo o a profundidad, según la especie que se desea capturar. Una vez que el camarón trata de atravesar la red, éste queda atrapado en la malla y no puede retroceder. Estas redes normalmente tienen longitudes que rondan los 400 m y una luz de malla variada, desde 2,5 pulgadas (6,4 cm) para los camarones, hasta de 8 pulgadas (20,3 cm) para peces adultos como corvinas y robalos. Las redes más comunes tienen mallas de 3 pulgadas (7,6 cm) o menos, para capturar el máximo posible de camarones y peces.
- **Rastras:** Son un arte de pesca ilegal cuyo uso, a pesar de esta condición, ha venido aumentando en el litoral Pacífico. Éste consiste en pequeñas redes de arrastre que son colocadas en las pangas de los pescadores artesanales impulsadas por motores fuera de borda. Las rastras están dirigidas a capturar al camarón conchudo, principalmente.
- **Estanques de cultivo:** Los estanques para la cría de camarones ocupan un área cercana a las 1600 ha en la costa Pacífica de Costa Rica y brindan empleo directo a 1800 personas (Barquero 2007). En su mayoría, las áreas de cultivo no

operan en verano por la alta salinidad causada por la baja precipitación favoreciendo ligeramente el precio de camarón de mar, porque es una época importante para la venta de camarón de arrastre a nivel local.

3.1.3. Desechos de la industria camaronera

Los camarones son los crustáceos de mayor interés económico, ya que se consideran como un alimento de alto consumo en el mercado alimenticio; sin embargo, la parte con utilidad comercial del camarón es su cola. La cabeza de camarón no tiene valor económico por lo que se desecha para obtener mayor espacio en las bodegas de los barcos pesqueros y para evitar que se acelere el proceso de descomposición del producto, al separarlo de sus vísceras (Jones 2002). Estos residuos producen una gran cantidad de material de desecho, especialmente el cefalotórax, que abarca un 30-48% del cuerpo (Carmona 2004).

Los residuos de camarón son parte de la materia prima original y se desechan actualmente, al no existir procesos industriales eficientes de extracción de sus componentes utilizables. Este proceso podría representar un beneficio económico para las industrias camaroneras, ya que se comercializaría algo que ha sido considerado como un desecho (Carmona 2004).

La ley 8436 de Pesca y Acuicultura (2005) prohíbe, en el Capítulo VI sobre "Conservación, protección y administración de los recursos marinos vivos", en el artículo 38 e inciso g), arrojar a las aguas superficiales, subterráneas y marítimas territoriales, directa o indirectamente los desechos. Es por ello que en la actual industria camaronera los subproductos generados del procesamiento del camarón son comercializados a muy bajos precios a intermediarios que a la vez los venden a empresas que los destinan a la producción de alimentos para peces o mascotas. Por ello tienden a ser subvalorados al considerarse "desechos" que las empresas procesadoras, con tal de cumplir con la ley mencionada anteriormente no consideran como una potencial materia prima.

Carmona (2004) destaca que es muy importante, desde el punto de vista ambiental, establecer un método para aprovechar al máximo, de una manera sencilla y barata los residuos de cabezas y exoesqueletos de camarón; resaltando también que los productos marinos representan una gran entrada de divisas al país lo cual refleja que su producción y captura va en aumento paralelo al aumento de desechos que se generen.

A medida que la camaronicultura continúe creciendo y presionando los recursos costeros, su sostenibilidad dependerá del éxito que se logre en minimizar los impactos negativos, maximizar los beneficios y mantener los recursos naturales que la hacen posible (Moreno 2010).

3.1.4. Harina de camarón en alimentación animal

La harina de camarón es una forma de aprovechar los residuos procedentes de las empresas procesadoras de camarón. Gernat (2001) define, de manera general, la harina de camarón como el residuo procesado de la industria de camarón, que comprende la cabeza, exoesqueletos (o conchas) y, en algunos casos, el camarón entero.

En el pasado la elaboración de harina de camarón consistía en un proceso artesanal, de manera que el secado y procesamiento de la cáscara de camarón eran muy ineficientes lo que causaba pérdidas de nitrógeno y pigmentos carotenoides, obteniéndose como resultado harinas de muy baja calidad nutricional y que además eran muy susceptibles a la rápida descomposición por altos contenidos de humedad (Moreno 1978). Con el paso de los años este proceso fue tecnificándose e industrializándose por lo que actualmente es posible obtener materias primas de alta calidad que pueden almacenarse por largos periodos de tiempo.

La elaboración de harina de camarón varía dependiendo de la zona y del equipo con el que se cuente. Andrade *et al.* (2007) describen de manera general un proceso tecnológico para la elaboración de harina de cabezas de camarón contemplando las siguientes etapas: recepción de la materia prima, descongelación y lavado,

escurrimiento y pesaje, cocción, escurrimiento y pesaje, secado, molienda y empaque. Estos autores destacan que las mejores condiciones para obtener una harina de camarón con características deseadas son: una cocción a 95°C por 10 minutos y un secado a 75°C por 5 horas.

Por otro lado Chavéz *et al.* (2010) proponen un proceso con un mayor grado de industrialización que el anterior (Figura 1), y por lo tanto utilizando una maquinaria distinta.

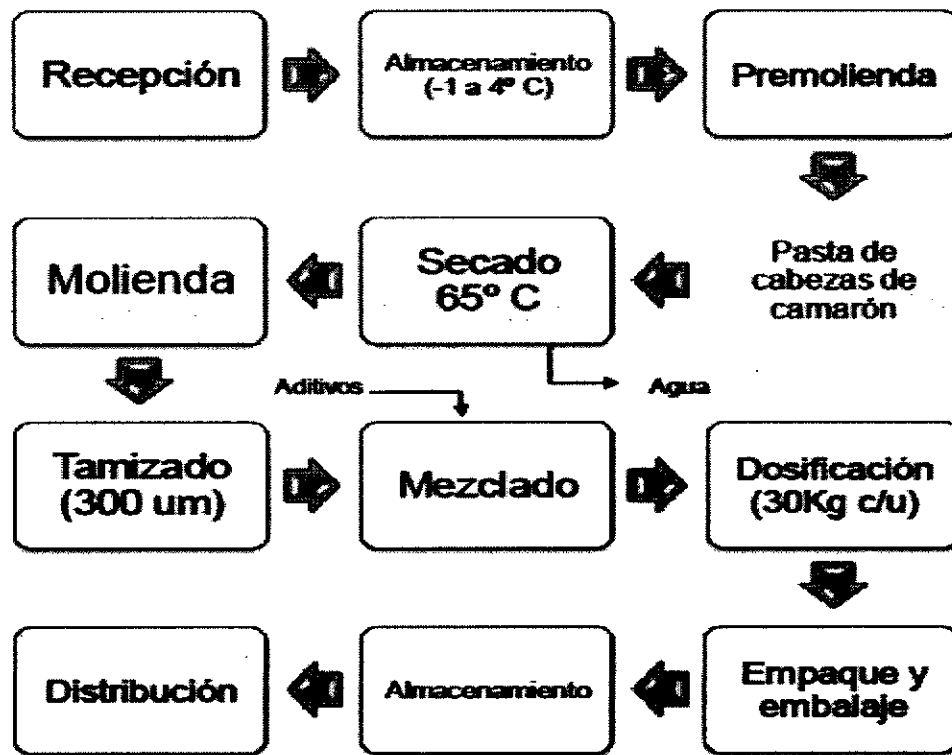


Figura 1. Diagrama de flujo para la elaboración de una harina de camarón para consumo animal según Chavéz *et al.* 2010.

La harina de camarón se ha utilizado durante mucho tiempo como fuente de proteína marina en el alimento de peces y crustáceos. También se utiliza como una fuente natural de pigmentos carotenoides (astaxantina) para producir la coloración deseada

en la trucha, salmón, camarones, y plumas de aves exóticas, y como un agente saborizante en los alimentos para mascotas (Gernat 2001).

Con respecto a la composición nutricional, la harina de camarón posee altos niveles de ceniza, debido a la gran cantidad de carbonato de calcio presente en el cefalotorác. También es rica en vitamina A y en minerales tales como hierro y calcio (Chavarría 1993).

Este subproducto de las plantas procesadoras de camarón tiene el potencial de ser una fuente de proteína alternativa en raciones de gallinas ponedoras, sustituyendo parcial o totalmente las fuentes convencionales de proteínas, tales como harina de soya, harina de carne y hueso y la harina de pescado, que en la mayoría de los casos son importadas o no fácilmente accesibles (Gernat 2001).

El aporte de las harinas de cabeza de camarón a la alimentación animal (en especial la avícola), es de gran utilidad ya que la mayor proporción de la ración suministrada a aves está compuesta por granos, los cuales no suministran los aminoácidos esenciales, siendo principalmente fuentes energéticas, por lo tanto, se hace necesario complementar estas dietas con alimentos ricos en minerales, vitaminas, así como proteína de alta calidad y otros componentes como pigmentos y quitina (Chavarría 1993).

Otro componente importante es la quitina, que es abundante en el exoesqueleto del camarón. La quitina y el quitosano se usan en la clarificación de agua y debidas (floculación catiónica), elaboración de nematocidas, aplicaciones en farmacia (acelerador para la curación de heridas), cosmetología (humectante), además no son tóxicos y tienen actividad hipocolesterolemica (Chavarría 1993).

La disminución del contenido de colesterol en la yema de huevo al utilizar agentes hipocolesterolemicos, como la quitina, es más difícil de lograr en comparación con la reducción de éste en plasma, ya que en la gallina se tendría que limitar sus reservas de colesterol, debido a que la gallina provee todos sus nutrientes y medios de desarrollo al huevo (Naber 1990; citado por Chavarría 1993), siendo el colesterol una

parte vital del funcionamiento de la reproducción de aves, especialmente en el desarrollo temprano del embrión.

El interés por los subproductos de camarón en el país inició a partir de los años 50, debido a que se deseaba establecer una nueva industria utilizando “los desperdicios” del camarón como materia prima; es debido a este interés que se realizó un estudio de harina de desechos de camarón con el fin de utilizarla para alimentación de animales y como abono (Guevara 1954). En este estudio se concluyó que la harina de desechos de camarón es un buen suplemento para la alimentación de aves de corral, cerdos y ganado en general; sin embargo podría presentar problemas por su contenido de sal.

Entre 1976 y 1978 se realizó un estudio sobre el efecto de la sustitución de la harina de pescado por harina de cáscara de camarón en la alimentación de pollos de engorde; en ese entonces el interés era por darle uso a los desechos de camarón, los cuales en el país se producían en cantidades suficientes para poder ser industrializados (Moreno 1978). En este estudio se encontró que el porcentaje de proteína de la cáscara (exoesqueleto) puede considerarse bajo desde el punto de vista de ser un suplemento proteico, en cambio el contenido de cenizas fue muy alto. Moreno (1978) recomendó utilizar este subproducto en la etapa de finalización de pollos de engorde, ya que no es necesario el empleo de una proteína de alta calidad durante esta etapa de los broilers.

En épocas más recientes, en un estudio realizado por Chavarría (1993) en el que se evaluó la utilización de la harina de exoesqueletos de camarón en la alimentación de gallinas ponedoras y su efecto en la pigmentación de la yema de huevo, se encontró que la dieta que contenía un 10% de harina de cefalotórax de camarón alcanzó una coloración de 14 en el abanico de Roche, mientras que la dieta control que contenía 25 mg/Kg de Carophyll Rojo® obtuvo una coloración de la yema de huevo máxima de 11 en el abanico de Roche. De esta manera se concluyó que se requiere 50-60 mg/Kg de éste pigmento sintético de alto costo para lograr los resultados obtenidos con la harina de cefalotórax de camarón.

Fuera de Costa Rica y más recientemente, también se ha estudiado el efecto de la harina de subproductos de camarón en la coloración de la yema de huevo. Así por ejemplo en un estudio realizado en Honduras, cuyo objetivo fue medir el efecto de sustituir diferentes niveles de harina de camarón (0, 20, 40, 60 y 80%) por harina de soya en las dietas de gallinas ponedoras comerciales, se encontró que la pigmentación de la yema aumenta significativamente ($p < 0,01$) conforme los niveles de harina de camarón aumentan en las dietas (Gernat 2001). En este estudio no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,01$) entre tratamientos para las variables de mortalidad, peso del huevo y gravedad específica; mientras que para el consumo de alimento se dio un aumento significativo ($p < 0,01$) cuando la harina de camarón se utilizó entre un 40% y 80% en las dietas, afectando también la conversión alimenticia. Gernat (2001) justifica este aumento por el contenido de quitina de la harina.

En México, Carranco (2002) evaluó el efecto de la inclusión de la harina de cabezas de camarón en diferentes niveles (0, 10, 20 y 25%) remplazando la harina de soya en las raciones de gallinas ponedoras. La inclusión de la harina no afectó las variables productivas de los animales, exceptuando que hubo una disminución en el consumo de alimento con un nivel de inclusión de la harina de camarón de 25%; que posiblemente se debió a la cantidad de sal que se encuentra en la harina. Pero esto no fue significativo ($p > 0,05$), reflejándose en los resultados de índice de conversión y el porcentaje de postura. La calidad del huevo, evaluada por medio de la medición de: altura de la albúmina, unidades Haugh, peso del huevo, grosor del cascarón y color de la yema; tampoco se vio significativamente ($p > 0,05$) afectada.

En este mismo estudio se realizó una evaluación sensorial por medio de una prueba de preferencia de color y una prueba del nivel de agrado del sabor. En la prueba de preferencia de color hubo una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) entre el tratamiento control y los tratamientos que incluían harina de camarón, mostrándose una mayor preferencia por el color de la yema de los huevos de estos últimos. Por otro lado la prueba del nivel de agrado del sabor no reveló diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$).

En otro estudio realizado por Carranco *et al.* (2011b), se evaluó el efecto de harinas de crustáceos sobre variables productivas de gallinas ponedoras y sensoriales del huevo. La investigación demostró que la incorporación de harina de camarón (20%) y harina de langostilla (4%) no tuvo efectos negativos en las variables productivas de las aves (producción de huevo, peso del huevo, conversión alimentaria, consumo de alimento por ave), ni modificó la calidad sensorial del huevo hasta los 15 días de almacenamiento evaluada por medio de una prueba del nivel de agrado medida con escala hedónica y de una prueba de preferencia del color. En este estudio los autores recalcan que la calidad sensorial es muy importante, ya que independientemente de obtener un producto con gran valor nutricional, si no se cuenta con la aceptación del consumidor, no cumplirá su cometido principal, que es el de ofrecer y brindar alimentos inocuos.

3.2. Pigmentos Carotenoides en la industria avícola

3.2.1. Generalidades de los carotenoides

Los carotenoides son tetraterpenos constituidos por unidades múltiples de isopreno con un anillo de ciclohexano sustituido e insaturado en cada uno de los extremos. Existen dos tipos de carotenoides: los carotenos, que no contienen oxígeno en sus anillos terminales y las xantofilas que sí los tienen (Carranco *et al.* 2011a).

Los carotenoides son liposolubles, originan muchas de las tonalidades: amarillo, naranja, rojo o púrpura, observadas en la naturaleza, en especial en los vegetales. Los vegetales y los microorganismos son capaces de sintetizar sus propios carotenoides, mientras que los animales los adquieren exclusivamente de su dieta (Cañica *et al.* 1994, citado por Carmona 2004).

Se cree que los carotenoides derivan su nombre del hecho de que constituyen el pigmento principal en la raíz de zanahoria, *Daucus carota*. Además de proporcionar cualidades estéticas como colorantes en las plantas y en el reino animal, los carotenoides desempeñan un papel fundamental en el metabolismo. Lo más

destacado es que los carotenoides sirven en el reino animal como fuentes de actividad de la vitamina A (Ong y Tee 1992).

El color de los carotenoides, junto con las propiedades beneficiosas tales como precursores de vitamina A y antioxidantes, han dado lugar a su amplia aplicación en la industria alimentaria, así como la producción de preparaciones para aplicarlas en medios acuosos o aceitosos, incluyendo emulsiones, suspensiones coloidales, y complejos con proteínas. Un ejemplo de otra propiedad de los carotenoides, es que se ha informado que los carotenoides del maíz inhiben la síntesis de aflatoxina por *Aspergillus flavus* (90%) y por la mayoría de cepas de *A. parasiticus* (30%) (Delgado-Vargas *et al.* 2000).

La relación de los carotenoides con diferentes tipos de cáncer se debe principalmente a su actividad antioxidante ya que tienen el potencial de proteger membranas, ADN, y otros constituyentes celulares del daño oxidativo. La capacidad antioxidante de los carotenoides también se ha relacionado con la salud cardiovascular, la salud visual y la función inmune del organismo (Jones 2002).

Dentro de otras funciones biológicas de los carotenoides se encuentran la fotoprotección y la inactivación de moléculas electrónicamente excitadas ("quenching") (Jones 2002). Entre las observaciones que han apoyado la hipótesis de la función fotooxidativa se encuentra el hecho de que algunas especies de crustáceos han demostrado ser capaces de acumular mayor cantidad de pigmentos carotenoides cuando son sometidos a iluminación intensa. Se ha encontrado que las especies coloreadas tienen menor índice de mortalidad que aquellas translúcidas cuando son expuestas a la radiación solar en la superficie a poca profundidad. Además se presume que las hembras transfieren a sus huevos una gran cantidad de carotenoides posiblemente para que obtengan protección fotooxidativa (Debevoise *et al.* 1990, citado por Jones 2002).

Últimamente se ha promovido el uso de pigmentos carotenoides en los seres humanos para prevenir las enfermedades relacionadas con las especies de oxígeno reactivas (Jones 2002); además el consumo de alimentos ricos en carotenoides está

asociado con una reducción en el riesgo de enfermedades degenerativas (Arce 1991).

Por su insaturación los carotenoides son sensibles al oxígeno, metales, ácidos, peróxidos, calor, luz y a las lipoxigenasas (Carranco *et al.* 2011a). Es por ello que se debe poner especial atención a las condiciones de almacenamiento de fuentes de carotenoides, con el fin de evitar perder las propiedades de los mismos, especialmente si se destinan a la pigmentación.

3.2.2. Tipos de pigmentos utilizados en la alimentación de gallinas ponedoras

Los pigmentos pueden clasificarse por su origen como natural, sintético o inorgánico; de tal manera que los pigmentos naturales son producidos por organismos vivos, como plantas y microorganismos, y los pigmentos sintéticos se elaboran en laboratorios. Los naturales y sintéticos son componentes orgánicos, mientras que los pigmentos inorgánicos pueden encontrarse en la naturaleza o reproducirse por síntesis (Delgado-Vargas *et al.* 2000).

En la avicultura ha tenido importancia económica el color de los productos, hecho dado por la etapa final del proceso productivo, la comercialización. Entre los consumidores, tanto a escala industrial como individual, la tendencia es preferir productos de colores vivos; en el caso de los huevos se observa una mayor demanda por aquellos que poseen yemas de color amarillo-anaranjado. Por este motivo en explotaciones avícolas dedicadas a producir huevo, se ha tomado una práctica normal la adición de pigmentos (carotenoides o xantofilas) en cantidades adecuadas a las dietas de gallinas ponedoras (Cuevas *et al.* 2003). Dentro de los pigmentos utilizados en las raciones de gallinas ponedoras, están los naturales y/o los sintéticos.

- Pigmentos naturales: En los últimos tiempos ha aumentado la investigación y el uso de estos pigmentos en la industria avícola. Algunos ejemplos de fuentes naturales de pigmentos son: harina de flor de oro (*Tagetes erecta*) para xantofilas

amarillas, subproductos de pimiento, rosa mosqueta, microalgas (*Haematococcus pluviates*) y harinas de crustáceos, como camarón o cangrejo, para xantofilas rojas (Cuevas *et al.* 2003). El maíz, la alfalfa y el gluten de maíz también son fuentes naturales de pigmentos (Cuevas *et al.* 2003), sin embargo, para obtener la coloración deseada en yema a partir solamente de maíz o gluten de maíz, se debería incluir enormes cantidades de estos ingredientes afectando la formulación de las raciones. En el caso de la alfalfa, es un ingrediente que en Costa Rica no se produce y no se utiliza en las raciones de gallinas ponedoras. Otras fuentes de pigmentos investigados en los últimos años son subproductos de achiote (*Bixa orellana*) (De Melo *et al.* 2007) y la morera (*Morus alba*) (Lokaewmanee *et al.* 2009).

- Pigmentos sintéticos: En la última década se han sintetizado una serie de pigmentos, donde destacan: Cantaxantina, β -apo-8'-carotenal (Bac), Éster etílico del ácido β -apo-8'-carotenoico (Bace), Zeaxantina, Carophyll y Lutenal. El Bac y Bace se transfieren de la dieta al huevo y proporcionan un aumento en el color de la yema en aves que son alimentadas con dietas pobres en pigmentos naturales, siendo el Bac un pigmento que puede ser transformado en vitamina A y en derivados de cadenas más cortas. Otros dos productos comerciales son el Carophyll y Lutenal; sus diferencias radican en el contenido de distintos carotenoides con características específicas. El Carophyll se puede encontrar en tres colores distintos: amarillo, que corresponde a éster apocarotenoico, rojo, que corresponde a cantaxantina y naranja que es una mezcla de los dos anteriores. Por otro lado, el Lutenal es una mezcla de un antioxidante y cinco xantofilas, estas son: Zeaxantina, Capsantina, Bixina, Capsorubina, Astaxantina. En el caso del Carophyll, la utilización de los distintos colores dependerá del uso que se le dé al huevo. Así, para huevos de consumo (de mesa) se recomienda pequeñas cantidades de Carophyll rojo y para huevos de pastelería se recomienda Carophyll amarillo (Cuevas *et al.* 2003).

Los pigmentos sintéticos actualmente son los de mayor uso debido a que son muy eficientes, estables y se pueden dosificar de manera sencilla. Sin embargo,

presentan el inconveniente de ser muy costosos, además de las limitaciones que pueden conllevar al ser aditivos químicos, como por ejemplo, causar problemas desconocidos a la salud humana en el futuro. Según Delgado-Vargas *et al.* (2000), muchas personas interpretan el contenido de productos químicos como un contaminante, tendencia que parece persistirá en el futuro.

Arce (1991) destaca que con respecto al uso de carotenoides naturales, la mayor dificultad ha sido la determinación de los niveles óptimos de pigmentos en la dieta para obtener una intensidad de color adecuada. Es debido a esto que se hace necesario estudiar minuciosamente las fuentes de pigmentos naturales que se desean implementar en la alimentación animal, con el fin de conocer las ventajas, dosificaciones y limitaciones de las mismas, así como evaluar su desempeño en los animales y en el producto final.

3.2.3. La harina de camarón como pigmentante de la yema de huevo

Una de las aplicaciones más estudiadas de los pigmentos carotenoides extraídos de los desechos de animales marinos, es utilizarlos para alimentar animales criados para el consumo humano. Se han usado como suplemento alimenticio, muy económico y conveniente (Jones 2002). La astaxantina es el principal pigmento aislado en la mayoría de los animales marinos (langosta, salmón, camarón, cangrejo, pez rojo, entre otros). En el caparazón de los crustáceos el carotenoide normalmente se encuentra acomplejado estequiométricamente con una proteína simple (Jones 2002).

Los peces y los crustáceos se pueden dividir de acuerdo a sus capacidades biosintéticas de carotenoides en tres grupos (Martin *et al.* 1982, citado por Jones 2002):

- Grupo I: Pueden convertir luteína, zeaxantina o sus intermediarios en astaxantina. En este grupo, el β -caroteno no es un precursor eficiente de la astaxantina. Se incluye en este grupo a la carpa roja.

- Grupo II: No pueden convertir β -caroteno, luteína o zeaxantina en astaxantina. Por ejemplo la brema de mar.
- Grupo III: Son capaces de convertir el β -caroteno en astaxantina. Generalmente los crustáceos pertenecen a este grupo.

Los pigmentos carotenoides que se encuentran en el cefalotórax del camarón (estereoisómeros de la astaxantina, la cantaxantina y el astaceno, entre otros) presentan estructuras muy parecidas entre sí, por lo tanto se conocen como astaxantinas (Cañica *et al.* 1994, citado por Carmona 2004).

La astaxantina (3, 3'- dihidroxi - 4, 4' -diceto- β - β - caroteno), cuya fórmula molecular es $C_{40}H_{56}O_4$, se distingue por tener una cadena poliénica de once dobles enlaces conjugados, responsables del intenso color rojo brillante del cromóforo. Presenta un anillo cíclico en cada extremo de la molécula, un grupo funcional hidroxílico en cada uno de los carbonos 4 y 4'. La existencia de dichos radicales oxigenados en los extremos la caracterizan, entre los carotenoides, como un oxicarotenoide o xantofila (Carranco 2002).

Esta xantofila que además de estar presente en crustáceos (camarón y langostino), también se encuentra en microalgas (*Haematococcus pluvialis* y *Chlorella zofingiensis*), en la levadura (*Phaffia rhodozyma*), peces (salmón) y algunas aves (flamingo) (Fassett y Coombes 2011). En los crustáceos la astaxantina se encuentra ligada a una proteína mediante enlaces no covalentes, formando compuestos estables e hidrosolubles de color azul-grisáceo o verdoso llamados carotenoproteínas (Foss *et al.* 1987, citado por Carranco *et al.* 2011a). Al ser hidrolizados estos compuestos, ya sea por calentamiento (como sucede durante la cocción de los invertebrados comestibles), o por solventes orgánicos, se libera la astaxantina exhibiendo su característico color rojo-naranja. En algunos casos, el compuesto puede estar asociado firmemente con el material tegumentario como la quitina o el carbonato de calcio, impidiendo su completa extracción aun con solventes orgánicos (Carranco *et al.* 2011a).

Carranco (2002) destaca que la cantidad de astaxantina en las harinas de exoesqueletos de camarón puede variar dependiendo de varios factores: temperatura, oxígeno, zona de captura, profundidad, época del año, estado productivo, etc. En el Cuadro 2 se puede observar como la especie de camarón también influye en el contenido de astaxantina presente en harinas de diferentes partes del camarón.

Cuadro 2. Contenido en base seca de astaxantinas totales (mg/100g de muestra) en harinas de diferentes especies de camarón de Costa Rica.

Nombre común	Especie de Camarón	Contenido de astaxantina	Fuente
Mezcla de especies	Mezcla varias especies	20,0 ± 1,00	Chavarría 1993
Camarón rosado	<i>Solenocera mutator</i>	13,4 ± 0,04	Jones 2002
Camarón blanco	<i>Litopenaeus occidentalis</i>	17,2 ± 0,41	Jones 2002
Camarón camello	<i>Xiphopenaeus kroyeri</i>	20,8 ± 0,50	Jones 2002
Camarón blanco	<i>Panaeus vannamei</i>	21,0 ± 2,00	Carmona 2004

En una investigación con larvas juveniles de la especie de camarón *Penaeus monodon* se encontró que aquellas que habían sido alimentadas con astaxantina tuvieron una tasa de mortalidad significativamente inferior comparada con las que no se les había administrado la astaxantina (Carmona 2004). Además, según Arce (1991), se ha demostrado que la astaxantina protege los huevos de salmón y de truchas de los daños que produce la radiación UV. La astaxantina cumple un importante rol en el incremento de la fertilidad en peces y camarones adultos y en la subsiguiente mayor viabilidad de sus huevos (Arce 1991).

La astaxantina y cantaxantina son secuestrantes de radicales libres, antioxidantes y desactivadores potentes de las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno inclusive el oxígeno monomolecular, electrones oxidantes simples y dobles (Fassett y Coombes 2011). Carranco *et al.* (2011a) indagaron en varias investigaciones que resaltan a la astaxantina por su alto potencial bioactivo, su actividad antioxidante, anticancerígena, antidiabética y antiinflamatoria, y por sus efectos protectores en los

sistemas gástrico, hepático, neurológico, cardiovascular, ocular y piel que en muchos casos es más potente que el de otros carotenoides.

La actividad antioxidante de la astaxantina es 10 veces más poderosa que la actividad del beta-caroteno y 500 veces superior a la de la vitamina E (Miki 1991, Krinsky 1993; citados por Anderson *et al.* 2008)

La tasa de deposición de los carotenoides es influenciada por la absorción, las pérdidas metabólicas y la transferencia al tejido de destino. La tasa de deposición de astaxantina en la yema de huevo es de un 25% (Bauernfeind 1981; citado por Chavarría 1993).

3.2.4. La pigmentación en la yema de huevo

El color de los alimentos es un factor significativo que determina su aceptación. Se espera que los alimentos tengan un aspecto "natural", ya que de esta forma son apetecibles; por el contrario si un alimento muestra un color no esperado se interpreta como un signo de adulteración, mal procesamiento o deterioro (Jones 2002).

El color, al ser la primera impresión que la persona recibe, tiene suficiente peso sobre la decisión del consumidor, de tal manera que puede influir significativamente a la hora de aceptar o rechazar un producto; es también un factor importante dentro del conjunto de sensaciones que aporta el alimento, y tiende a veces a modificar subjetivamente otras sensaciones como el sabor y el olor (Arce 1991, Carranco 2002).

Los huevos con la yema pigmentada son más apetecidos por la población; la mayoría de los consumidores de huevos de mesa y procesadores de productos de huevo líquido, congelados y secos se inclinan por un color intenso de la yema (Lokaewmanee *et al.* 2009). Esta coloración de la yema preferida por el consumidor varía del amarillo brillante a un amarillo naranja encendido (Arce 1991).

El color amarillento, característico de las yemas de huevo, proviene de la absorción de los carotenoides presentes en la alimentación (De Melo *et al.* 2007). Al ser ingeridos los carotenoides presentes en el alimento, los pigmentos son absorbidos en el tracto intestinal de la gallina y depositados en los tejidos grasos. Esta absorción es precedida por su hidrólisis en la mucosa intestinal, luego por su paso al hígado y por último al torrente sanguíneo, el cual se encarga de depositar el pigmento en el ovario de la gallina adulta (Chavarría 1993).

La pigmentación característica de la yema se debe a dos xantofilas (luteína y zeaxantina) y a trazas de β -caroteno (Meléndez *et al.* 2004). A diferencia de los carotenos, las xantofilas no poseen actividad provitamínica A (Carranco *et al.* 2011a).

Aunque en el pasado se pensaba que la coloración de la yema no se relacionaba con el contenido nutricional del huevo, hoy la historia es otra, pues se han realizado varias investigaciones que dicen lo contrario, resaltando las características funcionales de los carotenoides en la salud humana (Castro y Peña 2009).

De esta manera las xantofilas del huevo (luteína y zeaxantina) intervienen en la salud visual, pues disminuyen el riesgo de cataratas y la degeneración macular relacionada con la edad (Meléndez *et al.* 2004), ya que la luteína actúa como filtro protector de las plantas frente a la luz azul del espectro por lo que se cree que en los tejidos humanos, como en la piel y en la retina, actuaría de la misma manera (Carranco *et al.* 2011a); además investigaciones recientes apoyan el papel protector de la luteína en el desarrollo y progresión de la arterioesclerosis, por su efecto antioxidante (Osganian *et al.* 2003). La zeaxantina es el estereoisómero de la luteína y mediante una conversión enzimática, el organismo puede obtenerla a partir de luteína, cuya presencia en la naturaleza es mayor (Carranco *et al.* 2011a). Por otro lado, se ha sugerido que el β -caroteno suprime el incremento de hormonas relacionadas con el síndrome de estrés (Delgado-Vargas *et al.* 2000).

La biodisponibilidad de la luteína de la yema del huevo es mayor que la de otras fuentes como las espinacas o suplementos, debido a la presencia de colesterol, fosfolípidos y triglicéridos en la yema de huevo, ya que los carotenoides son un grupo

extremadamente hidrofóbico, con poca o nula solubilidad en agua (Cassus y Cornejo 2006).

Aunque la deposición de xantofilas en la yema de huevo es un proceso bastante rápido, puede tomar hasta 3 semanas para alcanzar una respuesta estable a los pigmentos dietéticos (Adams 1985; citado por Galobart *et al.* 2004). Con respecto a esto Arce (1991) encontró una estabilidad de la pigmentación en la yema después del décimo día de incluir harina de camarón (fuente de astaxantina) en las raciones de gallinas ponedoras. Además Nelson *et al.* (1990; citado por Carranco 2002), indican que el procedimiento normal de un ensayo para pigmentar yema de huevo, en donde se incluyan xantofilas, es de aproximadamente 21 días, ya que se considera este tiempo necesario para que el pigmento se vacíe en los óvulos en vías de desarrollo.

La eficiencia de la deposición de pigmentos en la yema varía con la fuente y tipo de oxicarotenoide y disminuye con la cantidad de xantofilas incluida en la alimentación; así por ejemplo la adición de pequeñas cantidades de xantofilas rojas produce colores de yema equivalentes a los obtenidos por niveles más altos de xantofilas amarillas (Baio *et al.* 1999). Con respecto a esto Nelson *et al.* (1990; citado por Carranco 2002) menciona que la eficacia pigmentante de los carotenoides en yema de huevo viene determinada principalmente por dos factores: la deposición del carotenoide en la yema de huevo y el color del carotenoide *per se* (longitud de onda).

A medida que el contenido de carotenoides en el pienso aumenta, la concentración de los mismos en yema de huevo se incrementa en la misma proporción. Otros factores dietéticos también pueden influir en la coloración; la grasa, por ejemplo, puede incrementar la absorción de carotenoides en la yema de huevo (Hamilton y Parkhust 1990; citados por Carranco 2002), pero si es insaturada puede ocasionar todo lo contrario. Al aumentar considerablemente el contenido de vitamina A en el pienso se disminuye el contenido de carotenoides en la yema (Carranco 2002). En el caso de la vitamina E (α tocoferol), esta actúa como antioxidante fisiológico

protegiendo las sustancias susceptibles de oxidación, tal como los oxicarotenoides, favoreciendo de esta manera la pigmentación de la yema (Arce 1991).

El exceso de calcio en la dieta de aves ponedoras reduce la absorción de los carotenoides a nivel intestinal, provocando una disminución en la intensidad del color de la yema (Tortuero y Centeno 1977; citados por Arce 1991). Campos (1986; citado por Arce 1991), hace referencia a investigaciones que afirman que la presencia de antibióticos en la ración alimenticia favorece la pigmentación de la yema y otros tejidos, debido al control de la microflora intestinal que favorece la absorción de carotenoides.

El estado sanitario de las ponedoras también va a afectar al color de la yema. Enfermedades como la coccidiosis reducen la coloración de las yemas de huevo; la inoculación de *Eimeria acervulina* interviene con la absorción de carotenoides en el intestino delgado, y desciende los niveles de carotenoides en el plasma (Carranco 2002).

Los factores genéticos también influyen en la pigmentación, al igual que el sistema de alojamiento de los animales. Existen ligeras diferencias en la coloración de las yemas según el tipo de estirpe (Carranco 2002). Guenthner *et al.* (1973; citados por Karunajeewa 1984) hallaron que las aves alojadas en baterías de jaulas, comparadas con las que estaban en piso, ponían huevos con un color de yema más alto, cuando se les suministraba una ración con 44 mg/kg de oxicarotenoides en ambos casos.

Una vez producidos, las condiciones bajo las que son almacenados los huevos pueden afectar así mismo al color de la yema: el tiempo y la temperatura de almacenamiento afectan a la intensidad e incidencia del moteado de las yemas (Panigrahi y Plumb 1996, citados por Carranco 2002).

3.2.5. Legislación nacional acerca del uso de pigmentos en la alimentación animal

En el país no existe legislación vigente específica acerca de las restricciones de cantidades de pigmentos químicos, el único control relacionado se menciona en el artículo 15 del Decreto Ejecutivo N° 16899-MAG de 1983 (Reglamento para el Control de la Elaboración y Expendio de Alimentos para Animales) que dice: “Se establecen como niveles de incorporación de medicamentos y aditivos en alimentos para animales, siempre y cuando su uso se considere seguro y efectivo, los indicados en la última edición del Feed Additive Compendium the Miller Publishing Co., USA”. Actualmente se encuentra pendiente la modificación de este decreto.

En el caso del Reglamento Técnico RTCR 397:2006 Huevos Frescos o Refrigerados de Gallina para consumo humano N°33115, no se hace referencia a la utilización de pigmentos en la producción de huevos, y la mención más importante que hace al color de la yema del huevo es en el artículo 1: “La intensidad de color de la yema no influye sobre la comestibilidad del huevo, por lo que se aceptan con colores que van de amarillo a anaranjado”.

3.3. El huevo como alimento

Los huevos son una fuente importante de nutrientes para personas de todas las edades y su inclusión en una dieta variada proporciona indudables ventajas nutricionales y sanitarias (Instituto de Estudios del Huevo 2003).

El huevo es un alimento sano y muy completo, tanto por la variedad de nutrientes que contiene, como por su elevado grado de utilización por el organismo. Los compuestos que lo forman cumplen funciones importantes para la salud. Como alimento completo, el huevo ha jugado un papel primordial en la estrecha relación establecida entre los productos de origen animal y la dieta humana, sobre todo debido a las importantes cantidades de proteínas. Todo ello va acompañado de un

costo relativamente bajo, en relación a otras proteínas animales de similar calidad (Aburto 2008).

3.3.1. Características del huevo de gallina

El peso medio del huevo está en torno a los 60 g, de los cuales la clara representa el 60%, la yema el 30% y la cáscara, junto a las membranas, el 10% del total (Instituto de Estudios del Huevo 2003).

La cáscara posee un 94% de carbonato de calcio como componente estructural, además de pequeñas cantidades de carbonato de magnesio, fosfato de calcio, y otros minerales orgánicos. La cáscara constituye la primera barrera de defensa que posee el huevo, y está revestida con una película protectora natural que impide que los microorganismos ingresen desde el exterior. Por otro lado, la cáscara es porosa, por lo que cuenta con 7,000-17,000 poros. Así, la cáscara no es del todo impermeable, y, por lo tanto, esta película actúa como un verdadero revestimiento. El color de la cáscara depende de la línea genética de la gallina, y no influye ni en el valor nutritivo del huevo, el sabor, la calidad nutrimental, o las características culinarias. Por su parte, el grosor de la cáscara está influenciado principalmente por la dieta de la gallina (Aburto 2008).

Hay dos membranas alrededor del huevo: la exterior que se ata firmemente a la cáscara (de hecho la cáscara se deposita en ella) y la interior que cubre la albúmina. Esta membrana interior es la segunda línea de defensa contra las bacterias y está compuesta de pequeñas capas de fibras de proteínas. Entre estas membranas se forma un espacio vacío denominado cámara de aire en el extremo más ancho del huevo, el mismo se empieza a formar una vez que se produce la contracción del contenido del huevo al enfriarse después de la puesta (Gómez y Valero 2006).

La clara es una solución viscosa que rodea a la yema, y se encuentra contenida entre las membranas del cascarón. En base a la consistencia, se distinguen en la clara tres capas diferenciales: dos densas, y una acuosa. La clara densa va perdiendo su consistencia según transcurre el tiempo después de puesto el huevo.

De esta manera, la clara densa va perdiendo su capacidad de mantener la yema en la posición central (que es la normal en un huevo perfecto). La clara está formada principalmente por agua (88%), proteínas (11%), carbohidratos (1%) y minerales (0,5%). La clara también contiene vitaminas, junto con una serie de enzimas que actúan como barreras contra microorganismos (Aburto 2008). La proteína más importante, no sólo en términos cuantitativos (54% del total proteico) es la ovoalbúmina, cuyas propiedades son de especial interés tanto desde el punto de vista nutritivo como desde el culinario (Instituto de Estudios del Huevo 2003).

De vital importancia para la estabilidad y centralización de la yema en el corazón de la albúmina son las chalazas, formadas por un par de bandas espirales a modo de ligaduras suspensorias. La mancha blanca pequeña, redonda, opaca, de 3 – 4 mm de diámetro, situada en la superficie de la yema del huevo como si se tratase de una depresión sobre la misma, es el disco germinal y constituye la entrada para la fertilización del huevo (Gómez y Valero 2006).

La yema es la porción amarilla del huevo y el material de la misma sirve como fuente de alimento para el desarrollo embrionario. La yema está formada por lípidos y proteínas, y es la mayor fuente de vitaminas y minerales del huevo. La cantidad de proteína (expresada como porcentaje respecto de la yema desecada) es del 31,1%. La composición de grasa de la yema es del 65,8%, y se distingue la gran cantidad de lipoproteínas de baja densidad ricas en colesterol. La lecitina es el principal fosfolípido de la yema del huevo; mientras que los ácidos grasos que se encuentran entre los triglicéridos de la yema del huevo son el oleico, palmítico, esteárico y linoléico, en orden descendente de composición (Aburto 2008).

Monge (2001) destaca que para los consumidores de la Región Central de Costa Rica, la principal causa del rechazo del huevo es el contenido de colesterol. Este mito sobre el colesterol en el huevo es totalmente erróneo, pues según Codony (2002) el huevo no provoca un aumento sustancial del colesterol plasmático y su influencia es inapreciable sobre la relación col-LDL/col-HDL; de hecho los científicos creen que no existen datos experimentales fiables que permitan seguir aconsejando

una restricción en el consumo de huevos, lo que por otra parte limita el acceso de la población a un alimento de tan elevado valor nutritivo

3.3.2. La calidad en el huevo

El estado de la cáscara influye de modo decisivo en la calidad del huevo. Para mantener el contenido del huevo aislado de los contaminantes medioambientales es esencial la limpieza y ausencia de fisuras, roturas y otras anomalías de la cáscara. Por tanto un huevo de calidad debe tener la cáscara intacta y limpia (Instituto de Estudios del Huevo 2003).

El albumen denso debe ser consistente. Si el huevo no es fresco y se mantiene íntegra la membrana de la yema, ésta se extiende sobre la superficie en capa de escasa altura perdiendo la forma esferoidal y presentando una forma aplastada. Además la membrana de la yema puede tener finas arrugas y la separación de la clara y la yema resulta imposible, o bien se logra tan sólo parcialmente y con dificultad. La clara presenta escasa altura como consecuencia de la fluidificación de la clara densa, su color es más amarillo pudiendo aparecer enturbiada o teñida de rojo amarillento (Periago 2012).

La altura del albumen al romper el huevo es lo que da una medida exacta de su calidad. Cuanto mayor sea, mayor calidad se le atribuye. La altura de la albúmina y el peso de un huevo íntegro son usadas para calcular las unidades Haugh (UH), que sirven para calificar el producto. Aunque la altura de la albúmina decrece con la edad, o el retraso del huevo desde su puesta, hay suficiente variabilidad genética incluida en este carácter. En un huevo muy fresco y de buena calidad, la albúmina tiene una apariencia de aspecto nubloso, y consistencia parecida a la de una jalea. Conforme el producto envejece, y con ello, pierde dióxido de carbono a través de la cáscara, la albúmina se hace más alcalina, y adquiere un aspecto transparente y acuoso (Aburto 2008).

Defectos de la yema como manchas de sangre pueden ser mal vistos por el consumidor y restarle calidad al huevo, estas manchas en ocasiones se deben a

hemorragias que ocurren de un folículo capilar en el momento de la ovulación. Las ponedoras de huevos marrones son más propensas a producir un mayor número de manchas de carne en los huevos, con respecto a las ponedoras blancas (Zeidler 2002).

Uno de los factores que afectan a la calidad del huevo es el tiempo transcurrido desde la puesta hasta su consumo, habitualmente relacionado con el término "frescura" (Instituto de Estudios del Huevo 2003). Según Zeidler (2002) almacenar los huevos a baja temperatura y aplicar aceite mineral en la cáscara disminuye el escape de dióxido de carbono y humedad, previniendo la pérdida de consistencia de la clara densa y de la yema.

3.3.3. Propiedades funcionales del huevo

El posible papel del huevo como alimento e ingrediente de tipo funcional debería justificarse por la presencia en el mismo de determinados compuestos que han sido identificados como fisiológicamente activos y con efectos potencialmente beneficiosos, que pueden cuantificarse de alguna manera. Algunos de estos compuestos son los carotenos (neutralizan radicales libres), vitamina E (antioxidante), colina (favorece el mantenimiento y mejora las funciones cognitivas, particularmente la memoria), etc. (Codony 2002).

Los huevos, como fuente de folatos, piridoxina y vitamina B12 y también por su contenido en lecitina, contribuyen a regular los niveles de homocisteína, y por tanto a disminuir el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. Además en el huevo se encuentran diversos anticuerpos cuya acción más significativa es la de favorecer, estimular o mantener la respuesta inmune del organismo frente a determinados procesos infecciosos. Al analizar el contenido en inmunoglobulinas del huevo se comprobó que en la clara las concentraciones de IgA e IgM eran relativamente bajas, mientras que en la yema el nivel de IgG era bastante elevado (25 mg/ml) (Instituto de Estudios del Huevo 2003).

Otros componentes del huevo de interés para la salud son los ácidos grasos poliinsaturados (AGP) ω -3 y ω -6. El equilibrio de estos ácidos grasos parece jugar un papel importante en el control y tratamiento de enfermedades coronarias, hipertensión, diabetes, artritis, desórdenes autoinmunes e incluso en el cáncer (Cassus y Cornejo 2006).

3.4. Producción de huevos

A nivel centroamericano la producción de huevos en Costa Rica representa casi el 17% del total de la región; el consumo per cápita anual de huevos del país, registró una tasa de crecimiento de 6,2%, alcanzando 12,1 kg, al 2008. La mayor parte de la producción nacional se consume internamente; no obstante, en la región centroamericana, Costa Rica y El Salvador son los líderes en la exportación de huevo de mesa fresco y procesado (SEPSA 2009).

Con respecto a la comercialización de huevos para consumo nacional, tres empresas grandes controlan cerca del 52% del mercado, 7 empresas medianas un 28% y las pequeñas, que son muy numerosas, comparten el restante 20% (Vaca 2003).

3.4.1. Situación de la industria avícola nacional

En el país, según la Secretaria Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA 2009), la actividad avícola se desarrolla en dos niveles; uno es el comercial, altamente tecnificado; y, el otro es el de traspatio, actividad importante en la vida rural, no tecnificado, pero que constituye para la familia una fuente de alimento de gran valor nutricional (carne y huevos).

Una característica que ha mostrado la avicultura en los últimos años, es un proceso de integración vertical. Es común que la misma empresa ejecute las actividades de producción, procesamiento (caso de carne de pollo) y la distribución mayorista, desde las granjas hasta los negocios detallistas, en sus mismas flotillas. Es habitual,

la existencia de empresas que se encadenan con las actividades de la incubación y hasta la producción de huevo fértil o su importación (SEPSA 2009).

Uno de los grandes problemas que enfrenta la industria avícola nacional son las fluctuaciones de precios de la soya y el maíz en el mercado internacional, que afectan en forma directa los costos de producción locales y por consiguiente inciden en los precios del producto final al consumidor (Vaca 2003).

3.4.2. Sistemas de producción

En explotaciones comerciales de gran escala, el tipo de alojamiento y equipo utilizados permiten ejercer un control considerable sobre las condiciones climáticas que se proporcionan a las aves, pero son alojamientos cuya construcción y funcionamiento son costosos, por lo que requieren una importante rotación de aves para resultar viables (Glatz y Pym 2012).

En los alojamientos de ponedoras de ambiente controlado, los sistemas de jaulas multinivel son habituales. La mayoría de las explotaciones comerciales de gran escala utilizan sistemas de ambiente controlado para proporcionar la temperatura ambiente ideal para las aves. El rendimiento de las aves en naves de ambiente controlado es por regla general superior al de los alojamientos con ventilación natural, ya que se pueden mantener las condiciones de la zona de confort térmico de las aves. Lograr el ambiente ideal para las aves depende de una adecuada gestión de la producción avícola (Glatz y Pym 2012).

En los últimos años debido al aumento en la comercialización de huevo, cada vez más productores a nivel nacional han implementado sistemas de alojamiento en jaula. Esto se debe a que actualmente, para sistemas productivos intensivos, este tipo de alojamiento es el que mejor se ajusta a las necesidades del productor favoreciendo la mayor densidad de población y la combinación de altos niveles de productividad por medio de la agilización en la recolección de huevos, en comparación con la producción de huevo en piso (Itza *et al.* 2011).

Elson (2009) señala al respecto, que la producción de huevos, biológicamente hablando, puede ser tan buena en los sistemas en piso como en las baterías de puesta, pero generalmente el porcentaje de producción es menor en piso. Asimismo destaca que la conversión alimenticia suele ser peor en piso que en alojamiento en jaulas. Además se ha visto que el uso de jaulas disminuye la mortalidad (Elson 2009, Itza *et al.* 2011), lo que posiblemente se deba a que este sistema disminuye el riesgo de enfermedades (aves separadas de sus excretas) y agresiones por canibalismo, aparte de que facilita el control de las ponedoras. Considerando que el huevo no va a estar en contacto con el piso, es de esperarse que su calidad (física y microbiológica) sea mayor que en otros sistemas de alojamiento.

Desde el punto de vista experimental, el alojamiento en jaulas facilita la aplicación de ensayos ya que permite un control total del ambiente, como por ejemplo, la iluminación, temperatura y limpieza; además las aves se manejan por grupos pequeños lo que hace más sencillo la asignación de tratamientos experimentales.

Por otro lado, en los países en vías de desarrollo también abundan los sistemas de producción de mediana escala. Estos sistemas generalmente cuentan con un flujo de aire natural en la nave para la ventilación. Las gallinas ponedoras se alojan en jaulas de alambre comerciales en naves abiertas o en piso en naves con recintos de alambre para aislarlas de las aves silvestres (Glatz y Pym 2012).

En los últimos años el alojamiento en jaulas convencionales se ha cuestionado por el tema del bienestar animal; de hecho la Unión Europea (UE) prohibió el uso de jaulas convencionales, no acondicionadas, para el alojamiento de gallinas ponedoras en todos sus Estados miembros a partir del 2012 (Elson 2009). Para el futuro, esta tendencia podría extenderse a los otros continentes, ya sea por interés o necesidad en exportar productos avícolas a territorio europeo, o por presión del propio consumidor local. Bajo este panorama, el productor deberá tomar decisiones y considerar sistemas como el de producción en piso o en jaulas acondicionadas, que son más espaciosas, altas, y cuentan con perchas y nidales (Elson 2009).

3.4.3. Línea de ponedoras Hy-Line variedad Brown

Fundada en 1936 en Estados Unidos, Hy-Line International fue la primera, entre las compañías genéticas modernas de aves ponedoras, en incorporar la hibridación y el potencial explosivo del vigor híbrido en su programa de reproducción a una escala comercial y en utilizar métodos comprobados de selección genética junto con análisis científicos estadísticos para desarrollar y mejorar una de las fuentes de genes más extensas del mundo (Pesado *et al.* 2006).

A finales de los años setenta Hy-Line International introdujo la línea genética Hy-Line Brown. Esta ave sumamente productiva ha mejorado cada año sucesivo. Su rendimiento ha sido demostrado al terminar en primer lugar en numerosas pruebas avícolas oficiales ejecutadas en todo el mundo (Arthur 1991). Estas ponedoras de huevos marrones se caracterizan por su docilidad, alta viabilidad y consumo mínimo de alimento, lo cual la hace una de las ponedoras de menor costo en la industria para producir huevos. Además produce huevos con una excelente calidad, dentro de lo que destaca la alta resistencia de la cáscara (Avicol 2012a).

Esta línea genética, al igual que la mayoría existentes actualmente en el mercado, están en constante mejora gracias al proceso de selección genética. Todas las variables de importancia económica en producción de huevo son evaluadas en su totalidad por la compañía genética, dejando para la multiplicación genética dentro de un esquema de mejoramiento balanceado, las líneas que mejor desempeño tienen respecto a las mismas. Dichas características son: viabilidad, producción, persistencia, conversión alimenticia, temperamento, madurez sexual, peso corporal, y todas las relacionadas con calidad de huevo (Avicol 2012b).

Las gallinas de estirpes ligeras son capaces de sintetizar la enzima trimetilamina oxidasa necesaria para romper la trimetilamina, procedente de la sinapina (éster de ácido sinápico y colina) que se encuentra en varias materias primas, entre ellas la harina de canola y pescado. En cambio, las gallinas semipesadas carecen de dicha enzima con lo que no destruyen la trimetilamina y ésta acaba apareciendo en los

huevos, dando un desagradable sabor a pescado (Lázaro 2006, citado por Romero 2007).

En el caso de la línea Hy-Line Brown, la trimetilaminuria es una de las características primarias bajo selección que se ha logrado eliminar, por medio del gen FMO3 que codifica la enzima trimetilamina oxidasa (Arango 2013), por lo tanto es de esperarse que los huevos producidos bajo la suplementación de materias primas con trimetilamina no presenten olor y sabor a pescado para esta línea genética, en comparación con otras líneas de huevo marrón.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Elaboración y caracterización de la harina de camarón

4.1.1. Origen y naturaleza de la materia prima

La materia prima para la elaboración de la harina de camarón fue de origen marino, proveniente de las zonas de Puntarenas y Guanacaste; el proveedor del material fue un particular recomendado tanto por la empresa Coonaprosal R. L., como por Alimentos ProSalud S.A.

La frescura y calidad de los subproductos de camarón se garantizaron al efectuar una supervisión directa de la recolección y transporte del material. Esta materia prima consistía mayoritariamente en cabezas, exoesqueletos y algunos camarones enteros de la especie *Pleuroncodes planipes*, llamado comúnmente en Costa Rica camarón langostino. Los subproductos se encontraban en excelente estado gracias a que provenían de camarones procesados el mismo día de la recolección (Figura 2).



Figura 2. Subproductos de camarón utilizados para la elaboración de la harina de camarón.

4.1.2. Elaboración de la harina de camarón

La materia prima se trasladó inmediatamente después de la recolección a las instalaciones de la empresa Alimentos ProSalud S.A. ubicadas en el Roble de la

provincia de Puntarenas, específicamente a la planta de producción de harinas. En la planta harinera, el primer paso fue el pesaje de los subproductos de camarón, resultando un peso de 1669 Kg totales de materia prima con una humedad inicial de 73,51%, determinada de manera automática por el equipo de la planta.

Posteriormente, el material se depositó de manera mecánica sobre dos tornillos sin fin para comenzar con la primera fase del proceso. Uno de estos tornillos se moviliza de adelante hacia atrás y tiene como función mezclar; el otro se moviliza de atrás hacia adelante y tiene la función de transportar los subproductos de camarón a la siguiente etapa.

La sucesiva etapa consistió en una serie de tornillos sin fin, la mayoría de estos son solamente para transporte, sin embargo en uno se da un troceado que facilita la posterior cocción, principalmente cuando se trata de materias primas provenientes del procesamiento de animales que contienen esqueletos o exoesqueletos de gran tamaño.

Después se continuó con la etapa de cocción que se lleva a cabo por medio de un cocinador continuo, y tardó aproximadamente 15 minutos. En esta etapa la temperatura de cocción siempre es la misma (90 °C), sin importar el tipo de materia prima, lo que varía es el tiempo de cocción, ya que éste depende del contenido de grasa de la materia prima, por lo que a mayor grasa, mayor debe de ser el tiempo de cocción.

Luego el material pasó por el decantador, cuya función es la de separar sólidos, agua y aceites contenidos en la materia prima. El agua extraída era limpia, lo que hizo posible reintegrarla en otras etapas del proceso, como por ejemplo con los vaporizadores. Los aceites extraídos pasaron a tanques de almacenamiento, mientras que los sólidos procedentes del decantador pasaron a la prensa. La prensa consiste en un tornillo que va de menor a mayor tamaño rodeado con una malla que mantiene el mismo tamaño de circunferencia a lo largo de todo el tornillo, lo que genera extracción de humedad. Al salir de la prensa se midió de manera automática el contenido de humedad del material, resultando en 53,30%.

Una de las últimas etapas fue la del secado que se realizó por medio de un secador que funciona a base de vapor con una temperatura de 110 °C, el tiempo de permanencia del material en el secador fue de aproximadamente 1 hora, durante la cual se extrae la mayor cantidad posible de humedad contenida en el material procedente de la prensa, para así obtener una harina de camarón con una humedad final aproximada de 10%. El tiempo de permanencia de la harina en el secador dependió de la humedad de entrada del producto al equipo, en este caso el tiempo de la harina de camarón fue el mismo que para la harina de pescado (Prudente 2013¹).

Por último la harina fue depositada en sacos. Para ese ensayo, se obtuvieron 5 sacos de 50 Kg cada uno, obteniéndose un rendimiento aproximado del 15%. En la Figura 3 se puede observar el proceso de manera esquematizada.

El proceso total tardó aproximadamente 4 horas, más de las 2 horas esperadas, debido a que los exoesqueletos de camarón son muy livianos, lo que provocó que se acumulara material en las paredes de la maquinaria en ciertas etapas de proceso lo que hacía necesario inyectar agua proveniente del decantador en dichas etapas. Otra razón del atraso fue el hecho de que se requería la máxima "pureza" o limpieza posible de la harina por lo que no era factible introducir otra clase de materia prima, como por ejemplo desechos de atún, que generaran un efecto de empuje sobre los subproductos de camarón para agilizar el proceso.

¹ Prudente D. 2013. Comunicación personal. Encargado principal de planta harinera de la empresa Alimentos Pro Salud S.A. Costa Rica.

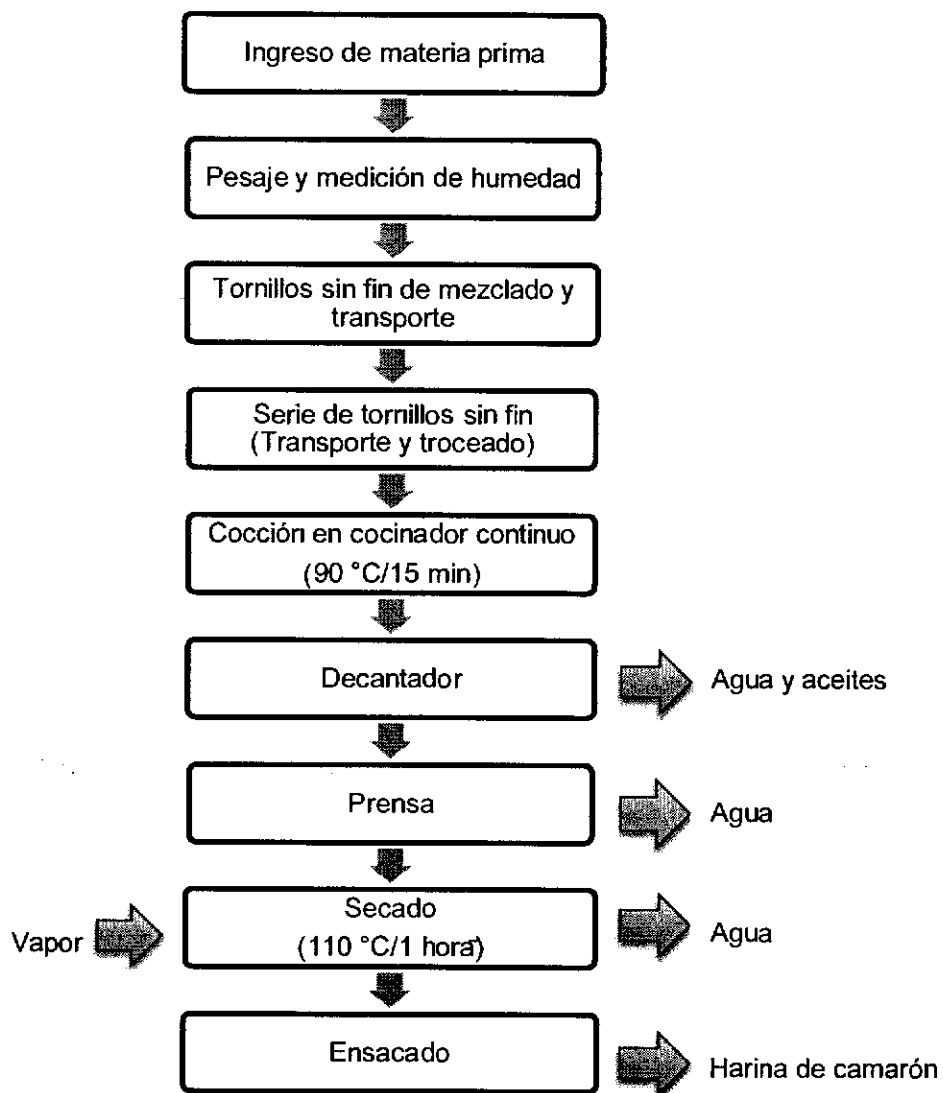


Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de la elaboración de la harina de camarón.

4.1.3. Caracterización de la harina de camarón

Por medio de muestreo aleatorio fueron extraídas sub-muestras de los cinco sacos de harina de camarón, con el fin de obtener dos muestras de 450 g cada una, y otra de 1Kg. Una de las muestras de 450 g fue llevada a los Laboratorios Veterinarios Consulab, localizados en la Asunción de Belén (Heredia, Costa Rica), para el análisis

proximal de la composición nutricional de la harina, por medio de la metodología de análisis por espectroscopia de infrarrojocercano (NIR). Debido a que estos laboratorios hasta la fecha no habían analizado muestras de esta naturaleza, no contaban con los datos para calibrar el equipo y así poder obtener resultados más precisos, por ello reenviaron la muestra a Hahn Laboratories, Inc., ubicados en Columbia, Estados Unidos.

Las otras 2 muestras, de 450 g y de 1Kg de peso, se llevaron al Centro de Investigaciones en Nutrición Animal (CINA) para los análisis de digestibilidad por pepsina (método 971.09 de la AOAC), análisis de humedad (método 930.15 de la AOAC), extracto etéreo (método 920.39 de la AOAC), proteína cruda (método 2001.11 de la AOAC) y tamaño de partícula (método 973.03 de la AOAC).

Además, una pequeña muestra de 150 g de la harina de camarón obtenida por sub-muestreo quintuplicado aleatorio, fue llevada al laboratorio de química de la Escuela de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica, para determinar la acidez por medio de un análisis potenciométrico, esto con el fin de conocer si este parámetro tiene un efecto en la caracterización microbiológica de la harina. Pruebas preliminares demostraron que dada la coloración rojiza de la harina de camarón, se hacía muy difícil establecer el punto de viraje de la fenolftaleína si se aplicaba una valoración convencional con NaOH 0,1N.

El análisis potenciométrico consistió en titular con NaOH 0,1N como valorante, pero en lugar de utilizar un indicador para observar un cambio de color, se utilizó un pHmetro digital 827 pH lab marca Metrohm, de modo que se comienza a agregar NaOH a una solución al 10% de harina de camarón, por medio de una bureta hasta alcanzar una lectura en el pHmetro de un pH igual a 8,1 por lo que la acidez presente en la muestra depende de la cantidad de NaOH agregado.

4.2. Formulación y elaboración de las raciones

Para la formulación de las raciones se implementaron 3 niveles de inclusión de la harina de camarón, tal y como recomienda Salas (2013²), a razón de 5%, 10% y 15%. Para estas formulaciones se tomó como base la dieta utilizada en la Granja Avícola Piedras Negras llamada "Impulsor", que se ofrece a las aves desde la postura del primer huevo hasta las 45 semanas de edad (Cuadro 3).

Esta misma dieta, "Impulsor", fue utilizada como tratamiento control (0% de harina de camarón). La dieta control mantuvo dentro de los ingredientes un pigmentante artificial (Lucantin Rojo[®]) en una concentración de 0,02%, mientras que los demás tratamientos no contenían este pigmentante, de modo que se pudiera evaluar el efecto de la harina de camarón como pigmentante natural de la yema de huevo.

Cuadro 3. Contenido nutricional garantizado de la ración "Impulsor" utilizada en la Granja Avícola Piedras Negras.

Nutriente	Contenido (%)
Proteína	17,65
Fibra Cruda	2,11
Ácido Linoléico	2,32
Grasa	4,86
Cenizas	12,64
Calcio	4,19
Fósforo disponible	0,35
Metionina + cisteína digestible	0,69
Energía metabolizable (Kcal/Kg)	2858

Fuente: Granja Avícola Piedras Negras S.A. 2013³.

Las dietas experimentales fueron formuladas de tal manera que resultaran isoproteicas e isocalóricas (tanto entre ellas como con la dieta base), con lo que se garantizaron niveles nutricionales homogéneos durante la prueba. Dicha formulación

² Salas C. 2013. Comunicación personal. Docente-Investigadora de la Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

³ Granja Avícola Piedras Negras S.A. 2013. Comunicación personal. Granja ubicada en el cantón de Mora de San José, Costa Rica.

de las dietas experimentales se llevó a cabo por medio del software Brill® (Cuadro 4), con base en un consumo de alimento concentrado aproximado de 110 g/ave/día.

Por medio del Brill® se estimaron los costos por kilogramo de alimento concentrado producido para las dietas formuladas que contenían los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón. Se le solicitó a Alimentos ProSalud S.A. asignarle un valor económico a la harina de camarón mediante la experiencia de esta empresa en la fabricación y comercialización de harinas de esta naturaleza, asignándole el precio de \$43 por saco de 50 Kg.

Cuadro 4. Formulaciones de las raciones control y experimentales para alimentar las gallinas ponedoras.

Ingredientes	Porcentajes según ración (%)			
	Control	5%HC	10%HC	15%HC
Maiz	58,100	55,02	56,83	57,69
Soya 47 %	20,110	23,19	17,45	13,34
Calcio	8,760	8,93	7,88	7,05
Harina de camarón	-	5,00	10,00	15,00
Harina de carne	5,980	0,08	0,76	0,15
Acemite	3,910	3,74	4,00	4,00
Aceite de soya	1,960	2,05	1,30	1,00
Fosfato Monocálcico	-	0,86	0,53	0,43
Sal	0,400	0,40	0,40	0,40
Secuestrante	0,270	0,27	0,27	0,27
Metionina	0,230	0,23	0,24	0,27
Lisina	0,110	0,07	0,13	0,18
Vitam- ponedora	0,100	0,10	0,10	0,10
Colina 60 %	0,050	0,05	0,05	0,05
Treonina	0,020	0,01	0,05	0,08
Lucantin rojo	0,002	-	-	-
Costo/Kg (¢)	235,08	248,67	250,18	256,02

HC= Harina de Camarón.

En las dietas experimentales fue necesario incluir fosfato monocálcico como ingrediente, debido a que en estas dietas se disminuyó la inclusión de harina de carne y hueso que es sustituida por la harina de camarón, la cual contiene menor cantidad de fósforo, y muy posiblemente de calcio, en su composición que la harina de carne y hueso, de ahí que se observó la necesidad de incluir el fosfato en las dietas experimentales. A parte de los minerales mencionados, la proteína de la harina de camarón muy posiblemente también reemplazó gran parte de la proteína aportada por la harina de carne y hueso. Este efecto que también se observó con la harina de soya, ya que conforme aumento la inclusión de harina de camarón, disminuyó la cantidad de harina de soya en las dietas.

Algo notable de esta sustitución de harina de soya y harina de carne y hueso por la harina de camarón, es que se dio un aumento en la inclusión de aminoácidos sintéticos, como es el caso de metionina, lisina y treonina, muy posiblemente porque el nivel de aminoácidos aportado por la harina de camarón es inferior al de los ingredientes que sustituye, sin embargo se debe tomar en cuenta que no se utilizó el perfil de aminoácidos real de la harina de camarón, lo que pudo provocar este resultado. Esto también contribuyó a los mayores precios obtenidos en las dietas al incluir la harina de camarón, ya que estos componentes son importados y por lo tanto tienen altos costos.

Debido a que no se contó con el perfil de aminoácidos real de esta harina de camarón, para efectos de formulación se utilizó el perfil de aminoácidos totales reportado por Gernat (2001) para una harina de camarón de especie no especificada (Cuadro 5). Estos aminoácidos totales se convirtieron a digestibles, utilizando el dato de digestibilidad de la harina.

Cuadro 5. Perfil de aminoácidos totales para una harina de camarón determinado por Gernat (2001) mediante un analizador de aminoácidos intercambiador de cationes.

Aminoácido	%
Metionina	0,82
Lisina	3,07
Arginina	2,49
Triptófano	0,41
Treonina	1,59
Ácido aspártico	3,98
Serina	1,48
Ácido glutámico	5,71
Prolina	1,81
Glicina	2,58
Alanina	2,64
Cisteína	0,38
Valina	2,19
Isoleucina	1,76
Leucina	3,01
Tirosina	1,44
Fenilalanina	1,86
Histidina	0,85

Fuente: Gernat 2001. Experiment Station Chemical Laboratories, University of Missouri, Columbia, MO 65211.

La harina de camarón se almacenó en una bodega bajo condiciones ambientales recomendadas por la empresa Alimentos ProSalud S.A., por un periodo aproximado de 3 meses y medio, para posteriormente trasladarla a la Granja Piedras Negras S.A.

ubicada en la localidad de Piedras Negras del cantón de Mora de la provincia de San José.

La granja cuenta con su propia planta de elaboración del alimento concentrado, de manera que elaboran diferentes dietas dependiendo de la edad y la postura de las aves y además venden alimento a sus granjas integradas. Esto facilitó la elaboración de las dietas experimentales, ya que hacía posible no agregar el pigmentante artificial e incluir la harina de camarón en cada una de las dietas experimentales.

El primer paso para la elaboración de las dietas fue calcular el tamaño de los baches, para ello se utilizó el consumo aproximado por ave que se maneja en la galera donde se llevó a cabo el ensayo, que es de 104 g diarios de alimento concentrado, además se tomó en cuenta el tiempo que se ofrecerían las dietas y la cantidad de gallinas por tratamiento. Con todos estos datos se determinó hacer baches de 115 Kg por tratamiento, lo cual se ajustaba a las capacidades de la mezcladora de la planta.

Antes de iniciar con el primer bache que incluía 5% de harina de camarón, se limpió la mezcladora profundamente. Posteriormente se pesaron uno por uno los ingredientes siguiendo las fórmulas, y se fueron agregando en la mezcladora en orden de mayor a menor cantidad, siendo el maíz el primero, y por último el aceite para asegurar una adecuada distribución de este último y evitar problemas de mezclado. Se procedió de la misma manera con los baches que incluían 10% y 15% de harina de camarón, realizándose una limpieza de la mezcladora entre la elaboración de cada bache, ya que cada uno representaba un tratamiento diferente.

Las dietas experimentales se almacenaron en la bodega de alimentos balanceados, de manera que se tomaba por día solamente la cantidad de alimento que se ofrecería a las aves. Esto para evitar mantener los sacos en la galera donde se llevaría a cabo el trabajo experimental, donde se expondrían a posibles confusiones, contaminaciones o ataque de plagas.

4.3. Experimento biológico

El experimento biológico con las aves se llevó a cabo en Granja Avícola Piedras Negras. La implementación y manejo de las jaulas de alojamiento, el monitoreo, control y ensayos de alimentación estuvieron a cargo de la postulante en su totalidad, quien se estableció en la granja por el período de tiempo necesario para el trabajo experimental de campo.

La granja cuenta con 3 galeras de producción, siendo la Galera #1 (Figura 4) en donde se localizó el grupo de gallinas ponedoras que se sometió a las dietas experimentales. Se seleccionó esta galera ya que es la única de la granja que aún conserva el método de alimentación completamente manual, lo cual facilitó la asignación y repartición de las diferentes dietas experimentales.



Figura 4. Parte de la Galera # 1 donde se llevó a cabo el ensayo experimental.

Para el ensayo se utilizaron un total de 140 gallinas de la línea Hy-Line variedad Brown, con una edad de 40 semanas. Las aves estaban dispuestas en baterías de jaulas de tres niveles y se manejaron 7 animales por jaula. En total se utilizaron 20 jaulas, de manera que cada tratamiento (inclusiones de 0%, 5%, 10% y 15% de

harina de camarón) contó con 5 repeticiones asignadas completamente al azar. En la Figura 5 se puede apreciar las dimensiones de las jaulas.

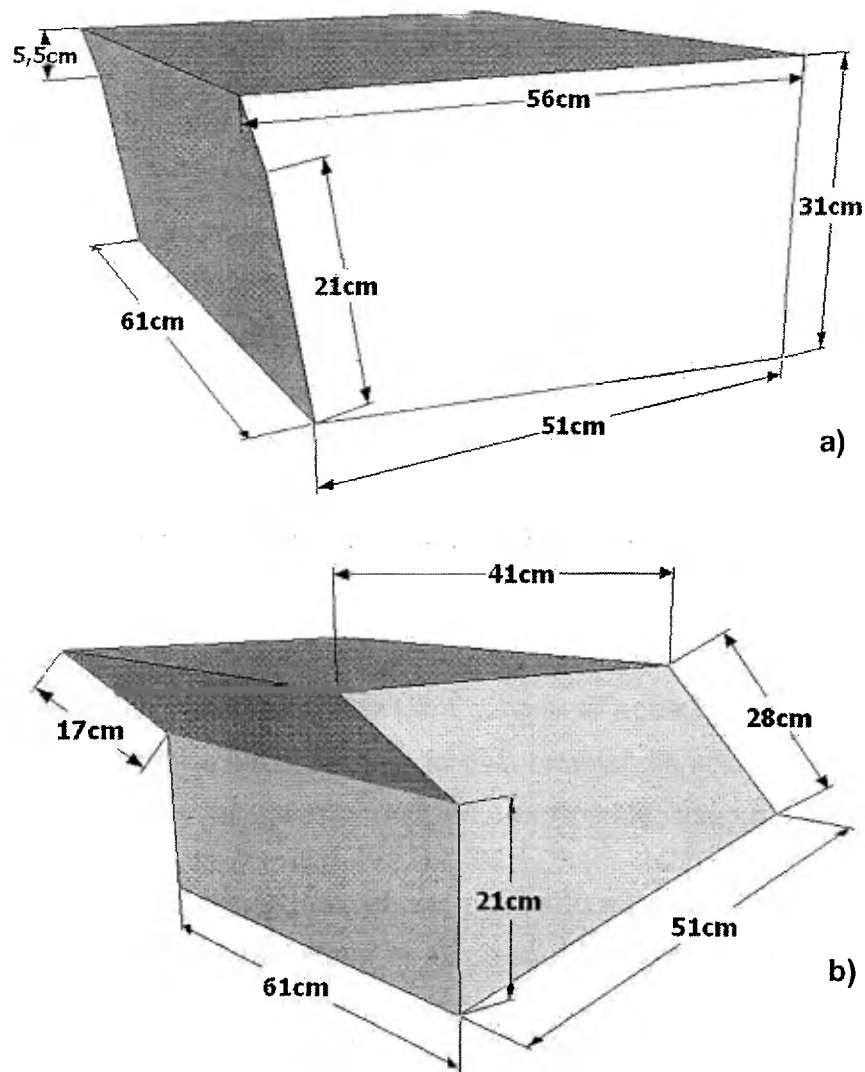


Figura 5. Jaulas experimentales: **a)** Dimensiones de cada jaula ubicada en la primera fila de la batería. **b)** Dimensiones de cada jaula ubicada en la segunda y tercera fila de la batería.

4.3.1. Caracterización preliminar de las aves y su manejo habitual

La semana previa a iniciar el trabajo experimental se observó la rutina diaria de las labores que se realizaron dentro de la galera, ya que una vez que se implementaran las dietas experimentales que incluían la harina de camarón, se debieron mantener los mismos horarios, especialmente en cuanto a alimentación se refiere, para no provocar cambios bruscos que pudiesen influir en el desempeño productivo de las aves.

En la galera donde se realizó el ensayo se inició diariamente con las labores a las 6 a.m., cuando se emprendió la primera recolección de huevos del día y la primera alimentación de los animales simultáneamente, llevadas a cabo por 2 personas diferentes. Alrededor de la 1 p.m. se procedió con una segunda alimentación y a las 2 p.m. se ejecutó la última recolecta de huevos del día. Una vez que se finalizó con cada recolecta del día se realizó una selección del huevo clasificándolo por huevo normal, grande, sucio y quebrado; aquellos huevos que estaban levemente sucios se limpiaron con alambresas para remover dicha suciedad. En los días más calurosos, cerca de medio día, se realizó un cambio del agua en las tuberías que llevan a los nipples presentes en cada jaula, esto para garantizar agua fresca a las aves la mayor parte del día. Aparte de las anteriores tareas, también se llevaron a cabo labores de limpieza de la galera y las jaulas, y revisión de todos los nipples día por medio.

Durante esta semana previa también se monitoreó a las aves con las que se llevó a cabo el ensayo, con el fin de observar el comportamiento productivo de las mismas. Este monitoreo se apoyó en la medición de: producción porcentual de huevos, consumo de alimento concentrado, peso del huevo e índice de conversión alimenticia.

Se cuantificó la cantidad de huevos producidos por cada jaula de esta sección durante cuatro días, para calcular un porcentaje de producción por jaula; lo que permitió tener una referencia de la producción que mantiene esta sección de la galera y además verificar si hay alguna diferencia, en cuanto a producción se refiere, entre las filas de la batería. Lo anterior, debido a que en la granja se desconocía si la

posición de la fila influye en algún aspecto relacionado con el consumo, la producción, o alguna otra variable de interés zootécnico; esto por efectos de que a una fila le llegue más luz que a otra o porque alguna recibiese más viento que otra.

Con respecto al consumo de alimento, se midió en el transcurso de dos días pesando el alimento concentrado en comedero, exactamente después de la segunda alimentación del primer día; el segundo día se pesó el alimento sobrante en comedero a primera hora, para conocer el consumo durante la noche. Posteriormente, este segundo día, también se pesó el alimento concentrado en comedero después de la primera alimentación de la mañana y exactamente antes de la segunda alimentación de la tarde para obtener el dato de consumo durante el día. Este procedimiento se llevó a cabo 2 veces durante esa semana. Los pesajes de alimento concentrado se realizaron utilizando una balanza granataria electrónica portátil con una mínima detección de 1 gramo y una capacidad máxima de 5000g, marca HIWEIGH y modelo BHK-5000.

El pesaje de huevo se realizó el mismo día en el que se realizó la segunda etapa de la medición del consumo de alimento. Cada huevo recolectado ese día de la sección en observación, se pesó de manera individual con el objetivo de tener un peso promedio de huevo de referencia y también para detectar diferencias entre filas, como anteriormente se mencionó. El pesaje se realizó utilizando la misma balanza con la que se realizaron los pesajes de alimento concentrado para los cálculos del consumo. Con los datos de consumo de alimento y peso de huevo también fue posible calcular el índice de conversión alimenticia promedio.

4.3.2. Mediciones en campo asociadas

Las jaulas se identificaron con números y los respectivos tratamientos al azar. Además se colocaron unos pequeños letreros plásticos para señalar la sección de jaulas con la que se estaba realizando el ensayo, esto para evitar que los colaboradores que laboran en la galera, por error, recolectaran los huevos o alimentaran con el concentrado regular estas jaulas.

En principio se definió que el período de adaptación sería de 5 días, sin embargo ya en la granja, se empezaron a realizar las diferentes mediciones planteadas, durante este mismo período y a registrar los resultados obtenidos. Debido a que no hubo rechazo de ninguna de las dietas ofrecidas a las aves, y tampoco se observaron ni obtuvieron resultados atípicos que pudieran comprometer la producción o vida de las aves, se decidió que el período de adaptación sería incluido como la semana 1 del ensayo.

Esta primera fase del ensayo experimental permitió evaluar el desempeño de las aves en las variables de interés para los cuatro niveles de inclusión. La alimentación experimental se mantuvo durante un período de 4 semanas y se determinaron las siguientes variables de interés zootécnico y de calidad externa e interna del huevo, para cada uno de los tratamientos.

4.3.2.1. Producción porcentual

Se cuantificó la cantidad de huevos por jaula, por medio de dos recolecciones diarias a lo largo del período experimental, con el fin de calcular la producción porcentual semanal por jaula.

4.3.2.2. Consumo de alimento

A primera hora de la mañana se iba a la bodega de la planta de alimento concentrado de la granja a recoger la cantidad diaria de cada tratamiento formulado con los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón que se le ofrecería a las gallinas por día. Esta cantidad se calculó con base en el consumo promedio por ave, de 104 g diarios, que se maneja en la galera según los reportes de las últimas semanas de la granja.

Se turnaba la cantidad que se les ofrecía a las aves entre 3000 y 4000 g por tratamiento, tratando de semejar el consumo registrado en la galera y dependiendo del residuo en comedero; es decir si se observaba por la mañana que en comedero

quedaba mucho alimento, entonces se ofrecía menos cantidad (3000 g) y si quedaba limpio o con una cantidad mínima, se ofrecía 4000 g.

Se ofreció una cantidad variable entre 600 a 800 g de alimento por jaula. Ya que en la galera se realizaban 2 alimentaciones al día, se procuró hacer lo mismo durante el ensayo, de manera que se repartía la mitad de los 3000 ó 4000 g de cada tratamiento en la alimentación de la mañana y la otra mitad en la alimentación de la tarde, esto con el fin de mantener la rutina a la cual las aves estaban acostumbradas. La alimentación dos veces por día se realiza para estimular el consumo en las gallinas, ya que al momento de alimentar se moviliza el alimento dentro del comedero, lo cual llama la atención del ave para consumir más.

Ya que se conocía la cantidad de cada tratamiento que se ofrecía por día, al día siguiente a primera hora se pesaba el alimento concentrado sobrante en comedero, el cual en la mayoría de los días del ensayo fue prácticamente nulo. De esta manera era posible obtener el consumo por día, restando la cantidad de alimento sobrante a la cantidad de alimento ofrecido. El pesaje del alimento se realizó utilizando una balanza granataria electrónica portátil con una mínima detección de 1 gramo y una capacidad máxima de 5000 g, marca HIWEIGH, modelo BHK-5000.

4.3.2.3. Peso corporal de la ponedora

Semanalmente se pesó un 20% de la población experimental, de modo que se seleccionó al azar 1 jaula por tratamiento, que fue marcada desde la primera pesa. Posteriormente, se pesaron cada semana las aves de la misma jaula y de manera individual. Para efectos de esta variable se consideró a cada ave pesada como una repetición, de modo que se pesaron 7 repeticiones por tratamiento. Para pesar las ponedoras se utilizó una balanza colgante marca UWE, modelo HS-15K con una capacidad máxima de 15 Kg * 0,01 Kg.

4.3.2.4. Mortalidad

Diariamente se revisaba cada jaula involucrada en el ensayo en busca de aves muertas para contabilizarlas.

4.3.2.5. Peso del huevo

Una vez por semana se pesó cada huevo recolectado de cada una de las jaulas involucradas en el ensayo, registrando de cual jaula procedía cada uno. Este pesaje se llevó a cabo utilizando una balanza granataria electrónica portátil con una mínima detección de 1 gramo y una capacidad máxima de 5000 g, marca HIWEIGH, modelo BHK-5000.

4.3.2.6. Conversión alimenticia

El índice de conversión alimenticia se calculó mediante los datos de consumo de alimento y peso de los huevos, de modo que se dividió el consumo de alimento de las aves para cada tratamiento, entre el peso de los huevos de cada tratamiento. Debido a que no se registró el peso diario de los huevos, se utilizó el peso promedio por tratamiento resultante del pesaje que se realizó una vez por semana para hacer los cálculos respectivos, sin embargo, la cantidad diaria de huevos si variaba según los registros de producción diaria. Los datos de consumo si se registraron diariamente.

4.3.2.7. Estimación de la porosidad aparente de la cáscara

Una vez por semana se tomó una muestra de un huevo por repetición al azar, es decir, 5 huevos por tratamiento. Cada uno de estos huevos se sometió a una observación de la porosidad aparente, empleando para ello un ovoscopio portátil de luz blanca. La cantidad de los poros se determinó de manera cualitativa utilizando una escala de adjetivos estructurada en 5 descriptores: Extremadamente porosa, muy porosa, porosa, poco porosa, muy poco porosa. Siendo 1=Extremadamente porosa y 5=Muy poco porosa.

4.3.2.8. Estimación del estado aparente de la cutícula

A los mismos huevos que se sometieron a la estimación de la porosidad aparente, se les realizó una observación del estado de la cutícula, empleando el mismo ovoscopio portátil que se utilizó en la estimación anterior, pero en este caso con luz negra. Los huevos se colocaron uno a uno junto al bombillo de luz negra y las observaciones se realizaron en un cuarto oscuro para poder apreciar de mejor manera la fluorescencia de la cutícula.

Esta estimación se basa en que la cutícula de la cáscara de huevo se encuentra compuesta por la proteína denominada porfirina u ovoporfirina que se caracteriza por presentar fluorescencia bajo la luz U.V. dando un color que varía desde violeta intenso a rojizo dependiendo del color de la cáscara. Con el tiempo y/o si el huevo es expuesto a factores como la luz, el calor y el lavado como parte del manipulación, la ovoporfirina se destruye y se va perdiendo el color de la cáscara visto ante la luz U.V. pasando de violeta o rojizo a azul pálido, hasta incluso verse blanquecino sin ninguna fluorescencia (Periago 2012).

De manera que la determinación del estado de la cutícula se realizó utilizando una escala de adjetivos estructurada en 3 descriptores: violeta/rojizo intenso, violeta-azul pálido, sin fluorescencia. Siendo 1= violeta/rojizo intenso y 3= sin fluorescencia.

4.3.2.9. Índice morfológico

Se utilizó la misma muestra semanal de huevos de las dos estimaciones anteriores para medirles a cada uno el índice morfológico, que es la relación entre la anchura y la longitud del huevo multiplicada por 100. Para realizar estas mediciones de ancho y largo del huevo se utilizó un micrómetro digital marca oem y modelo me1072, con capacidad resolutive de 0,01 mm.

4.3.2.10. Índice de yema y de clara

Al terminar las pruebas no destructivas, se realizaron mediciones para la yema y clara de los huevos abiertos de la misma muestra semanal. Para ello se efectuó una

estimación métrica, en donde el índice de yema se expresa como la relación entre la altura y el diámetro de la yema, por su parte el índice de clara es la relación entre la altura del albumen denso y el promedio de los diámetros mayor y menor en el huevo vertido. Para las determinaciones se utilizó un micrómetro digital marca oem y modelo me1072, con capacidad resolutive de 0,01 mm.

4.3.2.11. Unidades Haugh

A partir de las mediciones efectuadas para la clara se establecieron las unidades Haugh para los huevos, las cuales se expresan según la ecuación:

$$UH = 100 * \log(h - 1,7w^{0,37} + 7,6)$$

Donde h corresponde a la altura de la clara densa en milímetros y w al peso del huevo. El dato de altura de la clara densa se obtuvo en la estimación anterior para el índice de clara, con respecto al peso de cada huevo se determinó, antes de que los huevos fueran quebrados, por medio de una balanza granataria electrónica portátil con una mínima detección de 1 gramo y una capacidad máxima de 5000 g, marca HIWEIGH y modelo BHK-5000.

4.3.2.12. Color de la yema

A la misma muestra semanal de huevos utilizada en las estimaciones anteriores se les midió el color aparente de la yema, por medio de la escala visual del abanico colorimétrico de DSM, la cual contempla una clasificación en 15 categorías diferentes según la intensidad del color de la yema, desde el amarillo pálido hasta el naranja intenso.

4.3.2.13. pH de clara y yema

Por medio de medición con cinta de tornasol graduada, se determinó el pH de clara y yema por separado de cada uno de los huevos de la muestra semanal. Para ello un trozo de papel tornasol fue sumergido en la yema y otro en la clara de cada huevo, al

medio minuto el color que tomaba el papel se comparaba con una escala patrón para realizar la lectura de pH.

4.3.2.14. Viscosidad dinámica de la clara

Se estimó para la clara de las muestras de huevo quebrado. La misma se determinó por el método de fluidez por gravedad de un volumen de agua y de un volumen equivalente de clara. Se empleó una pipeta de 50 mL a un volumen de 10 mL, debido a que la boquilla de la pipeta de 10 mL era muy angosta lo que dificultaba la salida de la clara. Conociendo la densidad estimada teórica del agua a las condiciones de temperatura experimental, se expresa a la viscosidad dinámica en milistokes como el producto de la multiplicación de esta densidad por la razón entre los tiempos que tarda en fluir 10 mL de clara y 10 mL de agua (Herrera *et al.* 2008).

4.3.2.15. Estimación volumétrica de la cámara de aire

Partiendo de las cáscaras obtenidas de los huevos de cada muestra semanal, se procedió a estimar el volumen de la cámara de aire por medio de la técnica de sustracción del volumen de aire por medio de una jeringa de 1 mL con una capacidad resolutive de 0,01 mL.

4.3.2.16. Grosor de la cáscara

Las mismas cáscaras a las que se les realizó la estimación anterior, se utilizaron para medirles el grosor. Para ello se empleó un micrómetro digital marca Aerospace® modelo IP54 con capacidad resolutive de 0,001 mm.

Es importante recalcar que la batería de mediciones asociadas a las variables de interés a evaluar en el huevo, para esta primera etapa del ensayo, no fueron excluyentes entre sí, de tal manera que se siguió un modelo de análisis escalonado que permitió un máximo aprovechamiento de cada unidad experimental.

A los 26 días del ensayo biológico en granja se recolectaron al azar 30 huevos por tratamiento de modo que cada repetición estuviese representada. Cada huevo se

identificó con el número de repetición, el tratamiento y la fecha de recolección; dichos huevos se destinaron a los análisis instrumentales. A los 27 días se recolectaron al azar otros 30 huevos por tratamiento que también fueron debidamente identificados, estos huevos se reservaron para la evaluación sensorial a realizarse en los próximos días.

4.4. Mediciones instrumentales

Los huevos recolectados antes de dar por terminado el trabajo experimental en granja, fueron almacenados a temperatura ambiente por 5 días para luego realizarles los diferentes análisis instrumentales en el laboratorio de química de la Escuela de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica.

4.4.1. Medición de textura

La resistencia de la cáscara de huevo a la ruptura se analizó por la compresión uniaxial en la región ecuatorial del huevo entero, utilizando el texturómetro TA.XT Plus- Texture Analyser de la marca Stable Micro Systems Ltd (Anexo 1). Se sometieron a esta medición 5 huevos por tratamiento, un huevo de cada repetición.

Previo a iniciar las mediciones, el texturómetro se calibró en peso utilizando una pesa de 2 Kg y en altura utilizando el cilindro de 2,5 mm. Para llevar a cabo las mediciones por compresión en cáscara de huevo se tomó en cuenta el estudio de Vercese *et al.* (2012), que utilizaron el mismo texturómetro para determinar la resistencia de la cáscara de huevo a la ruptura, de manera que se utilizó la celda de 2 mm y se establecieron los siguientes parámetros: velocidad pre-prueba de 2 mm/seg, velocidad de prueba de 1 mm/seg, velocidad post-prueba de 40 mm/seg, distancia de 5 mm y fuerza de disparo de 5 g.

El texturómetro reportó los datos de fuerza (N) y desplazamiento (mm), que se conocen como resistencia de la cáscara a la ruptura (N) y el punto de ruptura de la

cáscara (mm) respectivamente. La rigidez de la cáscara (N/mm) fue calculada como la pendiente inicial de la curva de fuerza-desplazamiento (Engberg *et al.* 2006).

4.4.2. Medición del color

Se determinó el color de yema de los mismos huevos que se sometieron al análisis de la resistencia de la cáscara, una vez que estos fueron abiertos. Para esta medición instrumental del color de la yema se utilizó un colorímetro HunterLab modelo ColorFlex (Anexo 2) para un iluminante D65 y un ángulo de observación de 10°, reportándose las mediciones en términos del sistema de espacio polar CIE (HunterLab 2008).

El sistema CIE de medición del color transforma la reflexión o espectro de transmisión del objeto en un espacio de color tri-dimensional utilizando la distribución de energía espectral de la fuente luminosa y las funciones de coincidencia de colores de los observadores estándar (MacDougall 2002).

En el espacio de color L^* , a^* , b^* la luminosidad es representada por la coordenada L^* , mientras que a^* y b^* son las coordenadas oponentes que representan los componentes cromáticos rojo/verde y amarillo/azul respectivamente (MacDougall 2002).

Para la medición de las muestras en el ColorFlex, previamente se calibró con una teja negra y posteriormente con una teja blanca, además se aseguró que la temperatura ambiental del laboratorio se mantuviese en aproximadamente 20°C por medio del aire acondicionado, esto para asegurar un adecuado funcionamiento del equipo.

4.4.3. Medición del pH

Haciendo un máximo aprovechamiento de cada unidad experimental, se utilizaron los mismos huevos que se sometieron a las dos mediciones anteriores. Gracias a que para la medición del color de yema fue necesario separar la yema de la clara, fue posible la identificación de cada muestra de clara y yema por separado provenientes

de las diferentes repeticiones. Para la medición del pH de cada muestra de yema y clara se utilizó un pH-metro marca Metrohm modelo 827 pH lab, el cual fue calibrado antes de su uso con buffers de pH 4,01 y pH 7,00.

Cada lectura de pH fue registrada una vez que dejaba de aparecer la palabra *Drifting* en la pantalla del pH-metro, lo que indicaba que la lectura de la muestra se estabilizaba y mostraba el resultado definitivo.

4.4.4. Medición de viscosidad

De los huevos recolectados en el penúltimo día del trabajo experimental, se utilizaron un total de 25 por tratamiento experimental para llevar a cabo la medición de la viscosidad de yema y clara por separado. Se utilizó un viscosímetro marca Cole-Parmer y modelo 98936-10/15 (Anexo 3a), con un spindle n° 4 y a una velocidad de 50 rpm para la determinación de la viscosidad de las muestras de yema. En el caso de las claras se utilizó un viscosímetro marca Brookfield, modelo RVT (Anexo 3b), serie 71860 con un spindle n° 2 y a una velocidad de 100 rpm.

Para el uso de ambos viscosímetros es necesario un volumen de muestra de 600 mL, de ahí la razón de que se necesiten 25 huevos por tratamiento para lograr obtener ese volumen tanto de claras como de yemas. Cada medición se realizó por triplicado con el fin de obtener suficientes datos para aplicar el análisis estadístico respectivo. Los resultados se registraron una vez que se estabilizó la lectura, a aproximadamente 1 minuto de encender el equipo en cada medición.

La razón por la cual se llevaron a cabo las mediciones de yemas y claras en diferentes viscosímetros fue debido a que en primera instancia se midió la viscosidad en las muestras de yema con el viscosímetro Cole-Parmer y se registraron los resultados obtenidos, sin embargo al intentar medir las muestras de clara con este mismo equipo probando cada uno de los diferentes spindles, a cada una de las velocidades disponibles, no se obtenía un resultado que quedaría dentro de los rangos sugeridos para dicho equipo. Se concluyó que esto se debió a que el viscosímetro Cole-Parmer modelo 98936-10/15 es eficiente en la medición de

muestras que presenten una viscosidad mayor a 200 cP (centipoise), y la clara del huevo parecía tener una viscosidad menor a ese valor, por lo cual se decidió medir la viscosidad de las muestras de clara con el viscosímetro marca Brookfield modelo RVT serie 71860, que trabaja de manera más precisa y es capaz de determinar viscosidades menores a 200 cP.

4.5. Análisis sensorial

Se efectuó un panel sensorial de agrado que contempló la participación de 101 comensales adultos consumidores habituales de huevo, en el laboratorio de análisis sensorial de la Escuela de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica. Este laboratorio permitió que cada prueba se llevara a cabo de manera individual en cubículos con luz blanca. Para este panel se utilizaron huevos de 11 días de puestos, recolectados en el último día del trabajo experimental y que fueron almacenados a temperatura ambiente. Alrededor de 17 huevos por tratamiento se prepararon en forma de torta (forma que permite la mayor homogeneidad y facilidad de servirse), de cada torta fue posible obtener varias sub-muestras. Desde el momento de cocinarlas y hasta ofrecerlas, siempre se tuvo el cuidado de mantener identificada cada torta de manera que se evitará una confusión de tratamientos.

Para la presentación de las muestras, a cada una se le asignó un código de tres dígitos seleccionado totalmente al azar, de manera que no revelará ninguna información sobre el tratamiento del que proviene cada torta, tal y como recomiendan Sancho *et al.* (1999). Los códigos asignados a cada tratamiento experimental siempre fueron los mismos, lo que variaba de persona a persona fue el orden de presentación de las muestras, de manera que se realizaron 25 diferentes combinaciones.

Se buscó que las 4 muestras que se presentaron (representando cada uno de los tratamientos) tuvieran la misma forma, de manera que de cada torta se sacaban trozos triangulares de tamaños homogéneos. Las muestras se presentaron en una

bandeja ordenadas según la combinación correspondiente al número de comensal, cada muestra se colocó en un plato plástico etiquetado con su respectivo código. También a los comensales se les proporcionó un vaso con agua y otro vacío para que se enjuagaran entre la degustación de una muestra y otra.

Junto con las muestras se le dio a cada persona participante un cuestionario con escalas no estructuradas para establecer el agrado por el sabor de los huevos de cada tratamiento cocinados como torta (Anexo 4). Cada escala midió 10 cm e iba de "Desagradable" (0 cm) hasta "Agradable" (10 cm), pasando por un punto medio que era "Indiferente" (5 cm). Al final del cuestionario también se incluyó una pregunta en la que se consultaba si el participante estaría dispuesto a comprar huevos ligeramente más pequeños, si estos presentan un mejor color de yema.

Posterior a esta degustación se le presentó a cada persona una bandeja con cuatro muestras que consistían en huevos crudos abiertos que representaban cada uno de los tratamientos experimentales, los mismos fueron colocados igualmente en platos plásticos etiquetados con códigos diferentes a los utilizados en la prueba de nivel de agrado. También se le solicitó a la persona participante llenar un cuestionario de escalas no estructuradas iguales a las descritas anteriormente, pero en este caso, para establecer el agrado por el color de la yema de huevo crudo, y al final del mismo se solicitó un ordenamiento de menor a mayor según el nivel de agrado (Anexo 5). Se procedió de la misma manera que con la prueba de degustación, variando el orden de las muestras con cada persona pero manteniendo siempre los códigos correspondientes a cada tratamiento. Es importante recalcar que no se le presentaron siempre los mismos huevos a cada persona, ya que eso provocaría un error (un solo huevo de cada tratamiento no es representativo); es por ello que se utilizaron 7 huevos por tratamiento seleccionados al azar, y se alternaron entre una persona y otra.

4.6. Percepción de la calidad en una muestra poblacional

De manera complementaria al estudio, al final de los ensayos biológicos, se efectuó la aplicación de un cuestionario basado en escalas estructuradas de Likert (Fernández de Pinedo 2007) a una población de 100 consumidores habituales de huevo, que consistió en 5 preguntas abiertas (Anexo 6). Por medio del mismo fue posible determinar el concepto de calidad que esta población consumidora posee del huevo y de los criterios de selección y compra que ejerce. Este cuestionario se aplicó a personas diferentes a las que efectuaron los paneles sensoriales para evitar errores de expectativa.

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

5.1. Primera Fase del ensayo

▪ **Tratamientos (o definición de factores)**

Los tratamientos correspondieron a los 4 diferentes niveles de inclusión de la harina de subproductos de camarón en las dietas experimentales:

- 0% de harina de camarón (tratamiento control)
- 5% de harina de camarón
- 10% de harina de camarón
- 15% de harina de camarón

▪ **Variables a evaluar**

Producción porcentual, consumo de alimento, peso corporal de la ponedora, conversión alimenticia, peso del huevo, índice morfológico de los huevos, grosor de la cáscara, índice de clara y de yema y estimación de las unidades Haugh.

▪ **Unidad Experimental**

Cada jaula equivale a una unidad experimental de modo que el ensayo contó con un total de 20 unidades experimentales. Excepto para la variable del peso corporal de la ponedora, en la cual la unidad experimental fue cada una de las gallinas dentro de cada jaula por tratamiento (7 gallinas por jaula) que fue seleccionada al azar para ser pesada semanalmente.

▪ **Descripción del análisis de varianza**

El análisis de varianza (ANOVA) de los resultados obtenidos en el ensayo se realizó por medio de un diseño completamente al azar, comparando entre sí los tratamientos y siguiendo el siguiente modelo:

$$y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde:

- y_{ij} = respuesta asociada a la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento.
- μ = media poblacional.
- T_i = efecto del i-ésimo tratamiento.
- e_{ij} = error experimental asociado a la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento.

Para las variables de: color de yema por medio del abanico colorimétrico de DSM, porosidad aparente de la cáscara, estado aparente de la cutícula a la luz U.V., pH de yema y clara con papel tornasol, viscosidad dinámica de la clara y volumen de la cámara de aire, se utilizó estadística descriptiva. Esto es debido a que los métodos que se utilizaron para llevar a cabo la medición de estas variables son empíricos y en muchos casos subjetivos, por lo que no están ligados a resultados numéricos precisos.

Los cálculos estadísticos de las demás variables se llevaron a cabo por medio del software estadístico InfoStat® versión 2013, utilizando un nivel de confianza del 95%.

- **Análisis realizado para aquellas fuentes de variación que resultaron significativas**

Se aplicó la prueba de Tukey con el fin de determinar el grado de diferencia entre los tratamientos.

5.2. Segunda Fase del ensayo

▪ **Tratamientos (o definición de factores)**

Los tratamientos correspondieron a los 4 diferentes niveles de inclusión de la harina de desechos de camarón en las dietas experimentales.

▪ **Variables a evaluar**

Textura instrumental de la cáscara de huevo, color instrumental de la yema, pH instrumental de clara y yema, viscosidad instrumental de clara y yema.

▪ **Unidad Experimental**

Cuatro lotes de huevos de una misma edad que representaron cada uno de los tratamientos. Dichos lotes estaban conformados por huevos provenientes de todas las jaulas involucradas en el ensayo.

▪ **Descripción del análisis de varianza**

El análisis de varianza (ANOVA) de los resultados obtenidos en el ensayo se realizó por medio de un diseño completamente al azar, comparando entre sí los tratamientos y siguiendo el siguiente modelo:

$$y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde:

- y_{ij} = respuesta asociada a la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento.
- μ = media poblacional.
- T_i = efecto del i-ésimo tratamiento.
- e_{ij} = error experimental asociado a la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento.

Los cálculos estadísticos se llevaron a cabo por medio del software estadístico InfoStat® versión 2013, utilizando un nivel de confianza del 95%.

5.3. Panel sensorial

- **Tratamientos (o definición de factores)**

Los tratamientos correspondieron a los 4 diferentes niveles de inclusión de la harina de desechos de camarón en las dietas experimentales.

- **Variables a evaluar**

Agrado por sabor de los huevos preparados en tortas, agrado por color de la yema de huevo crudo, ordenamiento por color de la yema de huevo crudo.

- **Unidad Experimental**

Cada uno de los participantes del panel sensorial.

- **Descripción del análisis de varianza**

El análisis de varianza (ANOVA) de los resultados obtenidos en el ensayo se realizó por medio de un diseño completamente al azar, comparando entre sí los tratamientos y siguiendo el siguiente modelo:

$$y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde:

- y_{ij} = respuesta asociada a la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento.
- μ = media poblacional.
- T_i = efecto del i-ésimo tratamiento.
- e_{ij} = error experimental asociado a la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento.

En el caso de agrado del sabor además del análisis ANOVA general, se le realizó un análisis clúster o de conglomerados por el método de aglomeración de Ward y posteriormente a cada conglomerado se le realizó un ANOVA.

Los cálculos estadísticos de los análisis ANOVA para todas las variables, inclusive para los conglomerados de agrado de sabor, se llevaron a cabo por medio del software estadístico IBM SPSS Statistics 19.0, utilizando un nivel de confianza del 95%. Por otro lado el análisis de clúster por el método de Ward se llevó a cabo por medio del software estadístico XLSTAT versión 2009.

- **Análisis realizado para aquellas fuentes de variación que resultaron significativas**

Se aplicó una prueba post hoc de Tukey, con el fin de determinar el grado de diferencia entre los tratamientos.

5.4. Percepción de la función de calidad en una muestra poblacional

El análisis de los formularios de encuesta empleó estadística descriptiva mayoritariamente, principalmente cuadros de frecuencia y gráficos tipo pastel representando las tendencias obtenidas para cada pregunta realizada.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Caracterización de la harina de camarón

En el Cuadro 6 se pueden observar los resultados obtenidos para las muestras de harina de camarón enviadas a dos diferentes laboratorios.

Cuadro 6. Resultados de los análisis químicos practicados a la harina de camarón.

Nutriente	Laboratorio	
	Hahn Laboratories, Inc.	CINA
Humedad (%)	10,03	11,30 ± 0,04
Extracto etéreo (%)	7,82	11,05 ± 0,33
Proteína (%)	41,68	40,67 ± 0,66
Fibra (%)	7,50	-
Cenizas (%)	25,90	-
Calcio (%)	8,46	-
Fósforo (%)	2,23	-
Digestibilidad por pepsina (%)	-	84,32 ± 1,64
Tamaño de partículas (µm)	-	256,31 ± 1,27

CINA= Centro de Investigaciones en Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica.

El contenido de humedad difiere ligeramente entre ambos resultados a pesar de que las muestras de harina de camarón que se enviaron a los laboratorios fueron tomadas el mismo día y bajo el mismo sistema. Esta diferencia puede deberse a que los métodos por los cuales se analizaron las muestras son diferentes. Además, es posible que como la muestra reenviada a Hahn Laboratories, Inc., en Estado Unidos, sufrió un proceso de transporte, el tiempo de almacenaje no fue el mismo para ambas muestras por lo cual pueden darse variaciones propias de las condiciones higroscópicas de la matriz de la harina, asociadas al almacenaje y a las condiciones ambientales.

En Hahn Laboratories, Inc., se analizó la muestra bajo la metodología de análisis por espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) que consiste en un aparato que permite obtener espectros de banda infrarroja correspondientes a las concentraciones de nutrientes presentes en las materias primas evaluadas. Mediante un “paquete” de cómputo (software) se correlacionan los espectros con matrices estadísticas altamente calibradas y se traduce el contenido exacto de los distintos nutrientes que constituyen las materias primas (Otárola 2008). Por otro lado en el laboratorio del Centro de Investigaciones en Nutrición Animal (CINA) utilizaron el método acreditado 930.15 de la AOAC, este método es gravimétrico e involucra la utilización de una estufa por aproximadamente 2 horas y a una temperatura de 135 ± 2 °C.

Greenfield y Southgate (2006) mencionan que el método 930.15 está dentro de los que se basan en la eliminación física del agua, los cuales no son apropiados para materias primas o alimentos con un contenido elevado de componentes volátiles, debido a que éstos se arrastran con el agua. La harina de camarón podría contener componentes volátiles, aparte de las grasas, que estén causando esa diferencia en los resultados.

El análisis por medio del NIR es un método muy específico siempre y cuando el aparato sea calibrado para reconocer el determinado analito. Este proceso de calibración requiere gran número de muestras, cuyos valores de humedad se miden por métodos tradicionales a fin de formular las ecuaciones analíticas (Greenfield y Southgate 2006, Groenewald 2006). Es debido a lo anterior que Laboratorios Veterinarios Consulab reenvió la muestra a Hahn Laboratories, ya que estos últimos si contaban con la calibración del equipo para analizar la harina de camarón.

A pesar de estas ligeras diferencias entre ambos resultados, los valores de los mismos se encuentran dentro del rango reportado en la Tabla de Composición de Materias Primas usadas en Alimentos para Animales (Mata 2011) desarrollada por el Centro de Investigación en Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica. Dicho rango va de 3,3% a 14,1% de humedad para harinas provenientes de subproductos de desechos de camarón de diferentes especies y que fue medida en 15 diferentes

muestras. Además el contenido de humedad reportado por Hahn Laboratories de 10,03% es comparable al reportado por Carranco *et al.* (2011b) para harina de *Pleuroncodes planipes* de $9,137 \pm 0,07\%$.

En cuanto a nutrientes, el de mayor proporción fue la proteína, lo cual se debe a que a diferencia de los animales de granja terrestres, los camarones son capaces de obtener más energía metabolizable del catabolismo de las proteínas que de los carbohidratos (FAO 1989). El contenido de proteína obtenido fue mayor al reportado por Carranco *et al.* (2011b) de $33,75 \pm 0,14\%$ para harina de la misma especie analizada (*P. planipes*), igualmente a lo reportado por Chavarría (1993) de $35 \pm 1\%$ para una harina de mezcla de cabezas de camarón de diferentes especies. Sin embargo, el valor obtenido es menor al rango que reporta Mata (2011) que va de 44,1% a 64,8% de proteína para 15 muestras analizadas provenientes de diferentes especies; esto puede deberse a la composición de la materia prima para la elaboración de la harina, ya que una mayor proporción de cabezas y camarones enteros darían como resultado valores más altos de proteína, mientras que una mayor proporción de exoesqueletos o conchas disminuirían ese valor.

Las cenizas fueron la segunda fracción más alta en cuanto a composición nutricional se refiere debido al alto contenido de minerales del camarón, especialmente de calcio y fósforo, pues la cutícula o exoesqueleto de los crustáceos suele estar calcificada (FAO 1989, Barrientos 2003). El contenido de cenizas es un poco mayor (25,9%) en comparación con lo reportado por Carranco *et al.* (2011b) de $20,24 \pm 0,03\%$ de cenizas para una harina de camarón de la misma especie, lo cual posiblemente se deba a una mayor cantidad de exoesqueletos en la materia prima utilizada para elaborar la harina. En cuanto al contenido de calcio fue ligeramente menor (8,46%) a lo reportado por los autores mencionados anteriormente ($9,97 \pm 0,05\%$). Los resultados obtenidos están dentro de los ámbitos reportados por Mata (2011) tanto para calcio (5,2% a 11,5%), como para fósforo (1,3% a 2,7%), después de analizar 9 diferentes muestras de harinas de camarón procedentes de distintas especies.

Los resultados de extracto etéreo difieren mucho de un laboratorio a otro, tal y como sucedió en el caso de la humedad. En los laboratorios del CINA se utilizó el método 920.39 de la AOAC para analizar las grasas totales. El disolvente de extracción utilizado en este método, requiere porciones analíticas completamente secas y la eliminación de los monosacáridos y disacáridos (Greenfield y Southgate 2006); y debido a que el contenido de humedad fue mayor con el método aplicado en los laboratorios del CINA (930.15 de la AOAC) que al obtenido por medio de la metodología NIR de Hahn Laboratories, Inc., posiblemente provocó que en los laboratorios del CINA obtuvieran un mayor valor de extracto etéreo con respecto a Hahn Laboratories, Inc. Según Greenfield y Southgate (2006), los valores obtenidos utilizando el método 920.39 de la AOAC tienen que someterse a un cuidadoso análisis antes de su inclusión en una base de datos y no se recomienda su uso continuado.

El método del NIR (Hahn Laboratories, Inc.) se utiliza ya que algunas clases de lípidos muestran bandas fuertes de absorción de grupos carbonilo en la región infrarroja (Greenfield y Southgate 2006). Como ya se mencionó, este método es efectivo siempre y cuando se cuente con una adecuada calibración del equipo. El resultado de extracto etéreo con NIR es cercano (7,82%) al reportado por Carranco *et al.* (2011b) de $7,29 \pm 0,01\%$ para una harina de camarón de la misma especie utilizada en este estudio.

No puede descartarse además la posibilidad que durante su transporte a los Estados Unidos, algunos componentes grasos del extracto etéreo sufrieron reacciones de deterioro oxidativo que tuvieron un efecto adicional sobre los resultados obtenidos (Chacón 2013⁴). El tiempo de almacenamiento sumado a altas temperaturas podrían haber ocasionado este tipo de problemas, ya que según Masson (1994) mientras más poliinsaturada es la materia grasa es más susceptible a su deterioro térmico por altas temperaturas; las grasas de origen marino son poliinsaturadas, contrariamente a las materias grasas de animales terrestres o vegetales, que son más saturadas.

⁴Chacón A. 2013. Comunicación personal. Docente e investigador de la Estación Experimental Alfredo Volio Mata, Universidad de Costa Rica.

El contenido de fibra cruda es menor (7,50%) a lo reportado por Gernat (2001) de 11,38% para una harina de camarón de especie no definida. Este bajo contenido de fibra contribuye a mejorar la digestibilidad de la harina de camarón elaborada en este trabajo, lo que se ve reflejado en una digestibilidad por pepsina de $84,32 \pm 1,64\%$ reportada por el laboratorio del CINA. Este resultado está dentro del rango reportado en la Tabla de Composición de Materias Primas Usadas en Alimentos para Animales (Mata 2011) que va de 82 a 84%, para 4 muestras diferentes de harina de camarón.

La alta digestibilidad de esta harina de camarón la convierte en un excelente suplemento o ingrediente a utilizar en la alimentación animal, ya que contribuye a un mayor aprovechamiento de los nutrientes contenidos en la misma, que en este caso los de mayor proporción son la proteína y las cenizas. Esto permitiría incluso reemplazar otras fuentes proteicas como lo es la harina de soya en las raciones de monogástricos, cuyo costo es elevado debido a que debe importarse.

Es importante destacar que el camarón varía mucho en su composición química, ya que la misma depende de las distintas condiciones de captura, zona de producción, clima, especie y época del año (Chavarría 1993). Es debido a esto que resulta difícil establecer comparaciones entre harinas de diversa procedencia, sin embargo las anteriores se realizaron con el fin de tener una referencia.

El análisis de tamaño de partícula se realizó por recomendación de la empresa Alimentos ProSalud S.A. Para efectos de comercializar la harina de camarón en un futuro, se requiere que la granulometría de la misma sea mayor o igual a un 15% de partículas en el rango de 0,3 mm. El resultado reportado por el laboratorio del CINA es cercano a esto ($256,31 \pm 1,27 \mu\text{m}$). Lo ideal es que como máximo en el alimento concentrado para ponedoras se incluya 15% de partículas menores a 0,5 mm (ISA-Hendrix Genetics Company 2009-10). En el ensayo se cumplió con ello ya que la harina de camarón cuenta con un tamaño de partícula de 0,256 mm. Lo anterior permitió la asignación de los diferentes niveles de inclusión de la harina de camarón en el alimento balanceado sin preocupación de un posible problema de rechazo por granulometría.

Con respecto al análisis de acidez que se le practicó a la harina, se encontró que la harina es alcalina presentando un pH de 8,34 según el método oficial de la AOAC 981.12 (AOAC 1981). Esto es beneficioso desde el punto de vista de tiempo de almacenaje de la harina, ya que según Torres (2012) una materia prima de origen animal con baja acidez presenta un bajo nivel de descomposición y un tiempo de residencia bajo a la oxidación, siempre y cuando se controlen factores ambientales como humedad y temperatura. Además un pH alto podría constituir una barrera contra bacterias y otros microorganismos perjudiciales, esto pues la mayoría de los microorganismos crecen mejor a valores de pH en torno a 7,0 (6,6-7,5) (Andino y Castillo 2010).

6.2. Variables medidas a nivel de campo

En la semana de acostumbramiento o adaptación de las aves a las dietas experimentales se inició con la medición de las variables productivas (producción, consumo de alimento, peso corporal de las ponedoras, peso del huevo, índice de conversión) con el fin de mantener un control y verificar la presencia de algún efecto negativo sobre las aves o los huevos producidos. En el transcurso de esta semana se observó que no hubo rechazo de ningún tratamiento ni tampoco se presentaron bajas notables en las primeras variables productivas medidas, por lo que se decidió omitir la semana de acostumbramiento e iniciar esa misma semana con el ensayo biológico.

En principio, esta semana de adaptación tenía como fin exclusivo detectar rechazos de alimento concentrado, y no esperar a que se estabilizara el pigmento aportado por la harina de camarón en yema de huevo, ya que propiamente en el ensayo biológico se midió como cambiaba la coloración de la yema de huevo a lo largo de 4 semanas de mantener los respectivos niveles de inclusión de la harina de camarón en las raciones de las ponedoras.

6.2.1. Producción porcentual

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en la variable de producción porcentual (Cuadro 7). El valor p se calculó tanto para detectar diferencias entre tratamientos en cada semana, como para detectar diferencias significativas entre semanas en cada tratamiento. Al no existir diferencias significativas se puede asegurar que la inclusión de harina de camarón desde un 5% hasta un nivel de 15% no afecta la producción de las aves. Resultados similares encontró Gernat (2001) al sustituir harina de camarón por harina de soya en los niveles de 0, 20, 40, 60 y 80%.

Cuadro 7. Resultados de la producción porcentual de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) a lo largo de las 4 semanas del ensayo.

Tratamiento	Producción Porcentual (%)				Valor p
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	
Control	91,90 ± 4,94	91,84 ± 2,50	88,98 ± 2,33	90,44 ± 4,02	0,546
5% HC	88,58 ± 6,55	87,36 ± 3,65	89,00 ± 4,47	87,36 ± 9,06	0,964
10% HC	87,76 ± 3,82	86,94 ± 4,47	91,02 ± 5,12	85,70 ± 10,41	0,618
15% HC	88,58 ± 4,70	90,20 ± 7,41	92,26 ± 3,93	93,06 ± 7,44	0,652
Valor p	0,593	0,356	0,522	0,504	

De igual manera Carranco (2002) no encontró diferencias significativas en la medición de variables productivas al sustituir con harina de camarón (*Panaeus sp.*) en los niveles de 0, 10, 20 y 25% a la harina de soya. Carranco *et al.* (2011b) reportan los mismos resultados al reemplazar la harina de soya por harina de camarón (*Litopenaeus spp.*) en un 20% y en otro tratamiento harina de langostilla en un 4% (*Pleuroncodes planipes*) en las raciones de gallinas ponedoras comerciales.

6.2.2. Consumo de alimento

Dentro de los resultados de consumo/ave/día no se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) (Cuadro 8), similar a lo documentado por Carranco *et al.* (2011b). Los valores para las raciones que incluyen harina de camarón son similares entre sí, esto es porque diariamente se ofrecía la misma cantidad de cada una de ellas a las gallinas asignadas a los respectivos tratamientos y el sobrante en comedero, la mayoría de los días, fue muy bajo o nulo para dichos tratamientos.

Cuadro 8. Resultados del consumo/ave/día en gramos para los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.

Tratamiento	Consumo/ave/día promedio (g)				Valor p
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	
Control	97,03 ± 5,95	94,59 ± 13,15	102,98 ± 4,63	103,21 ± 2,82	0,114
5% HC	97,96 ± 15,43	102,04 ± 13,28	97,96 ± 14,70	97,96 ± 12,86	0,931
10% HC	97,96 ± 15,99	102,04 ± 15,73	97,96 ± 13,52	97,96 ± 12,95	0,937
15% HC	97,96 ± 15,57	102,04 ± 13,26	97,96 ± 13,31	97,96 ± 13,03	0,927
Valor p	0,999	0,684	0,829	0,770	

Con los resultados obtenidos se puede asegurar que la inclusión de harina de camarón hasta un nivel de 15% en la dieta de gallinas ponedoras no afecta el consumo de alimento, esto se debe a que según Navarro y Benítez (1995) las aves tienen un sentido del gusto poco desarrollado. Esta deficiencia se hace notable si se sabe que algunas aves tienen no más de 70 papilas en la lengua, mientras que la lengua humana cuenta con alrededor de 10.000; a esto se suma que en las aves también el olfato está poco desarrollado, tanto que la mayoría no percibe los olores (Navarro y Benítez 1995). Lo anterior justifica que las gallinas no detectaran la harina de camarón en sus raciones, contribuyendo a mantener un consumo normal.

6.2.3. Índice de conversión alimenticia

Los resultados de los cálculos de índice de conversión no mostraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre el tratamiento control y los tratamientos con los

diferentes niveles de inclusión de la harina de camarón (Cuadro 9). Resultados similares encontraron Carranco (2002) y Carranco *et al.* (2011b) al analizar el efecto de la inclusión de harinas de crustáceos en la alimentación de gallinas ponedoras comerciales en esta variable zootécnica.

Cuadro 9. Resultados de los índices de conversión alimenticia (Kg alimento/Kg huevo) para los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.

Tratamiento	Índices de conversión promedio (Kg alimento/Kg huevo)				Valor p
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	
Control	1,72 ± 0,20	1,69 ± 0,23	1,89 ± 0,16	1,85 ± 0,10	0,144
5% HC	1,79 ± 0,34	1,89 ± 0,27	1,75 ± 0,30	1,77 ± 0,23	0,825
10% HC	1,86 ± 0,29	1,94 ± 0,32	1,75 ± 0,24	1,83 ± 0,21	0,615
15% HC	1,82 ± 0,27	1,91 ± 0,38	1,75 ± 0,29	1,69 ± 0,21	0,550
Valor p	0,837	0,427	0,672	0,469	

Los promedios semanales para los diferentes tratamientos presentan un comportamiento normal, incluso con conversiones alimenticias mejores a lo sugerido por la Guía de Manejo Comercial para la línea genética Hy-Line variedad Brown (2009-2011) de 2,02 Kg alimento/Kg huevos. De hecho, los resultados encontrados son bastantes cercanos a los obtenidos anteriormente por el productor de la Granja Piedras Negras S.A., en la galera en la cual se llevó a cabo el ensayo (1,80 Kg alimento/ Kg huevos), por lo tanto los resultados son un reflejo del buen manejo del lote de gallinas así como de la genética de las aves.

Es importante destacar que con el tratamiento que incluye 15% de harina de camarón se observó una tendencia en la que a través del tiempo hay una disminución en el índice de conversión, aunque esto no pasa de ser una especulación al no encontrarse diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$). Se hacen necesarios estudios en los que se mantenga la alimentación de las aves con tratamientos similares a los utilizados en el presente estudio pero por más de 4 semanas, con el fin de detectar algún efecto significativo beneficioso de los niveles

de inclusión de harina de camarón más elevados sobre esta variable, lo cual sería importante desde el punto de vista económico dentro de la producción de huevos.

6.2.4. Peso del huevo

El peso de los huevos no varió en la mayoría de las semanas entre los tratamientos, excepto en la tercera semana del ensayo donde se dio un mayor peso promedio significativo ($p < 0,05$) para los huevos producidos por las gallinas alimentadas con la ración que incluía 5% de harina de camarón (Cuadro 10). Es difícil atribuir este aumento de peso en huevo a la presencia de harina de camarón en la alimentación de las aves; además en el pasado, en estudios similares, no se encontró algún efecto del uso de harinas de crustáceos en el peso de huevo (Gernat 2001, Carranco 2002 y Carranco *et al.* 2011b). Sin embargo se hace necesario realizar futuros estudios complementarios manteniendo la alimentación con una harina de este tipo por un mayor tiempo y evaluando más niveles de inclusión, esto con el fin de analizar con mayor detalle un posible efecto en peso de huevo.

Cuadro 10. Resultados de peso de huevo (g) para los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.

Tratamiento	Peso promedio de huevo (g)				Valor p
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	
Control	61,7 ± 1,7	61,0 ± 1,6	61,6 ± 1,1 b	62,5 ± 2,0	0,524
5% HC	62,3 ± 1,5	62,2 ± 1,5	63,3 ± 0,4 a	63,3 ± 1,4	0,364
10% HC	60,3 ± 0,9	61,2 ± 1,5	61,6 ± 1,1 ab	62,6 ± 1,7	0,091
15% HC	61,2 ± 0,6	61,6 ± 1,5	60,9 ± 0,9 b	62,4 ± 2,0	0,371
Valor p	0,142	0,629	0,006	0,858	

a, b = en columnas, letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

A pesar de que solamente en la semana 3 se dio una diferencia significativa, en las demás semanas se observó una tendencia de un mayor peso promedio de huevo para el tratamiento que incluye 5% de harina de camarón.

Aunque esta diferencia en peso no sea muy grande (0,5 – 2 g) a la hora de comercializar los huevos en cartones por peso cobra mayor importancia, ya que los gramos de peso de cada huevo se van sumando. Esto es interesante evaluándolo desde un punto de vista económico ya que según el Cuadro 4 de la página 40, esta dieta es la que resulta más barata (¢248,67/Kg) de las que incluyen harina de camarón, y si la misma genera un mayor peso de huevo sería beneficioso en el futuro si algún productor de huevo decidiera utilizar esta materia prima, debido a que en el país el huevo se comercializa por kilogramo.

6.2.5. Peso corporal de la ponedora

La inclusión de harina de camarón no afectó el peso corporal de las ponedoras involucradas en el ensayo, ya que no se encontraron diferencias significativas ($p>0,05$) entre los diferentes tratamientos (Cuadro 11). Estos resultados se deben a que el consumo de alimento concentrado en ninguno de los tratamientos se vio afectado, lo que contribuyó a que las aves mantuviesen su peso corporal a lo largo del ensayo biológico.

Cuadro 11. Peso corporal promedio (Kg) de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.

Tratamiento	Peso corporal promedio (g)				Valor p
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	
Control	1,86 ± 0,25	1,91 ± 0,24	1,86 ± 0,24	1,75 ± 0,15	0,634
5% HC	1,87 ± 0,12	1,86 ± 0,12	1,87 ± 0,09	1,83 ± 0,09	0,880
10% HC	1,82 ± 0,19	1,83 ± 0,17	1,80 ± 0,17	1,79 ± 0,17	0,973
15% HC	1,83 ± 0,16	1,79 ± 0,18	1,79 ± 0,14	1,75 ± 0,12	0,752
Valor p	0,966	0,671	0,775	0,608	

A pesar de no encontrarse diferencias significativas ($p>0,05$), se puede observar una tendencia en la que los pesos corporales promedios disminuyen a partir de la tercera semana para la mayoría de los tratamientos. Esto pudo deberse a que las semanas 3

y 4 estuvieron muy calurosas, por lo que el estrés calórico en las aves pudo causar una ligera pérdida de peso.

El hecho de que la inclusión de la harina de camarón en la alimentación de las ponedoras no tuviese efecto sobre esta variable, indica que la misma podría utilizarse en la alimentación de las aves sin preocupación de pérdidas considerables de peso que vayan a afectar la producción.

6.2.6. Mortalidad

Es importante aclarar con respecto a la variable de mortalidad que solamente se presentó la muerte de una gallina para el tratamiento control en la cuarta semana del ensayo, por lo tanto se puede afirmar que la inclusión de harina de camarón hasta un nivel de 15% en la alimentación de gallinas ponedoras no afecta esta variable.

Esta ave muerta forma parte de la mortalidad normal diaria dentro de la galera, ya que por día se presentaban mortalidades que iban desde 0 hasta 5 aves dentro de la misma galera, sin que las mismas se deban a un factor en específico, descartándose la presencia de enfermedades.

6.2.7. Porosidad aparente de la cáscara

La variable de porosidad aparente se midió mediante un método empírico cuyos resultados se basan en la subjetividad, es por ello que estos datos no se analizaron estadísticamente, pues su cometido es el de caracterizar y no necesariamente inferir estadísticamente. El fin de medir esta variable, así como otras de las que se hablará más adelante, fue detectar si la inclusión de harina de camarón tiene un efecto sobresaliente en la porosidad de la cáscara de huevo por lo que su análisis es principalmente cualitativo.

El Cuadro 12 muestra que los resultados se encuentran entre 3 (porosa) y 4 (poco porosa), sin embargo no se observó que el aumento en la inclusión de la harina de camarón generara un aumento en la porosidad de la cáscara.

Cuadro 12. Porosidad aparente promedio (escala de 1 a 5) de las cáscaras de los huevos obtenidos a partir de la implementación de los tratamientos experimentales resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.

Tratamiento	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Control	4,0	3,8	3,4	4,2
5% HC	3,6	4,4	4,0	4,4
10% HC	4,0	3,6	4,0	4,0
15% HC	4,0	4,6	4,4	3,8

Es de esperarse que la porosidad sea baja debido a que los huevos analizados tienen solamente un día de puestos, sin embargo desde que son puestos por la gallina y ruedan hasta la canastilla de recolección hasta cuando son “raspados” para eliminar suciedades de la cáscara, sufren condiciones que pueden hacer más visibles los poros. La cantidad de poros en un huevo desde que es puesto siempre es la misma, lo que cambia es que con el tiempo los mismos se van haciendo más visibles por las condiciones de manejo y el envejecimiento propio del huevo que hacen que se vaya perdiendo la cutícula que cubre esos poros (Periago 2012).

Las condiciones de manejo anteriormente mencionadas son las que pudieron ocasionar que algunos resultados estén cercanos a 3 (porosa), pero estos valores no se atribuyen a la utilización de la harina de camarón dentro del alimento de las gallinas.

6.2.8. Estado aparente de la cutícula

El estado de la cutícula está muy relacionado con la variable de porosidad aparente, por lo que en este caso se procedió de la misma manera realizando un análisis cualitativo. En el Cuadro 13 se puede observar que la mayoría de los resultados obtenidos rondan el 1 (violeta/rojizo intenso) debido a que son huevos frescos y el daño en la cutícula sería mínimo o incluso nulo, sin embargo algunos valores se acercan mucho al 2 (violeta-azul pálido) posiblemente por el manejo que se le da al

huevo, específicamente en cuanto al raspado con esponjas de alambre, que daña la cutícula haciendo que la cáscara pierda fluorescencia ante la luz U.V.

Cuadro 13. Estado aparente promedio de la cutícula (escala de 1 a 3) de las cáscaras de los huevos obtenidos a partir de la implementación de los tratamientos experimentales resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.

Tratamiento	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Control	1,4	1,0	1,2	1,8
5% HC	1,0	1,4	1,2	1,4
10% HC	1,0	1,4	1,4	1,4
15% HC	1,4	1,2	1,2	1,6

Los resultados no revelaron algún efecto negativo de la inclusión de harina de camarón sobre el estado de la cutícula de la cáscara de huevo.

6.2.9. Índice morfológico

El índice morfológico es un indicador de la forma del huevo, de manera que valores con índices mayores de 76% se consideran huevos redondos o globosos que ofrecen dificultad para ser introducidos en los empaques preformados y menores de 76%, huevos alargados que son más expuestos a daños mecánicos (Navarro 2000, Periago 2012); por lo tanto la forma ideal para el huevo de gallina corresponde a un índice morfológico de 74%. En el Cuadro 14 se puede observar que la mayoría de los índices morfológicos obtenidos se acercan a 74%.

Cuadro 14. Resultados de índice morfológico (%) de los huevos provenientes de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.

Tratamiento	Índices morfológicos promedio (%)				Valor p
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	
Control	75,50 ± 1,61 ab	76,10 ± 1,82	75,61 ± 3,06	77,72 ± 2,32	0,413
5% HC	73,62 ± 2,18 b	75,42 ± 2,39	75,31 ± 1,33	74,90 ± 2,39	0,533
10% HC	77,30 ± 1,61 a	74,14 ± 4,22	76,18 ± 1,15	75,40 ± 1,88	0,278
15% HC	76,67 ± 1,17 a	77,13 ± 2,19	77,53 ± 2,35	76,83 ± 1,35	0,886
Valor p	0,017	0,419	0,387	0,149	

a, b = en columnas, letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

En la primera semana se dio una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los índices morfológicos promedio de los huevos de los tratamientos que incluyen 10 y 15% de harina de camarón con respecto al que incluye 5%, sin embargo estos tratamientos no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) con respecto al tratamiento control. Estos resultados no indican que la harina de camarón tenga un impacto negativo sobre la morfología del huevo, ya que según Jara (2011) el índice morfológico puede ser de hasta un mínimo de 65% para huevos muy alargados y de un máximo de 82% para los muy redondeados, y en este caso en ninguna de las semanas se obtuvieron valores cercanos a esos extremos.

En las siguientes semanas no se dieron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$), sin embargo se observó una tendencia en la que los huevos obtenidos de gallinas alimentadas con la ración que incluye 15% de harina de camarón presentaron índices morfológicos mayores a 76% por lo que fueron huevos un poco más redondos. Es difícil definir si la inclusión de la harina tuviese un efecto en la forma del huevo, ya que hasta la fecha no existen datos al respecto, o simplemente se trate de casualidad de las diferencias propias entre los huevos y las gallinas involucradas en el ensayo.

6.2.10. Índice de yema

La determinación de índice de yema se realiza por que es un parámetro que informa sobre la forma ideal de la yema y su relación con la frescura y calidad del huevo. Cuanto mayor sea el valor de este índice, mayor es la frescura del huevo, ya que la yema se presenta más compacta. El índice de yema ideal es de 0,42 y cuando se obtienen índices mayores de ese valor es porque la altura de la yema ha descendido, debido a que la membrana vitelina adquiere mayor elasticidad y además va perdiendo agua (Periago 2012).

En el Cuadro 15 se puede observar que los datos obtenidos en la medición de esta variable rondan 0,42; no se presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos ni entre las semanas que se mantuvo a las aves consumiendo las diferentes dietas experimentales, por lo que se puede asegurar que la inclusión de harina de camarón en la alimentación de gallinas no afecta el índice de yema.

Cuadro 15. Resultados de índice de yema de los huevos provenientes de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.

Tratamiento	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Valor p
Control	0,39 ± 0,04	0,42 ± 0,04	0,40 ± 0,03	0,42 ± 0,03	0,503
5% HC	0,40 ± 0,05	0,42 ± 0,03	0,39 ± 0,03	0,39 ± 0,03	0,632
10% HC	0,40 ± 0,05	0,42 ± 0,02	0,40 ± 0,03	0,45 ± 0,06	0,224
15% HC	0,38 ± 0,02	0,43 ± 0,03	0,43 ± 0,03	0,42 ± 0,04	0,058
Valor p	0,833	0,925	0,301	0,169	

De igual manera, se evidencia que la alimentación con harina de camarón no afecta aparentemente a las proteínas causantes de la viscoelasticidad del huevo (lisozima, ovoalbúmina, ovoglobulinas, ovomucinas, etc). Por ello no es posible afirmar que este tipo de alimentación afecte la consistencia del huevo y sus posibles aplicaciones como espumante y espesante en la industria alimentaria.

6.2.11. Índice de clara

El índice de clara es un indicador de la calidad interna y frescura de los huevos, puede ser influenciada por factores como la edad, nutrición, línea de aves. Mientras mayor sea este valor mejor será la calidad ya que denota una albúmina más densa (North y Bell 1993, Sholtyssek 1970, citados por Navarro 2000). Esta variable se relaciona e influencia directamente el índice de yema.

Los valores promedios para índice de clara en huevos de gallina se encuentran entre 0,05 y 0,07 (Navarro 2000), mientras que los resultados obtenidos (Cuadro 16) están por encima de esos valores lo que significa una excelente calidad de huevos con claras densas, esto seguramente se debe a que esta medición se llevó a cabo en huevos de un día de puestos.

Cuadro 16. Resultados de índice de clara promedio para huevos provenientes de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.

Tratamiento	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Valor p
Control	0,10 ± 0,01	0,11 ± 0,01 ab	0,11 ± 0,01	0,11 ± 0,02	0,495
5% HC	0,11 ± 0,01	0,11 ± 0,01 ab	0,10 ± 0,02	0,10 ± 0,02	0,508
10% HC	0,12 ± 0,02	0,10 ± 0,01 b	0,09 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,054
15% HC	0,10 ± 0,02	0,13 ± 0,01 a	0,12 ± 0,02	0,11 ± 0,02	0,235
Valor p	0,200	0,021	0,274	0,311	

a, b = en columnas, letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

En la segunda semana se dio una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre el tratamiento con 10% de harina de camarón y el que incluía 15%, sin embargo ninguno de estos tratamientos fue significativamente diferente ($p < 0,05$) al tratamiento control o al 5% de inclusión de la harina de camarón, tendencia que se observó en las demás semanas por lo que se puede afirmar que la inclusión de harina de camarón hasta un nivel de 15% en la alimentación de gallinas ponedoras no afecta el índice de clara.

Tal y como ocurrió con el índice de yema, se puede afirmar que la inclusión de harina de camarón hasta un nivel de 15% en la alimentación de las gallinas ponedoras no afecta los componentes relacionados con la consistencia de la clara, lo que permitiría hacer uso industrial de los huevos producidos bajo su implementación.

6.2.12. Unidades Haugh

Las unidades haugh (UH) son indicadores de la calidad interna del huevo, de modo que a mayor valor de UH, mayor es la calidad interna. En el Cuadro 17 se puede observar que los promedios de UH denotan calidades que se encuentran entre muy buenas (80) y excelentes (90) según la clasificación descrita por Periago (2012), esto se justifica en gran parte por que los huevos utilizados para esta medición son frescos.

Cuadro 17. Unidades Haugh promedio de huevos provenientes de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidas a lo largo de las 4 semanas del ensayo.

Tratamiento	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Valor p
Control	86,6 ± 2,9	90,5 ± 6,1	91,1 ± 5,0	91,2 ± 8,7	0,590
5% HC	90,8 ± 2,5	88,9 ± 5,0	87,8 ± 8,4	87,1 ± 7,8	0,822
10% HC	92,0 ± 6,5 ab	86,7 ± 5,3 ab	84,5 ± 5,6 b	96,3 ± 6,8 a	0,030
15% HC	88,2 ± 6,9	95,2 ± 3,6	92,3 ± 5,4	90,7 ± 6,9	0,324
Valor p	0,367	0,093	0,233	0,327	

a, b= en filas, letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre semanas.

En el caso del tratamiento que incluye 10% de harina de camarón se dio una diferencia significativa ($p < 0,05$) entre la tercera y cuarta semana, esto se debe a que en la semana 3 se obtuvo el menor valor promedio de UH ($84,5 \pm 5,6$), no solamente de este tratamiento, sino también de todos los resultados obtenidos. Este valor posiblemente se deba a que, además de que esta semana estuvo particularmente más caliente, la posición en la que se almacenaron los huevos provenientes del tratamiento con 10% de inclusión de harina de camarón por un día permitió que la

temperatura les afectara ligeramente más que a los huevos de los demás tratamientos, lo que afectó levemente la altura de la albúmina densa, esto se reflejó también en el resultado de índice de clara promedio para este mismo tratamiento en la tercera semana (Cuadro 16). A pesar de este efecto por temperatura de almacenaje, este valor de UH se encuentra dentro de una calidad interna del huevo muy buena en la clasificación mencionada anteriormente.

Entre los tratamientos no se presentaron diferencias significativas ($p>0,05$) lo que indica que la inclusión de harina de camarón hasta un nivel de 15% en la ración de gallinas ponedoras no afecta la calidad interna del huevo en cuanto a unidades haugh se refiere. Resultado similar obtuvo Carranco (2002) al sustituir hasta en un 25% la harina de soya por harina de camarón.

6.2.13. Color de yema con abanico colorimétrico

La determinación de color de yema por medio de una escala visual es un método subjetivo, razón por la cual esta variable no se analizó estadísticamente, sino solamente de manera cualitativa. En el Cuadro 18 se muestra como la inclusión de harina de camarón en diferentes niveles afecta la coloración de la yema a tal grado que es apreciable a simple vista.

Cuadro 18. Resultados de color de yema promedio, medidos con abanico colorimétrico de DSM, de los huevos provenientes de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).

Tratamiento	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Control	11,0	11,0	11,4	10,4
5% HC	10,6	11,2	10,6	9,4
10% HC	12,2	11,0	11,8	11,2
15% HC	12,4	13,2	14,0	13,6

El efecto más notable se dio con el nivel de inclusión de 15% de harina de camarón, ya que a lo largo de todas las semanas del ensayo experimental fue el tratamiento que generó una mayor pigmentación de la yema, además se observó que con el paso del tiempo la pigmentación aumentaba de manera que en la primera semana de implementar las dietas experimentales era de 12,4 y fue aumentando hasta la tercera semana (14) cuando parece ser que se estabilizó, lo cual concuerda con lo encontrado por Chavarría (1993) que después del décimo día de alimentar con la harina de camarón, notó una estabilidad de la pigmentación en la yema, período necesario para obtener la uniformidad, ya que los pigmentos se depositan en la yema luego de 48 horas de alimentar a las aves y la uniformidad en el color se obtiene de diez a quince días después de proveer una dieta con oxicarotenoides (Belyavin 1988, citado por Chavarría 1993 y Arce 1991).

Los carotenoides presentes en la harina de camarón son los causantes de estos resultados obtenidos, que concuerdan con lo encontrado por Gernat (2001) y Carranco (2002) que reportan que al aumentar la inclusión de harina de camarón en la ración de las aves, aumenta la pigmentación de la yema de huevo, medida también por medio de una escala visual (Figura 6).

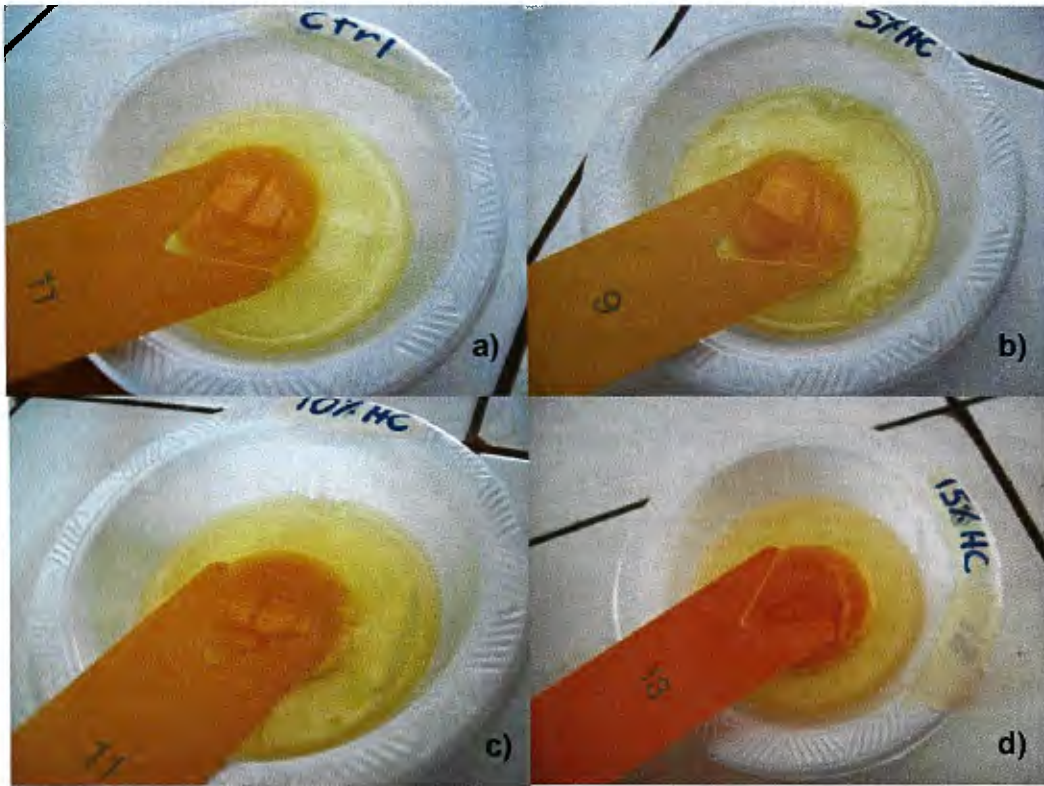


Figura 6. Medición de color con abanico colorimétrico de DSM: **a)** Huevo proveniente del tratamiento control. **b)** Huevo proveniente del tratamiento con 5%HC. **c)** Huevo proveniente del tratamiento con 10%HC. **d)** Huevo proveniente del tratamiento del 15%HC.

6.2.14. pH de clara y yema

A nivel de campo la medición de pH de clara y yema se llevó a cabo por medio de papel tornasol, debido a que la lectura del cambio de color depende de la apreciación personal, esta variable tampoco se analizó estadísticamente y se registró con la intención de tener un parámetro cualitativo.

Según Periago (2012) en un huevo fresco (del día) el pH de la yema es 6,0 (menos variable) y en la clara varía ya que es de alrededor de 7,6 y aumenta hasta valores de 9,4 de acuerdo al tiempo transcurrido en el almacenamiento. Los resultados obtenidos (Cuadro 19) con respecto a la clara si se acercan al valor de 7,6; mientras

que para yema los valores son mayores a 8,0, sin embargo esto puede deberse a que la coloración de la yema influyó para que el cambio de coloración en el papel tornasol no pudiese leerse adecuadamente, interpretándose con un pH más alto.

Cuadro 19. Resultados promedio de pH de clara y yema medido con papel tornasol para huevos provenientes de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.

Tratamiento	Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
	Clara	Yema	Clara	Yema	Clara	Yema	Clara	Yema
Control	7,8	9,2	7,6	8,6	7,6	8,4	7,4	8,4
5% HC	7,4	8,8	7,4	8,8	8,0	9,2	8,0	9,2
10% HC	7,4	8,6	8,2	8,2	7,4	8,6	7,6	8,8
15% HC	8,4	9,6	7,4	8,6	7,8	9,0	7,2	8,4

La inclusión de harina de camarón no afecta el pH en yema o clara, ya que no se observó una tendencia a que el pH aumentara o disminuyera al aumentar el nivel de inclusión de la harina. En la primera semana se obtuvo un pH promedio muy alto para las yemas provenientes del tratamiento con 15% de harina de camarón, sin embargo este resultado no se le puede atribuir a la harina ya que la tendencia no se observó en las siguientes semanas, este valor posiblemente se deba a la dificultad mencionada anteriormente al momento de interpretar el cambio en la coloración de papel tornasol dada por la coloración naranja de la yema.

6.2.15. Viscosidad dinámica de la clara

La viscosidad dinámica de la clara, como se mencionó anteriormente, se calculó a partir de la temperatura del agua en el momento de la medición y el tiempo en que tarda en fluir 10 mL de agua y 10 mL de clara. La temperatura del agua varió entre 25 y 27 °C para las 4 diferentes mediciones realizadas a lo largo del período experimental, por lo que se determinó que la viscosidad del agua estaba cercana a 0,893 millistokes, por lo tanto y con base en los resultados obtenidos (Cuadro 20) se puede decir que la viscosidad dinámica de la clara es el doble e incluso puede llegar

al cuádruple de la viscosidad dinámica del agua, sin que la inclusión de harina de camarón hasta en un 15% en las raciones de las gallinas ponedoras afecte dicha viscosidad.

Cuadro 20. Viscosidades dinámicas promedio (milistokes) de las claras provenientes de huevos producidos por las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.

Tratamiento	Viscosidades dinámicas promedio (milistokes)			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Control	2,20	2,72	4,22	2,63
5% HC	2,72	2,73	3,20	2,14
10% HC	5,59	2,77	2,95	2,81
15% HC	2,43	2,30	3,18	3,26

En el caso de la primera semana se obtuvo una viscosidad dinámica promedio muy alta (5,59 milistokes) para las claras de los huevos provenientes de las gallinas alimentadas con la ración que incluye 10% de harina de camarón, esto se debió a que dos de las repeticiones de clara medidas para este tratamiento presentaron tiempos de fluidez muy elevados, cercanos a medio minuto, que por lo tanto resultaron en elevadas viscosidades que aumentaron el promedio. Sin embargo, este resultado no se le puede atribuir a la inclusión de harina de camarón, ya que en las demás semanas el tratamiento de 10% HC no presentó valores de viscosidad tan elevada, puede ser por variabilidades propias existentes entre un huevo y otro, causadas en este caso por las proporciones de clara densa y clara fluida en estos huevos.

Kemps *et al.* (2010) destacan que los albumen, fluido y denso, presentan propiedades reológicas muy diferentes entre sí; pues el albumen denso tiende a ser más viscoso, mientras que la clara fluida tiene una viscosidad que es comparable a la del agua y sus propiedades reológicas varían poco durante el almacenamiento. Tomando en cuenta lo anterior, ese valor elevado de viscosidad dinámica posiblemente se deba a que las dos repeticiones que presentaron altas viscosidades

tenían una mayor proporción de clara densa en contraste con la fluida, sin que ello tenga relación con el tiempo de almacenamiento, ya que todos los huevos medidos tenían un día de puestos.

El método utilizado para llevar a cabo estas mediciones es poco preciso, ya que influye en gran parte el tiempo de reacción para accionar y detener el cronómetro desde que inicia a fluir el agua y/o la clara hasta que sale todo el contenido de la pipeta; se utilizó a nivel de campo con el fin de tener una referencia del efecto de los tratamientos utilizados sobre la viscosidad de la clara y así poder tomar una decisión con respecto al ensayo biológico si se tuviesen efectos negativos, por lo que la evaluación de esta variable se realizó desde un punto de vista meramente cualitativo; además una vez finalizada esta etapa a nivel de campo se llevó a cabo la medición de la viscosidad de muestras de clara de los respectivos tratamientos a nivel de laboratorio obteniéndose resultados cuantitativos más precisos, tal y como se detallará más adelante.

6.2.16. Volumen de la cámara de aire

El Instituto de Estudios del Huevo (2007) define la cámara de aire como un espacio que se forma en el polo más ancho del huevo tras la puesta, cuando el contenido del huevo contrae su volumen al enfriarse (la temperatura corporal de la gallina es de 39-41°C, a la que sale el huevo recién puesto) y penetra aire para rellenarlo. A medida que el huevo pierde frescura, pierde también agua a través de los poros de la cáscara en forma de vapor y la cámara de aire se expande, por lo tanto, a mayor transcurso de tiempo desde la puesta, y/o peores condiciones de conservación, mayor es el tamaño de la cámara de aire. La altura de la cámara de aire es una de las medidas más evidentes de la frescura de un huevo (en términos de calidad, independientemente de los días transcurridos tras la puesta). Los huevos de categoría A (huevos frescos) deben tener una altura de la cámara de aire no superior a 6 mm (Instituto de Estudios del Huevo 2007).

En la literatura no se encuentran referencias acerca del volumen ideal de cámara de aire para el huevo de gallina, solamente se describe el tamaño o altura de la misma

en términos de mm, tal y como se mencionó en el párrafo anterior. En el Cuadro 21 se pueden apreciar los volúmenes de cámara de aire obtenidos a partir de un método bastante empírico, razón por la cual los datos obtenidos no se analizaron desde un punto de vista estadístico, solamente cualitativamente para identificar diferencias sensibles con respecto al tratamiento control.

Cuadro 21. Volumen promedio (mL) de la cámara de aire de los huevos producidos por las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.

Tratamiento	Volumen promedio de la cámara de aire (mL)			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Control	0,30	0,35	0,43	0,38
5% HC	0,14	0,28	0,44	0,38
10% HC	0,14	0,31	0,51	0,34
15% HC	0,24	0,33	0,49	0,37

En la primera semana los huevos provenientes de las gallinas alimentadas con las raciones que incluían harina de camarón presentaron cámaras de aire con menor volumen que los huevos del tratamiento control, lo cual es beneficioso desde el punto de vista de calidad, ya que es indicador de cámaras de aire más pequeñas. Sin embargo en las siguientes semanas esta diferencia no se observó, de manera que los huevos de los tratamientos que incluyen harina de camarón mostraron volúmenes de cámara de aire similares a los huevos del tratamiento control, descartándose un efecto positivo de uso de la harina de camarón sobre el volumen de la cámara.

En la tercera semana los huevos de todos los tratamientos presentaron cámaras de aire más voluminosas, esto posiblemente se debió a un efecto de alta temperatura ambiental que promovió un mayor intercambio gaseoso, ya que todas las mediciones a lo largo del ensayo se llevaron a cabo con huevos de un día de puestos, por lo que no se le atribuiría al tiempo de almacenamiento. Para la cuarta semana hay una disminución en el volumen promedio de las cámaras de aire de los huevos de todos

los tratamientos, asociada a una posible leve disminución de la temperatura ambiental con respecto a la semana anterior.

6.2.17. Grosor de la cáscara

El grosor de cáscara apto es mayor a 0,35 mm (Periago 2012). Los valores obtenidos para esta variable (Cuadro 22) son superiores a este valor, indicando una muy buena calidad de cáscara, ya que según explica Periago (2012), los huevos con cáscara delgada y muy porosa están sujetos a una evaporación más intensa, pierden peso con mayor rapidez, y en consecuencia son de calidad más baja que los que poseen la cáscara gruesa y poco porosa. Otros factores relacionados con las aves (edad, enfermedades) o su medio ambiente (temperatura) influyen sobre la calidad de la cáscara, pero de una u otra manera esa influencia se establece a través del metabolismo mineral (Instituto de Estudios del Huevo 2003).

Cuadro 22. Grosor de cáscara promedio (mm) para huevos provenientes de las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC) resumidos a lo largo de las 4 semanas del ensayo.

Tratamiento	Grosor de cáscara promedio (mm)				Valor p
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	
Control	0,512 ± 0,071	0,511 ± 0,037	0,494 ± 0,069	0,459 ± 0,040	0,433
5% HC	0,450 ± 0,086	0,462 ± 0,035	0,471 ± 0,047	0,483 ± 0,071	0,863
10% HC	0,486 ± 0,063	0,490 ± 0,065	0,461 ± 0,065	0,459 ± 0,043	0,782
15% HC	0,417 ± 0,051	0,465 ± 0,034	0,468 ± 0,054	0,427 ± 0,047	0,248
Valor p	0,185	0,302	0,829	0,419	

Con respecto a la edad Abanikannda y Leigh (2012) señalan que la edad de la gallina es una de las principales fuentes de variación en el grosor de la cáscara de huevo; ellos realizaron un estudio en el que encontraron que huevos de gallinas de grupos de edades comprendidas entre 33-43 y 44-54 semanas tenían cáscaras más gruesas que los huevos de grupos de edades de 22-32, 55-65 y 66-76 semanas ($p < 0,01$). Por lo tanto en el presente estudio la edad no influyó como variable en los resultados, ya que el ensayo se realizó con gallinas de 40 semanas de edad.

A pesar de que en las tres primeras semanas se presentó una tendencia en la que el grosor promedio de los huevos provenientes del tratamiento control fue superior al de los otros tratamientos, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los diferentes tratamientos, lo que indica que la inclusión de harina de camarón en la alimentación de gallinas ponedoras hasta en un nivel de 15% no afecta el grosor de cáscara del huevo. Resultados similares obtuvo Carranco (2002), sin embargo esta autora encontró una aparente tendencia al incremento en el grosor del cascarón en la inclusión de 10% y 25% de harina de cabezas de *Panaeus sp.* en la cuarta semana y lo atribuyó al contenido mineral de la harina.

6.3. Mediciones instrumentales a nivel de laboratorio

Estas mediciones se llevaron a cabo utilizando equipos especializados previamente calibrados bajo condiciones ambientales controladas, por lo que los resultados obtenidos son sumamente precisos.

6.3.1. Medición de textura

La resistencia de la cáscara de huevo a la ruptura se refiere a la fuerza necesaria para romper la cáscara, que en este caso fue determinada en Newtons (N). Mello *et al.* (2011) reportan una resistencia de la cáscara promedio de 4,25 Kgf, es decir, 41,65 N para huevos de gallinas ponedoras bajo un sistema de producción en jaula. Los resultados obtenidos en el presente ensayo (Cuadro 23) están por debajo de este valor, sin embargo hay que tomar en consideración que son múltiples factores los que influyen en la calidad de la cáscara del huevo como son los ligados con la estructura del huevo, los relacionados a la nutrición, al ave misma y a los del medio ambiente (Blas y Gonzáles 1991; citados por Navarro 2000). En el caso del presente ensayo, en los resultados se dio una tendencia en la que los huevos provenientes de las gallinas alimentadas con las raciones que incluían harina de camarón presentaron mayor resistencia de cáscara que con respecto al tratamiento control, sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos

($p > 0,05$). Esta tendencia puede deberse a una mayor deposición de minerales ocasionada por el alto contenido mineral de la harina (25,90% de cenizas), tal y como señala Carranco (2002) al incluir 10% y 25% de harina de cabezas de *Panaeus sp.* en la alimentación de gallinas ponedoras.

Cuadro 23. Resultados de medición de parámetros de textura para los huevos producidos por las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).

Tratamiento	Resistencia de la cáscara (N)	Punto de ruptura de la cáscara (mm)	Rígidez cáscara (N/mm)
Control	28,40 ± 5,95	0,38 ± 0,07 bc	74,36 ± 5,83 ab
5%HC	31,38 ± 4,91	0,34 ± 0,04 c	94,48 ± 20,95 a
10%HC	35,21 ± 5,24	0,47 ± 0,07 ab	74,94 ± 5,96 ab
15%HC	33,35 ± 4,68	0,51 ± 0,08 a	65,71 ± 11,45 b
Valor p	0,239	0,002	0,016

a, b, c = en columnas, letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

El otro parámetro que determinó el texturómetro fue el punto de ruptura de la cáscara, que consiste en el desplazamiento realizado por la celda desde el momento que toca la cáscara hasta que la atraviesa por completo, medido en milímetros (mm). Este parámetro se relaciona en gran medida con el grosor de la cáscara. En los resultados se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$), pues los tratamientos que incluyen 10 y 15% de harina de camarón revelaron un mayor punto de ruptura que el tratamiento control y del que incluye solamente 5% de harina de camarón. Estas diferencias posiblemente se deban al contenido mineral de la harina de camarón que pudo ser aprovechado en gran medida por las aves gracias a la alta digestibilidad de la misma ($84,32 \pm 1,64\%$).

La rigidez de la cáscara también mostró diferencias significativas ($p < 0,05$); conforme aumentó el nivel de inclusión de la harina de camarón, menor fue la rigidez de la cáscara y por lo tanto mayor fue la elasticidad de la misma. El nivel de inclusión que más se acercó a la rigidez de la cáscara de los huevos del tratamiento control, fue el

de 10%. Para efectos de manejo del huevo esto es beneficioso ya que una mayor elasticidad le confiere al huevo una menor probabilidad a la ruptura.

Tanto los resultados obtenidos para el punto de ruptura como para la rigidez de la cáscara indican que el uso de la harina de camarón en la alimentación de gallinas ponedoras mejora la textura de la cáscara de huevo, lo cual es importante dentro de la industria de producción de huevos, ya que una mejor textura contribuye a disminuir pérdidas en labores de manipulación y transporte lo que constituye un beneficio económico para el productor.

6.3.2. Medición del color

El colorímetro transforma el color en vectores de manera que el resultado lo ofrece en 3 coordenadas numéricas, donde L^* se refiere a la luminosidad y puede ir de 0 (negro) a 100 (blanco). El eje a^* va de verde a rojo de manera que entre más negativo (-) es el valor de a^* , se acerca al color verde y entre más positivo (+) se acerca al rojo. El eje b^* puede ir de azul a amarillo, de manera que entre más negativo (-) es el valor obtenido de b^* , más se acerca al color azul y entre más positivo (+), se acerca al amarillo (MacDougall 2002). Lo anterior se ilustra en la Figura 7.

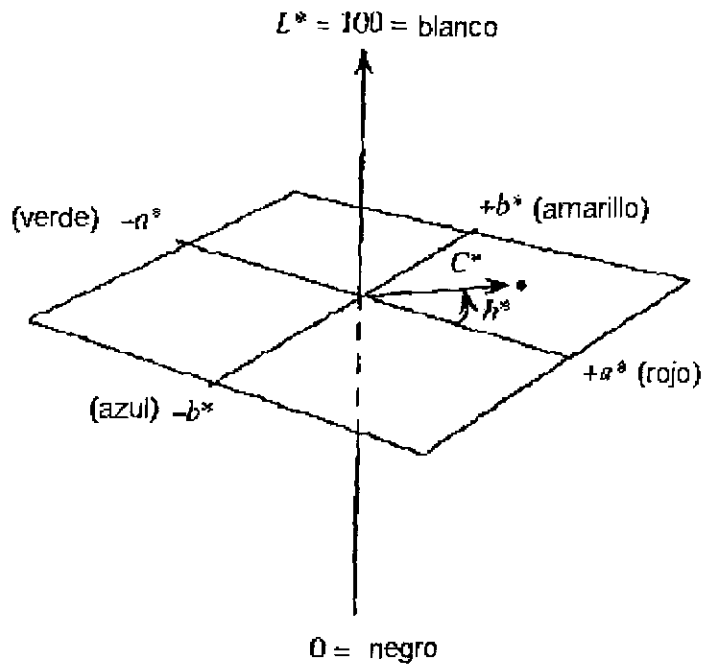


Figura 7. Diagrama CIELAB que muestra la relación de color rojo/verde ($a^* +/-$) y amarillo/azul ($b^* +/-$) coordenadas oponentes a luminosidad L^* .
Fuente: MacDougall 2002.

Al analizar las yemas de los huevos con el colorímetro se obtuvieron los resultados mostrados en el Cuadro 24.

Cuadro 24. Resultados de medición instrumental del color para los huevos producidos por las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).

Tratamiento	L^*	a^*	b^*
Control	$63,00 \pm 1,07$	$24,18 \pm 1,67$ b	$55,94 \pm 4,48$
5%HC	$62,74 \pm 2,02$	$19,82 \pm 2,24$ c	$62,32 \pm 0,84$
10%HC	$60,95 \pm 1,46$	$23,39 \pm 1,60$ bc	$56,36 \pm 3,37$
15%HC	$59,66 \pm 3,20$	$29,34 \pm 2,29$ a	$55,69 \pm 6,14$
Valor p	0,072	0,00001	0,068

a, b, c = en columnas, letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

Se puede observar que la luminosidad o intensidad del color (L^*) no muestra diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos aunque se da una tendencia a que conforme aumenta la inclusión de harina de camarón, disminuye levemente la luminosidad posiblemente al hacerse más saturado el color por la mayor cantidad de pigmentos.

Con respecto al eje a^* , si se dieron diferencias significativas ($p < 0,05$) mostrando que conforme aumenta el nivel de inclusión de harina de camarón, también aumenta el valor en este eje, lo que significa que la pigmentación de la yema tiende hacia el color rojo, ya que a medida que a^* es más positivo (+), va a tender más hacia este color. En el eje b^* los resultados fueron positivos (+) lo que indica una coloración amarillenta y estuvieron muy similares entre sí, por lo que no revelaron diferencias significativas. Basándose en ambos resultados de a^* y b^* se puede afirmar que conforme aumenta la inclusión de harina de camarón, las yemas tienden a tomar una pigmentación más naranja, de manera que el nivel de inclusión de 15% generó una mayor pigmentación con respecto a los demás tratamientos.

Resultados similares encontraron Anderson *et al.* (2008) en un estudio en el que comparan el efecto pigmentante de harina de cangrejo frente al de pigmentos artificiales. Ellos concluyeron que al incluir 8% de harina de cangrejo en la alimentación de gallinas ponedoras, esta suple la cantidad adecuada de pigmento rojo para generar el mismo cambio de color producido por el pigmentante rojo artificial.

6.3.3. Medición de pH

La medición de pH a través de un método instrumental viene a apoyar y fortalecer, las mediciones realizadas a priori a nivel de campo con el papel tomasol. Los resultados obtenidos (Cuadro 25) para el pH de la clara son elevados, lo cual se debe a que los huevos de los cuales se obtuvo las claras para analizar en el pHmetro, no son huevos recién puestos sino con 5 días de almacenamiento. Respecto a esto, Aburto (2008) señala que el pH de la clara es de 7,6-8,5; pero con el paso del tiempo, y el envejecimiento del huevo, la clara se va alcalinizando y en un huevo

envejecido el pH puede llegar a ser de 9,7. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos.

Cuadro 25. Resultados de medición instrumental del pH de la clara y la yema de los huevos producidos por las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).

Tratamiento	pH Clara	pH Yema
Control	9,17 ± 0,12	6,11 ± 0,41
5%HC	9,22 ± 0,21	6,18 ± 0,16
10%HC	9,25 ± 0,13	6,04 ± 0,24
15%HC	9,30 ± 0,12	6,29 ± 0,70
Valor p	0,623	0,832

En el caso del pH de la yema tampoco se encontraron diferencias significativas y los valores fueron cercanos a 6, con respecto a esto Periago (2012) destaca que el pH de la yema es cercano al valor encontrado y varía muy poco con el almacenamiento.

Comparando estos resultados con los obtenidos a nivel de campo para la estimación de pH con papel tornasol se puede decir que conforme avanza el tiempo de almacenamiento del huevo, el pH de la clara aumenta tal y como lo mencionan Periago (2012) y Aburto (2008). En las estimaciones a nivel de campo para las claras se obtuvieron valores de pH que rondaron entre 7 y 8 en huevos de un día de puestos, mientras que en la medición instrumental con huevos que tienen 5 días de almacenamiento se obtuvieron valores de pH cercanos a 9,20.

Con respecto al pH de las yemas, el mismo no debería variar con el tiempo de almacenamiento, por lo tanto los 5 días de almacenamiento no debieron tener un efecto en el mismo, tal y como se obtuvo en los resultados. Esto confirma que el color de la yema dificultó llevar a cabo una correcta lectura del cambio de color en el papel tornasol en la prueba realizada a nivel de campo, ya que se obtuvieron valores de pH muy elevados, entre 8 y 9.

6.3.4. Medición de viscosidad

Los resultados de viscosidad instrumental (Cuadro 26) para las claras estuvieron entre los 30,67 y 32,00 centipoise (cP) sin mostrar diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre los diferentes tratamientos por lo que la inclusión de harina de camarón no tuvo efecto sobre esta variable. Estos resultados están cercanos a lo reportado por Kempes *et al.* (2010) para la viscosidad promedio del albumen de huevos frescos de 30,4 cP; y también se encuentra cercano al rango promedio reportado por Min *et al.* (2012) para huevos recién puestos (26,4 cP) y huevos con 7 días de almacenamiento (29,6 cP).

Cuadro 26. Viscosidad medida instrumentalmente en centipoise (cP) para claras y yemas de los huevos producidos por las gallinas sometidas a los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).

Tratamiento	Viscosidad promedio (cP)	
	Clara	Yema
Control	31,33 ± 1,15	613,33 ± 5,77 b
5%HC	30,67 ± 1,15	826,67 ± 15,28 a
10%HC	30,67 ± 5,77	650,00 ± 17,32 b
15%HC	32,00 ± 0,00	626,67 ± 23,09 b
Valor p	0,936	0,0000008

a, b = en columnas, letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

En el Cuadro 26 también se pueden apreciar los resultados de viscosidad para las yemas, dentro de los cuales se presentó una diferencia significativa ($p < 0,05$) importante, donde la mezcla de las yemas de huevo del tratamiento que incluye 5% de harina de camarón mostraron una mayor viscosidad ($826 \pm 15,28$ cP) con respecto a los demás tratamientos. Esta diferencia no es atribuible a la presencia de la harina de camarón en las raciones de las gallinas ponedoras, ya que no se observó un aumento de viscosidad conforme aumentaba el nivel de inclusión de la misma. Estos resultados pueden ser un efecto de la temperatura del laboratorio a la

hora de llevar a cabo la medición, ya que esta muestra fue la última que se analizó por lo que estuvo sometida por mayor tiempo a la temperatura del laboratorio en ese momento que era de alrededor de 18°C. Telis-Romero *et al.* (2006) destacan que la temperatura tiene un efecto importante en la viscosidad de la yema de huevo, de manera que yemas a una temperatura de 298 K (24,85°C) presentan una viscosidad de 0,421 Pa·s (421 cP) y a una temperatura de 291 K (17,85°C) presentan una viscosidad de 0,787 Pa·s (787 cP), este efecto de temperatura no es tan marcado para la clara de huevo.

El hecho de que la presencia de harina de camarón hasta un nivel de 15% en las raciones de gallinas ponedoras no tuviese un efecto sobre la viscosidad instrumental, tanto de clara como de yema, concuerda con los resultados obtenidos para las variables de índice de yema, índice de clara y unidades Haugh que fueron medidas a nivel de campo a lo largo del período experimental. Esto refuerza la posibilidad de utilizar industrialmente los huevos producidos bajo la implementación de la harina, ya que no se ve afectada la consistencia del huevo en ninguno de los tratamientos experimentales.

6.4. Análisis sensorial

El fin del panel sensorial fue el análisis de tres variables: ordenamiento según agrado del huevo crudo, agrado según color de la yema de huevo crudo y agrado según sabor del huevo cocinado en torta; las mismas consultadas a cada participante a través de formularios que se le proporcionó a cada panelista junto con las muestras (Anexos 4 y 5).

6.4.1. Ordenamiento por el agrado del color de la yema

Los datos obtenidos para el ordenamiento por el agrado del color de la yema en huevos crudos provenientes de los diferentes tratamientos experimentales se transformaron a valores numéricos para llevar a cabo un análisis de varianza

aplicando el método de análisis de varianza de datos transformados sugerido por Anzaldúa-Morales (1994).

Existió una tendencia a un ordenamiento donde las yemas de los huevos provenientes del tratamiento con el nivel de inclusión de 5% de harina de camarón fueron colocadas de primeras, mientras que las yemas del tratamiento con una inclusión del 15% recibieron el último lugar en el ordenamiento, lo que implica una posible inclinación por huevos con yemas de un color amarillo más pálido que por huevos con yemas un color amarillo intenso-naranja. A pesar de estas tendencias, entre los resultados de los diferentes tratamientos no hubo diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) que dieran validez estadística a las mismas, por lo cual no dejan de ser una especulación. Resultados similares obtuvieron Carranco *et al.* (2011b) al realizar una prueba de preferencia de color de yema donde se aplicó un valor de cuatro para la escala de mayor agrado, y de uno para el de menor; con huevos frescos y almacenados por 15 días provenientes de 3 tratamientos: testigo, inclusión de 20% de harina de camarón (*Litopenaeus spp.*) e inclusión de 4% de harina de langostilla (*Pleuroncodes planipes*).

6.4.2. Agrado por color de la yema

Los resultados obtenidos para el agrado por el color de yema (Cuadro 27) mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos, de manera que las personas participantes en el panel sensorial mostraron un mayor agrado por el color de las yemas provenientes del tratamiento control, en menor grado por el tratamiento con 10%HC, y manifestaron tendencias cercanas a “indiferente” para las yemas de los tratamientos con 5 y 15%HC. Esto significa que las personas muestran un mayor agrado por yemas de un color amarillo intermedio, como es el del tratamiento control y el que incluye 10%HC (según Cuadros 18 y 24), y se muestran indiferentes ante colores extremos como son las yemas provenientes del tratamiento con 5%HC, que son de un amarillo pálido, y del tratamiento con 15%HC, que son de un amarillo intenso-naranja. Es importante recalcar que dentro de los resultados no se encontró un acentuado “desagrado” por la coloración de las yemas de ningún tratamiento.

Cuadro 27. Agrado por color de la yema (escala de 1 a 10) de huevos provenientes de los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).

Tratamiento	Agrado por color de yema
Control	7,451 a
5%HC	5,827 b
10%HC	6,590 c
15%HC	5,989 b
Valor F	8,817

a, b, c = en columnas, letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

Los resultados de esta medición permitieron tener un panorama más claro acerca de las preferencias hacia el color de las yemas por parte de las personas participantes, complementando el ordenamiento por color de la yema. El hecho de que las personas muestren un mayor agrado por yemas de intensidades intermedias de amarillo, puede ser un indicativo de que la coloración de la yema no es para ellos un factor determinante a la hora de seleccionar y comprar huevos, lo cual se detallará más adelante en la sección de percepción de calidad el huevo.

Por otro lado el menor agrado o la indiferencia ante colores extremos puede deberse a que las personas relacionen estas coloraciones a algún defecto de los huevos, como por ejemplo las yemas de amarillas pálidas a alguna enfermedad en la gallina, o las yemas naranjas, al exceso de aditivos químicos y perjudiciales a la salud humana en la alimentación de las aves. También puede ser que para estas personas simplemente les son indiferentes las coloraciones extremas en la yema de huevo, y no se inclinan por una ni por otra.

6.4.3. Agrado por el sabor

Los resultados del nivel de agrado del sabor de los huevos cocinados en forma de torta (Cuadro 28) no mostraron diferencias significativas para los diferentes tratamientos ($p > 0,05$), de manera que resultaron muy cercanos entre sí con un nivel

de agrado medio-alto. Los huevos provenientes del tratamiento que incluye 15% de harina de camarón muestran numéricamente una leve tendencia a un mayor agrado.

Cuadro 28. Agrado por sabor (escala de 1 a 10) de los huevos cocinados en tortas provenientes de los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).

Tratamiento	Agrado por sabor
Control	6,843
5%HC	6,695
10%HC	6,386
15%HC	7,169
Valor F	2,197

Resultados equivalentes se obtuvieron en estudios similares realizados en México (Carranco 2002, Carranco *et al.* 2011b). En ambos estudios los autores recalcan que el hecho de que no se obtuvieran resultados que indicaran disgusto, significa que los panelistas no detectaron sabor alguno “a pescado” que pudiesen transferir las harinas de crustáceos al huevo.

Debido a que los resultados obtenidos al realizar el ANOVA no permitieron detectar algún efecto significativo ($p > 0,05$) de la inclusión de la harina de camarón en el huevo, se decidió realizar un análisis de conglomerados para el parámetro sabor.

El análisis de conglomerados es una técnica estadística multivariante que busca agrupar elementos (o variables) tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos (De la Fuente 2011). Dentro del análisis se utilizó el método de aglomeración de Ward, que busca minimizar la varianza dentro de cada grupo. Para ello se calcula, en primer lugar, la media de todas las variables en cada conglomerado; a continuación se calcula la distancia entre cada caso y la media del conglomerado, sumando después las distancias entre todos los casos. Posteriormente se agrupan los conglomerados que generan menos aumentos

en la suma de las distancias dentro de cada conglomerado. Este procedimiento crea grupos homogéneos y con tamaños similares (De la Fuente 2011).

Al realizar este análisis, el total de datos proporcionado por los participantes (101) se subdividió en 3 diferentes cluster o conglomerados (Figura 8). De manera que el Cluster 1 resultó ser el más numeroso (40%), seguido por el Cluster 3 (33%) y finalmente el Cluster 2 (27%) (Figura 9).

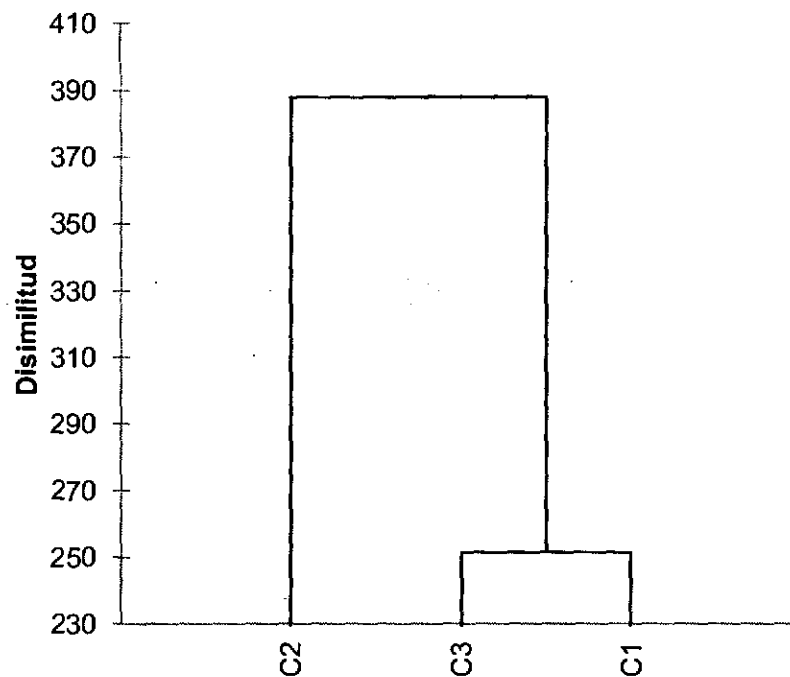


Figura 8. Dendrograma de los tres cluster (C) obtenidos por medio del método de aglomeración de Ward para agrado por sabor.

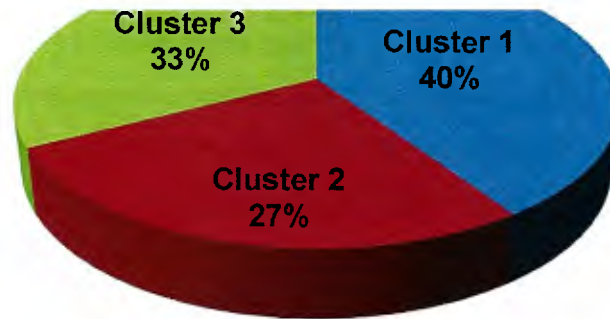


Figura 9. Gráfico del porcentaje de la población de panelistas que formó cada uno de los clusters o conglomerados resultantes al utilizar el método de aglomeración de Ward en el análisis de la variable sensorial de agrado por sabor.

Los clusters obtenidos muestran las diferentes tendencias de las personas que participaron en el panel sensorial. Los resultados de cada uno de los cluster se puede observar en Cuadro 29.

Cuadro 29. Resultados de los ANOVAS internos en los clusters obtenidos para agrado por sabor de los huevos cocinados en tortas provenientes de los diferentes niveles de inclusión de harina de camarón (HC).

Tratamiento	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Control	8,894 a	5,207 a	5,633
5%HC	7,030 b	7,670 b	5,482
10%HC	7,354 bc	6,117 c	5,403
15%HC	7,776 c	8,617 d	5,232
Valor F	9,364	23,397	0,209

a, b, c, d = en columnas, letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

En el Cluster 1 se dieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), en este cluster se agruparon las personas que proporcionan un mayor nivel de agrado a los huevos provenientes del tratamiento control, mientras que a los huevos de los demás tratamientos les proporcionan calificaciones similares entre sí y menores a la del tratamiento control. En el Cluster 2 también se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$), y agrupa a personas que le confieren un mayor nivel de agrado a los huevos del tratamiento con 15%HC, y les es indiferente el sabor de los huevos del tratamiento control, sin embargo no les disgusta los huevos de ningún tratamiento. Para las personas agrupadas en el Cluster 3 el sabor de todas las muestras de huevos les pareció indiferente, por lo que no se dieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos.

Es interesante analizar estos resultados ya que a pesar de que las tendencias de los Clusters 1 y 3 no revelan un efecto positivo de la harina de camarón sobre el agrado por el sabor de los huevos, hubo un grupo de personas que detectó un sabor diferente en los huevos de los tratamientos que incluían harina de camarón, proporcionándoles un mayor agrado a las muestras de torta de los huevos del tratamiento con mayor inclusión de harina de camarón (15%). Es difícil definir la razón por la que estas personas consideraron estos huevos más agradables, sin embargo esto podría considerarse un valor agregado si en el futuro se comercializaran huevos producidos bajo la implementación de harina de camarón en la alimentación de ponedoras.

Los resultados del Cluster 2 revelan la presencia de un posible mercado para huevos producidos bajo la inclusión de un 15% de harina de camarón en la alimentación de gallinas ponedoras; sin embargo para lograr abarcar este mercado se hace necesario informar al consumidor acerca de lo que diferencia estos huevos de los convencionales, como lo es la utilización de un pigmentante natural para su producción, de los beneficios del mismo para la salud humana y del aporte de un mejor sabor.

6.5. Percepción de la calidad en una muestra poblacional

Para analizar los datos obtenidos de la aplicación de la encuesta se graficaron los resultados por pregunta, aplicándose las Escalas de Likert en las preguntas que lo requirieron. Estas escalas permiten la ordenación de los individuos en la característica que se mide mediante la asignación de diferentes ítems (Fernández de Pinedo 2007). Los datos fueron analizados de manera general y por género para detectar diferencias en las preferencias de consumo de huevo tanto de manera general, como entre hombres y mujeres.

6.5.1. Frecuencia de compra de huevos

La frecuencia de compra se midió en las veces que se compran huevos al mes, los resultados representados en la Figura 10a muestran que el mayor porcentaje de personas participantes de la encuesta (48%) compran huevos 4 veces al mes, muy posiblemente una vez por semana, lo que señala un consumo frecuente de huevos. En segundo lugar (34%) se encuentra una frecuencia de compra de 2 veces al mes, en tercer orden, 1 vez al mes (12%). Este comportamiento se repitió al analizar la frecuencia de compra en mujeres (Figura 10b) y hombres (Figura 10c) por separado. Solamente una persona compra huevos más de 4 veces al mes, de hecho fue un hombre el que informó comprar huevos 8 veces al mes (2%). Solamente una persona respondió que no sabe o no respondió (NS/NR).

Una mayor frecuencia de compra de huevos puede estar relacionada con el hecho de que una sola persona compra huevos para que lo consuman varias personas en sus hogares, como por ejemplo con el caso de familias, por lo que se hace necesario comprar huevos de manera más frecuente. También se puede deber a un consumo diario de huevos, debido a que las personas les gusta mucho o los utilizan para la preparación de diferentes platillos, lo que por ende incrementaría esta frecuencia de compra. Es importante destacar que en esta encuesta solamente se consultó sobre la frecuencia de compra y no sobre la frecuencia de consumo, la cual influye sobre la anterior.

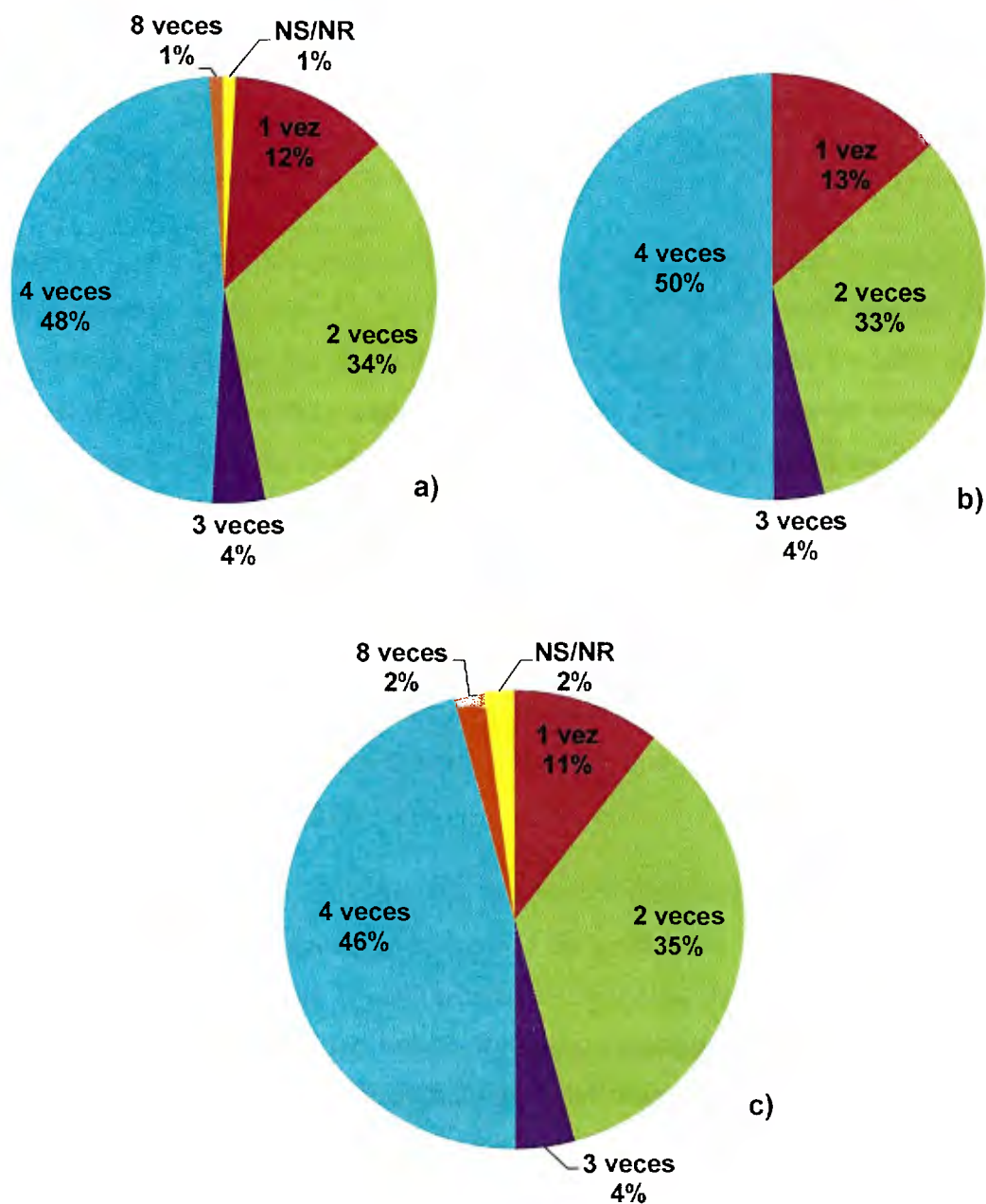


Figura 10. Gráficos resultantes para la frecuencia de compra de huevos en veces al mes: a) Frecuencia de compra general. b) Frecuencia de compra para mujeres. c) Frecuencia de compra para hombres.

Por otro lado las personas que informaron de una menor frecuencia de compra (1 o 2 veces al mes) puede ser por que viven solos, lo que involucra un menor consumo. También se puede deber al hecho de que el huevo no forma parte de la dieta diaria

de estas personas y solamente lo consumen ocasionalmente, provocando una baja frecuencia de compra.

6.5.2. Lugar de compra de huevos

Según la Figura 11a, las personas prefieren la seguridad y calidad ofrecida por los supermercados a la hora de comprar huevos, ya que el 60% de las personas encuestadas compran los huevos en estos locales, de igual manera se dio en mujeres (Figura 11b) y hombres (Figura 11c). El segundo lugar de preferencia son las pulperías (17%) y de igual manera para mujeres (13%) y hombres (21%), gracias a las cercanías de estos establecimientos a los hogares, lo que permite conseguir huevos de manera rápida. En tercer lugar (7%) se encontraron las ferias de agricultor, vendedores ambulantes y vecinos que producen y venden huevos en sus hogares, sin embargo en este caso si se encontraron diferencias entre hombres y mujeres, ya que 11% de estas últimas prefieren las ferias del agricultor frente a 3% que compra a vendedores ambulantes, mientras que en el caso de los hombres es totalmente al contrario (Figura 11c).

Peña *et al.* (2011) en un estudio sobre los conocimientos, opiniones y prácticas de la población respecto al consumo de huevo de gallina en familias de comunidades urbana-rural de Costa Rica encontraron que la mayoría de los participantes prefieren el huevo casero por su buen sabor, fresca y porque conocen la crianza de las gallinas; sin embargo el huevo industrial es el más consumido, debido a que hay mayor disponibilidad y posee un mejor empaque. Lo anterior puede explicar los resultados encontrados para la preferencia del lugar de compra, ya que posiblemente a la mayoría de las personas les gustaría comprar huevos en lugares donde les indiquen que son huevos caseros, pero no todas estas personas tienen acceso a ello por lo que recurren a los supermercados en donde prácticamente siempre hay disponibilidad de este producto y se les garantiza a las personas un producto inocuo debido a la información que proporciona la etiqueta de empaque, como lo es la fecha de caducidad.

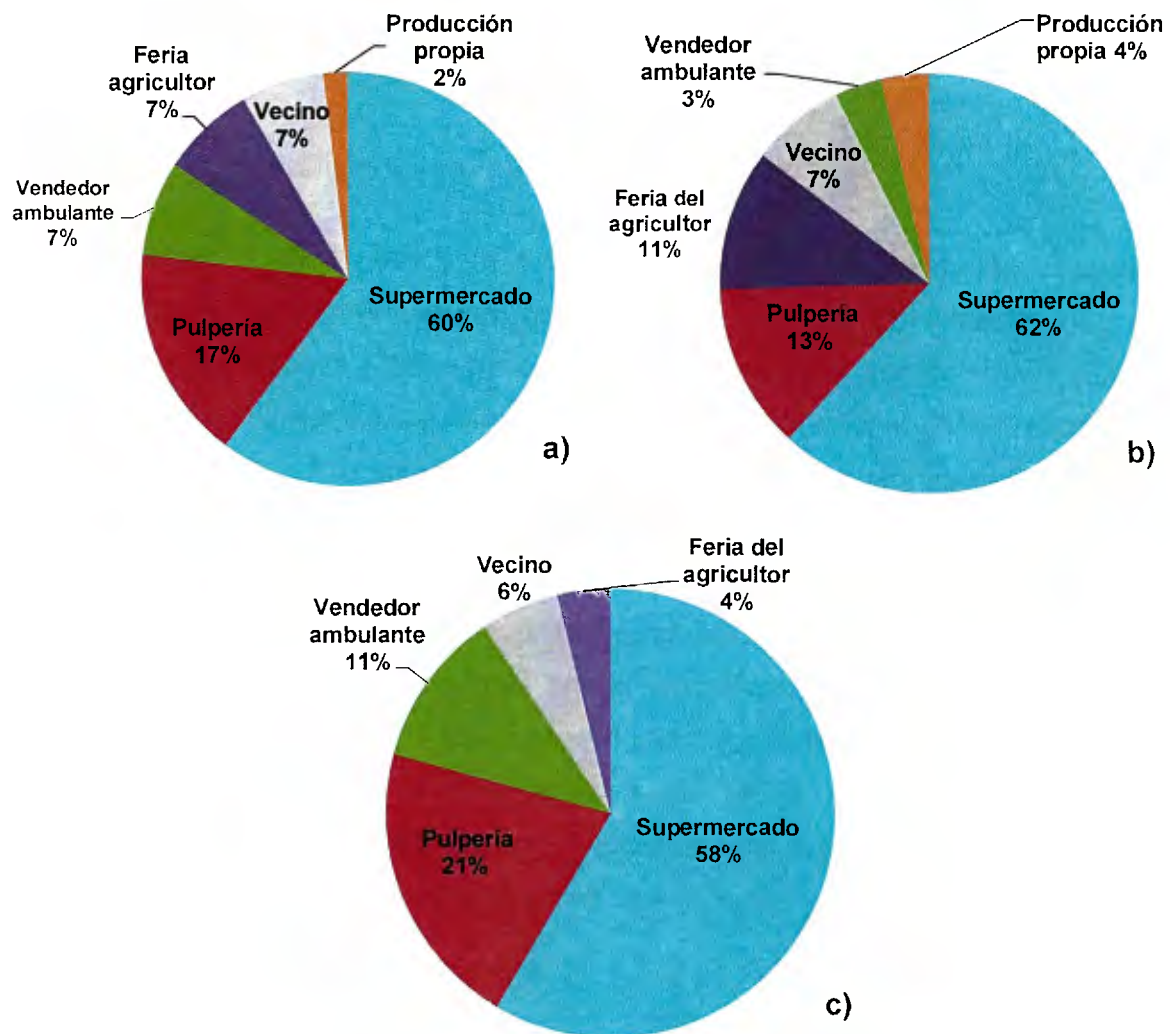


Figura 11. Gráficos sobre la preferencia en el lugar de compra del huevo: a) Preferencia de lugar de compra general. b) Preferencia de lugar de compra para mujeres. c) Preferencia de lugar de compra para hombres.

Los resultados obtenidos son importantes para tomarlos en cuenta si se decidiera insertar en el mercado huevos con un valor agregado como pueden ser los producidos mediante la utilización de harina de camarón, ya que si se conoce que las personas prefieren los supermercados para comprar huevos, es ahí donde se puede buscar la opción de colocarlos. A pesar de que la mayoría de grandes supermercados ya tienen sus respectivos proveedores se podrían colocar

destacando que no son huevos que pretenden competir con los convencionales, sino promocionándolos como un alimento funcional o nutracéutico.

6.5.3. Definición de un huevo de calidad

El principal fin de la encuesta fue conocer las características que buscan las personas para definir la calidad en el huevo. La Figura 12a muestra que mayor cantidad de personas (28%), buscan huevos de tamaño grande y con una forma "normal" (ni muy redondo, ni muy alargado). En segundo lugar (20%) buscan que la cáscara presente un color marrón y esté libre de quebraduras, manchas o irregularidades. En tercer lugar (15%) queda la característica de mayor importancia para el presente trabajo, que es el color de yema, sin embargo no todas las personas que colocaron esta característica como lo que define un huevo de calidad, mencionaron que lo que buscan es una coloración amarilla intensa-naranja, varias mencionaron por el contrario que prefieren una coloración amarilla pálida. Las demás características como la frescura, consistencia de la yema y clara, limpieza y presentación, entre otras no son tan relevantes para definir la calidad en el huevo. Solamente 6 personas aseguraron no saber o no responder (NS/NR) a esta pregunta.

Para las mujeres (Figura 12b) la forma y tamaño del huevo también es lo que les indica buena calidad en este alimento (30%), sin embargo colocan 3 características en segundo lugar de importancia (16%), por lo que se puede decir que para las mujeres el color de yema es tan importante como el color marrón y condición de la cáscara, y la frescura. Esto posiblemente debido a que las mujeres en la mayoría de los casos son las encargadas de cocinar, por lo que ellas le otorgan un segundo lugar a dichas características internas del huevo.

En el caso de los hombres (Figura 12c) también colocan el tamaño y la forma del huevo en primer lugar (26%), junto con color y condición de la cáscara (26%), dejando el color de la yema de segundo lugar (13%). Los resultados de esta pregunta sobre la definición de un huevo de calidad se asemejan a lo encontrado por Monge (2001) en un estudio donde destaca que las principales características de

calidad del huevo para el consumidor de la Región Central de Costa Rica son, en orden de importancia: el tamaño grande, el color naranja fuerte de la yema, la limpieza y la frescura del mismo.

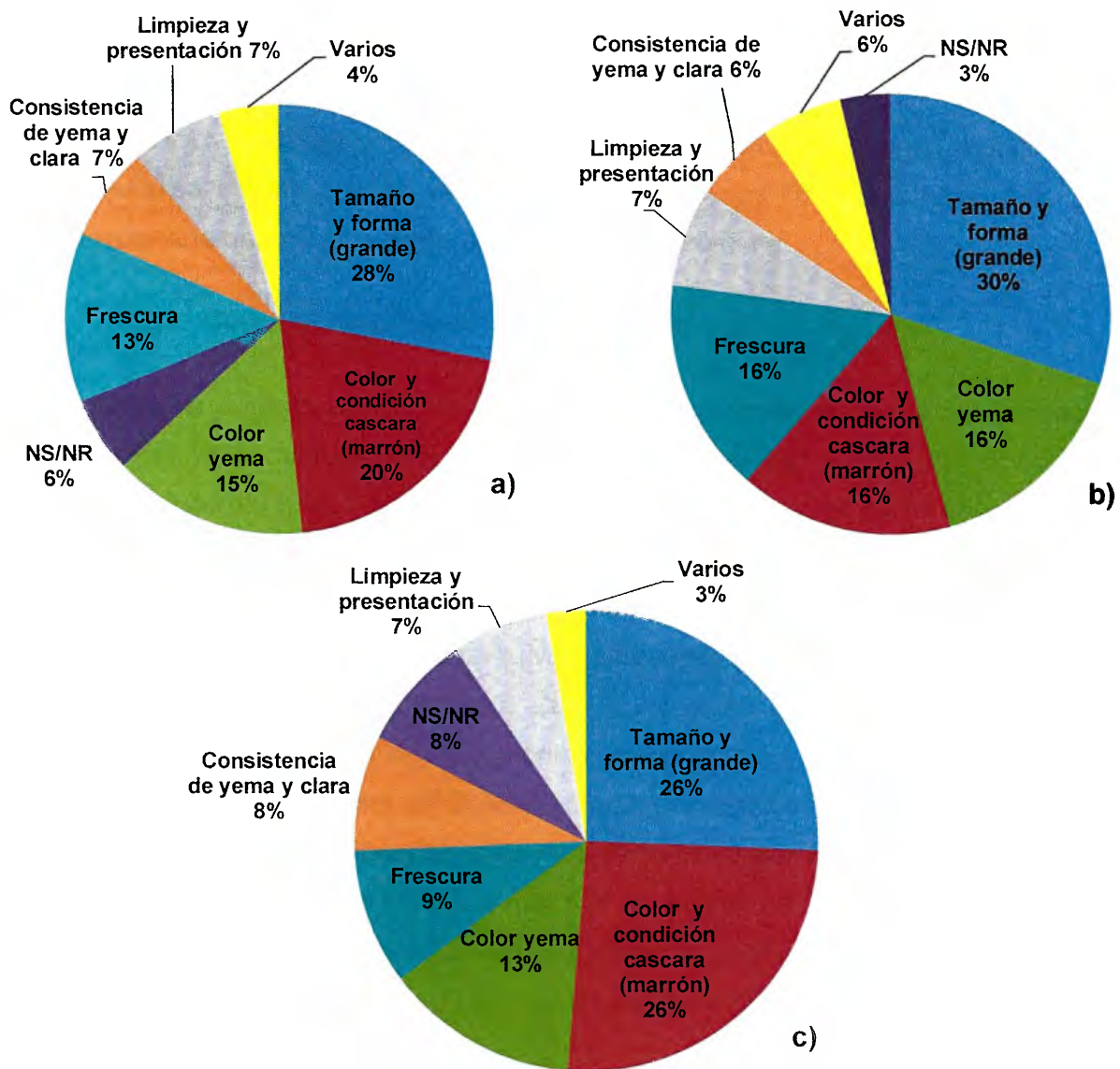


Figura 12. Gráficos sobre la definición de calidad del huevo: **a)** Definición general de calidad en el huevo. **b)** Calidad en el huevo para mujeres. **c)** Calidad en el huevo para hombres.

Las personas participantes en su mayoría definen la calidad en el huevo por sus características externas, lo cual es lógico considerando que son las primeras que se aprecian en el huevo a simple vista. Es por ello que si se desea comercializar huevos por alguna característica interna sobresaliente, como lo es el color de la yema en los huevos producidos con niveles de inclusión de 15% de harina de camarón en las raciones alimenticias de las gallinas ponedoras, se debe informar al consumidor de alguna manera, ya sea por medio de publicidad o en el empaque, señalando la característica interna que los hace diferentes a huevos convencionales, esto para proporcionarle una mayor opción de compra al consumidor.

6.5.4. Concepto del huevo como alimento

Las personas participantes de la encuesta consideran que el huevo como alimento es principalmente nutritivo (Figura 13a), pero también la catalogan como un alimento alto en colesterol (12%) y en menores porcentajes lo describen como delicioso, fácil de preparar, económico y disponible. Resultados similares se obtuvieron al analizar por separado los datos aportados por mujeres (Figura 13b) y hombres (Figura 13c), sin embargo se presenta una diferencia interesante entre estos ya que un mayor porcentaje de mujeres lo consideran alto en colesterol (14%), mientras que en el caso de los hombres un mayor porcentaje lo consideran fácil de preparar (15%), antes que alto en colesterol (9%). Esta diferencia posiblemente se deba a que las mujeres tienden más a cuidar su salud y estado físico por lo que se preocupan en conocer la composición de los alimentos que consumen catalogando al huevo como un alimento alto en colesterol, mientras que los hombres no tienden a dar tanta importancia a este punto y ven en el huevo un alimento práctico y fácil de preparar, antes que un alimento grasoso.

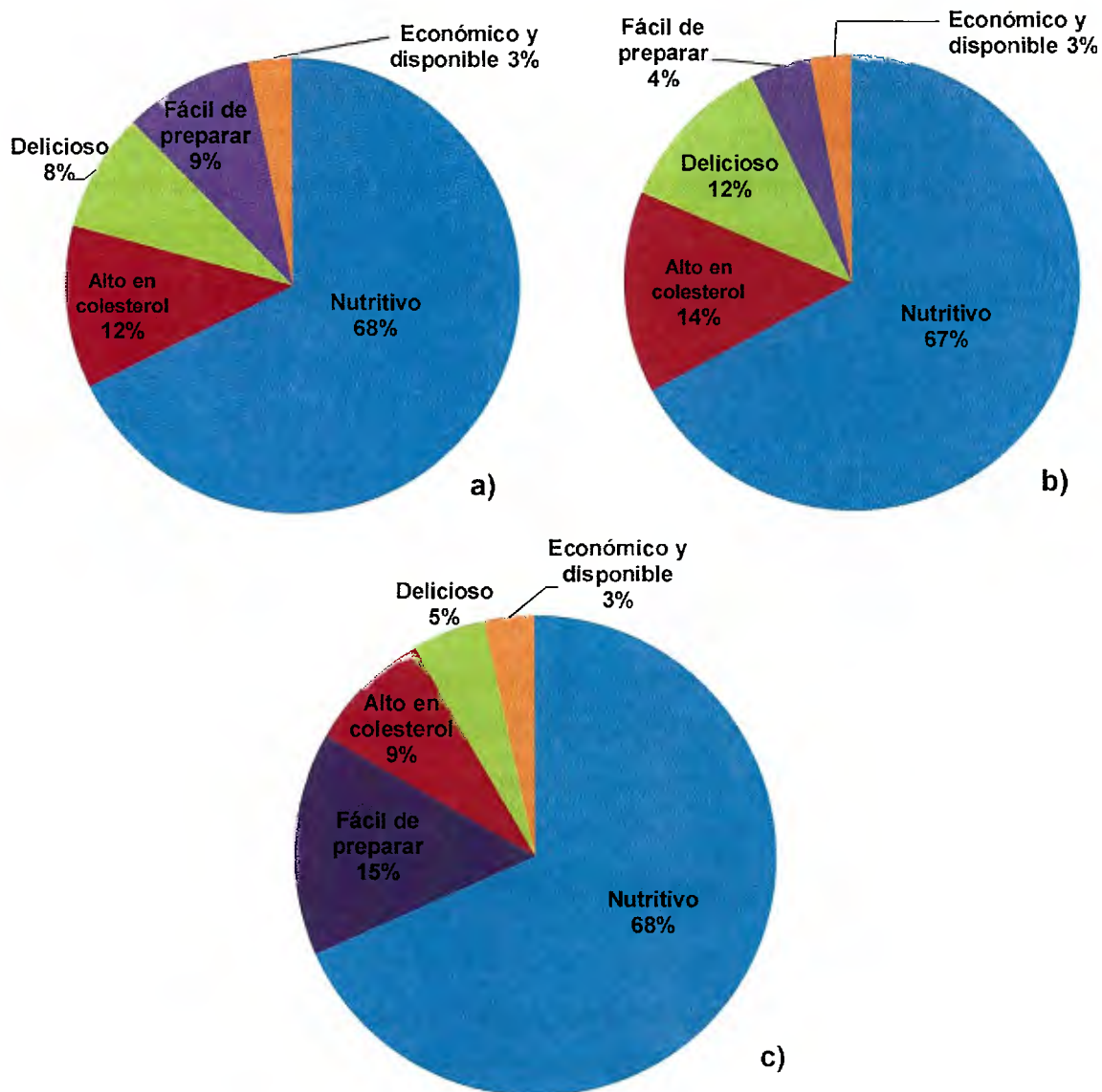


Figura 13. Gráficos sobre el concepto del huevo como alimento: **a)** Concepto general del huevo como alimento. **b)** Conceptualización del huevo como alimento para mujeres. **c)** Conceptualización del huevo como alimento para hombres.

Las personas encuestadas están en lo correcto al considerar el huevo como un alimento nutritivo, ya que según Peña *et al.* (2011) el mismo cuenta con importantes nutrientes dentro de lo que cabe destacar que la clara está compuesta casi exclusivamente por proteína (contiene alrededor de 40 proteínas diferentes) y agua,

aunque también contiene cantidades importantes de riboflavina. Estas proteínas de la clara de huevo cuentan con una alta digestibilidad; además la clara está formada por aminoácidos esenciales y es una rica fuente de vitaminas. La yema de huevo además de contener más calorías que la clara, contiene más minerales, entre éstos, hierro, calcio, fósforo y sulfuro. También posee una cantidad importante de vitaminas como tiamina y riboflavina y la totalidad del colesterol del huevo se concentra en ésta (Badui 1990).

Con respecto a catalogar al huevo como un alimento alto en colesterol, es un mito muy generalizado ya que también Monge (2001) y, Castro y Peña (2009) en otros estudios realizados en el país encontraron una tendencia a que las personas relacionan al huevo con un alto contenido de colesterol. El Instituto de Estudios del Huevo (2003) de España aclara que un huevo de tamaño medio contiene entre 214 y 220 miligramos de colesterol. Sin embargo, debido a su contenido en fosfolípidos, que interfieren en su absorción, este colesterol tiene muy poco efecto sobre el colesterol en sangre. Por tanto, en personas sanas, el consumo de un huevo diario es compatible con una dieta cardiosaludable, cuidando que el consumo de grasa saturada y otras fuentes de colesterol se encuentren en los niveles recomendados.

Peña *et al.* (2011) adjudican esto a una desinformación general de la población acerca de los beneficios para la salud que el huevo puede brindar, aparte de que frecuentemente el personal de salud tiende a realizar recomendaciones que por lo general son de tipo restrictivo para este alimento. Con respecto a esto el Instituto de Estudios del Huevo (2003) sugiere que dado que los huevos son un alimento de elevado valor nutritivo, restringir su consumo, como se ha recomendado equivocadamente en muchas ocasiones, puede conducir a situaciones nutricionales y sanitarias de peores consecuencias que el problema que se intenta evitar.

6.5.5. Disposición a comprar huevos ligeramente más pequeños, si estos presentan un mejor color de yema

Esta pregunta se incluyó en la encuesta debido a que en los resultados a nivel de campo se encontró que los huevos provenientes del tratamiento que incluye 15% de harina de camarón, a pesar que presentaron una pigmentación de la yema más intensa, también presentaron un peso significativamente ($p < 0,05$) menor en la semana 3 ($60,9 \pm 0,9$ g) en comparación con los demás tratamientos; y en la siguiente semana, a pesar de que no se presentó una diferencia significativa, se dio una tendencia en la que estos huevos presentaron un menor peso, por lo que se decidió consultar a los consumidores si estarían dispuestos a comprar huevos con estas características.

En la Figura 14a se puede apreciar que la mayoría de las personas (66%) están dispuestas a comprar huevos ligeramente más pequeños, si estos presentan un mejor color de yema; de igual manera se presentó para mujeres (Figura 14b) y hombres (Figura 14c). Esto significa que a pesar de que la mayoría de las personas prefieren huevos de gran tamaño, como se observó anteriormente en la Figura 12, estarían dispuestos a sacrificar ligeramente el tamaño por una mejor coloración de yema.

Estos resultados sumados a lo encontrado en el agrado por sabor de los huevos con el Cluster 2 en el que el 27% de los participantes mostró una tendencia a un agrado significativamente ($p < 0,05$) mayor por el sabor de los huevos provenientes del tratamiento que incluye 15% de harina de camarón en la alimentación de las gallinas, contribuye a afirmar la existencia de un posible mercado para estos huevos.

Sin embargo, varias de las personas que respondieron afirmativamente a esta pregunta agregaron que “comprarían los huevos siempre y cuando se les asegurara que realmente cuentan con yemas más naranjas y además que esa coloración naranja pudiese tener algún beneficio para su salud”. De ahí que se insiste en la importancia de informar al consumidor sobre los beneficios de este producto, si se llegaran a comercializar huevos de este tipo; aparte de que se hace necesaria una

adecuada promoción de los mismos, lo que permitiría abordar este posible mercado de una mejor manera.

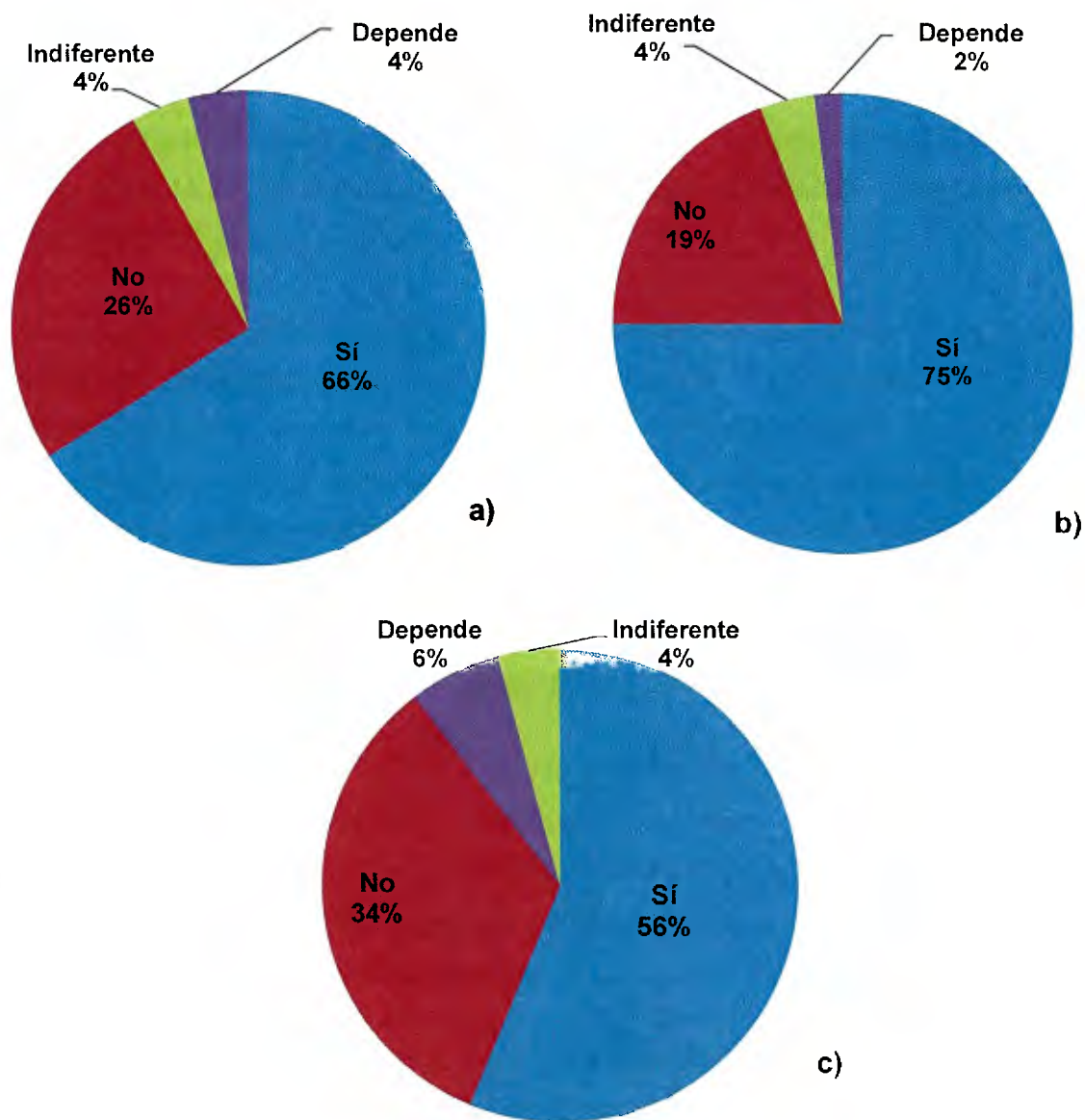


Figura 14. Gráficos sobre la disposición a comprar huevos más pequeños, con mejor color de yema: **a)** Disposición general. **b)** Disposición en mujeres. **c)** Disposición en hombres.

6.6. Aspectos económicos en el uso de la harina de camarón para pigmentar yema de huevo

Conforme se aumentó el nivel de inclusión de harina de camarón en las raciones alimenticias para las gallinas ponedoras, las formulaciones resultaron más caras económicamente hablando (Cuadro 4). Es por ello que se debe analizar la situación, y explorar la posibilidad de vender los huevos producidos bajo la implementación de harina de camarón con un valor agregado.

Al encontrarse que al aumentar el nivel de inclusión de harina de camarón en las raciones de gallinas ponedoras, también aumenta la pigmentación de la yema de huevo, se puede decir que las yemas de estos huevos tendrían mayor contenido de carotenoides (luteína y zeaxantina). Como se mencionó anteriormente, la luteína y zeaxantina tienen efectos beneficiosos en la salud visual y en la prevención de enfermedades como la arteriosclerosis por su acción antioxidante; por lo tanto huevos con yemas con altos contenidos de estos pigmentantes, se podrían considerar como un alimento funcional o nutracéutico.

La Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos ha definido los alimentos funcionales como “alimentos modificados, o que tengan un ingrediente que demuestre una acción que incremente el bienestar del individuo o disminuya los riesgos de enfermedades, más allá de la función tradicional de los nutrientes que contiene” (Cassus y Cornejo 2006).

Tradicionalmente, se instaba a los productores agropecuarios a avanzar dentro de una visión lineal que, partiendo de los recursos disponibles, diseñaran una estrategia que se acercara lo más posible, a lo que ellos estimaban podrían ser las preferencias de los consumidores. De la Granja al Plato era la consigna o *From Farm to Fork*. Actualmente la visión es diferente, en la cual hay un consumidor empoderado, con expectativas específicas. Ha transformado el alimento en una emoción y quiere obtener de ello lo máximo posible por su dinero. Quiere experimentar placer en el acto de comer, quiere sentirse bien, que la comida no le resulte “pesada”, quiere cuidar su salud y que su flora bacteriana se mantenga adecuada para el resto de los

procesos metabólicos (Jordán 2013). Bajo esta perspectiva, los alimentos funcionales toman cada vez más importancia y son elegidos por el tipo de consumidor actual.

González (2012) menciona que un alimento funcional o enriquecido presente en el mercado se vende con un precio superior al producto convencional, los valores pueden oscilar entre un 20% y un 25 % de más. Tomando esto en cuenta los huevos producidos bajo la implementación de harina de camarón se podrían comercializar a un precio más elevado que los huevos convencionales como "Huevos enriquecidos en luteína a partir de una fuente natural", como lo es la harina de camarón.

En el país actualmente se comercializan huevos con precios diferenciados, un ejemplo son los huevos enriquecidos con Omega 3 que se comercializan en supermercados a un costo 20-23% superior a los convencionales. Otro ejemplo son los "huevos de pastoreo" cuyo costo es aproximadamente hasta 30% superior al del huevo tradicional (Brenes 2012).

El costo de la ración que incluyó 5% de harina de camarón resultó 5,78% superior al de la ración control, la de 10% resultó 6,42% superior, mientras que la inclusión de 15% de la harina fue 8,91% superior; estas diferencias no son tan grandes con respecto a ración control, sin embargo tienden a aumentar los costos de producción. Tomando en cuenta que los huevos producidos bajo la implementación de la harina podrían comercializarse con un precio diferenciado, que pudiese ser hasta 20-25% superior al de los huevos convencionales, indica que ese leve aumento en el costo al incluir la harina en las formulaciones podría ser solventado por el precio diferenciado al que se comercializarían los huevos.

A nivel nacional para la determinación de los costos y precios máximos de venta de los huevos se recomienda utilizar el modelo sugerido por el Artículo 8 del Reglamento Modelo Precios Costo y Venta de Huevos, No. 8547-MEIC (1988) (Anexo 7). En este mismo artículo se aclara como calcular cada uno de los componentes del modelo.

7. CONCLUSIONES

La alta digestibilidad de la harina de camarón (HC) contribuye a un mayor aprovechamiento de los nutrientes que la misma contiene, como por ejemplo en el caso de las gallinas ponedoras el contenido mineral (25,90% de cenizas) de la harina junto a su alta digestibilidad ($84,32 \pm 1,64\%$), mejoró la calidad de la cáscara de los huevos obtenidos bajo su implementación.

La inclusión de harina de camarón hasta un nivel de 15% en la ración de gallinas ponedoras no afecta las variables productivas de las aves y demás variables relacionadas a la calidad del huevo de una manera significativa ($p < 0,05$), exceptuando por el peso del huevo. Esto contribuiría a la implementación de la harina de camarón en la industria productora de huevos, sin pensar en un efecto adverso en la producción o calidad del huevo.

Los huevos producidos por las gallinas alimentadas con la dieta que contenía 5% de harina de camarón presentaron un mayor peso promedio ($63,3 \pm 0,4$ g), mientras que los provenientes de la inclusión de 15% presentaron el menor peso promedio ($60,9 \pm 0,9$ g) de manera significativa ($p < 0,05$) en la tercera semana del ensayo biológico; en la cuarta semana se presentó una tendencia similar no significativa ($p > 0,05$). Lo anterior podría ser un indicio de un posible efecto de la harina de camarón en el peso del huevo, sin embargo se requieren de más investigaciones al respecto para afirmarlo.

Con el nivel de inclusión de 15% de harina de camarón se obtuvieron los huevos con yemas más pigmentadas apreciables visualmente con el abanico colorimétrico de DSM. Además esta pigmentación aumentó de la semana 1 (12,4) a la tercera (14,0), donde parece ser se estabilizó; lo que indica que la harina de camarón tiene un efecto pigmentante para la yema de huevo, gracias al contenido de la astaxantina de la misma.

La inclusión de harina de camarón mejora la textura de la cáscara de huevo, ya que al aumentar el porcentaje de la harina en las dietas de las ponedoras, aumenta

simultáneamente el punto de ruptura de la cáscara (0,34 - 0,51 mm) y disminuye la rigidez de la misma (94,48 - 65,71 N/mm).

La mejor calidad de la cáscara de los huevos provenientes de los tratamientos con mayor inclusión de harina de camarón, por el aporte mineral de la misma, puede contribuir a menores pérdidas económicas por huevos quebrados en el manejo y/o transporte, ya que se le confiere a la cáscara una mayor elasticidad.

La medición de color instrumental mostró que conforme aumenta la inclusión de harina de camarón en las raciones alimenticias, las yemas de los huevos revelan una pigmentación significativamente ($p < 0,05$) más naranja; por lo tanto el efecto pigmentante de la harina de camarón es capaz de sustituir al de los colorantes sintéticos utilizados actualmente en la alimentación de gallinas ponedoras.

Al no encontrarse diferencias significativas ($p > 0,05$) para las variables de: índice de clara, índice de yema, unidades Haugh y viscosidad, se puede afirmar que la inclusión de harina de camarón hasta 15% no afecta en apariencia los componentes relacionados con la consistencia del huevo.

El agrado de las personas participantes del panel sensorial por la coloración de la yema indicó una inclinación hacia tonos de amarillo intermedio (un valor de 10-11 en el abanico colorimétrico de DSM) de manera significativa ($p < 0,05$), que se puede obtener a partir de niveles de inclusión cercanos al 10% de harina de camarón en la ración de gallinas ponedoras. Además se mostraron indiferentes ante las coloraciones extremas como lo es amarillo pálido (5% de harina de camarón) y naranja (15% de harina de camarón); esto puede indicar que la coloración de la yema no es un factor determinante a la hora de seleccionar y comprar huevos

Uno de los conglomerados, que representó el 27% de los panelistas participantes, mostró un agrado significativamente ($p < 0,05$) mayor por el sabor de los huevos provenientes del tratamiento que incluyó 15% de harina de camarón en la alimentación de las gallinas ponedoras. Esta característica podría utilizarse como un

valor agregado si en el futuro se comercializaran huevos producidos bajo la implementación de harina de camarón en la alimentación de ponedoras.

Según la encuesta realizada, las personas en primera instancia se fijan en las características externas del huevo, de manera que el color de la yema ocupa el tercer lugar dentro de las características que definen la calidad en el huevo para los consumidores, por debajo del tamaño grande y forma del huevo, y el color marrón y estado de la cáscara. Esto se debe tomar en cuenta si se desean comercializar huevos con alguna característica interna sobresaliente.

Además la mayoría de las personas encuestadas (68%) consideran que el huevo es un alimento nutritivo, convirtiéndolo en un componente importante dentro de la dieta de los costarricenses; sin embargo un 12% lo considera alto en colesterol, ya sea por falta de información o por una información inadecuada que se le ha dado a la población.

Las personas mayoritariamente (66%) estarían dispuestas a sacrificar tamaño en el huevo por un mejor color de yema, revelando un posible mercado para huevos con yemas de coloración naranja.

Las dietas que incluyen harina de camarón resultaron más costosas, económicamente hablando, que la dieta que incluyó el colorante sintético; sin embargo hay que considerar las circunstancias bajo las cuales se elaboró la harina, ya que en este caso la harina utilizada fue manufacturada específicamente para el estudio, lo que podría conferirle un mayor precio.

Los huevos obtenidos a partir del nivel de inclusión de 15% de harina de camarón tienen un mayor contenido de luteína y zeaxantina lo que los convierte en alimentos funcionales por las propiedades benéficas para la salud de estos pigmentos, por lo tanto estos huevos se podrían comercializar a un mayor precio que los huevos convencionales resaltando este aspecto. Este precio diferenciado podría solventar los costos más elevados en la elaboración de dietas que incluyen niveles similares de harina de camarón.

8. RECOMENDACIONES

La elaboración de la harina de camarón va a variar dependiendo de las características propias de los subproductos de camarón disponibles, por lo que se recomienda que, si es posible, se realice una caracterización previa de la materia prima, a parte de la especie de camarón, como lo es: proporción de exoesqueletos, cabezas y camarones enteros, la zona de captura en el caso de que sea de origen marino, fecha de captura, edad del camarón (si es cultivado), fecha de procesamiento, etc. Lo anterior con el objetivo de facilitar llevar a cabo los ajustes necesarios en la maquinaria utilizada para un proceso de manufactura eficiente y así obtener una harina de camarón de calidad; esto también permitiría elaborar y distinguir diferentes tipos de harinas de camarón si en el futuro se comercializará en gran escala.

Los métodos subjetivos son útiles desde el punto de vista práctico, ya que permiten evaluar variables a nivel de campo y detectar anomalías, sin embargo los resultados obtenidos a partir de estos métodos no pueden utilizarse de manera definitiva, ni para tomar decisiones importantes respecto a la evaluación de una materia prima. En el caso de que las variables medidas con métodos subjetivos empíricos sean de gran interés o importancia, es necesario complementar las mediciones con métodos más precisos como es con el uso de instrumentos, tal y como se realizó con las variables de color de yema, pH y viscosidad en el presente estudio.

En futuros estudios sobre el efecto pigmentante de la harina de camarón, y para complementar lo obtenido en el presente ensayo, se recomienda realizar análisis sobre el contenido de astaxantina de la harina de camarón así como el contenido de xantofilas presentes en la yema de los huevos obtenidos bajo la implementación del pigmentante, esto para generar datos sobre la tasa de deposición de la astaxantina en yema de huevo, ya que los existentes datan de muchos años atrás, además la deposición puede variar dependiendo de factores genéticos propios de la gallina, ambientales, nutricionales y de la especie de camarón del que proviene la harina.

El exoesqueleto de los camarones es rico en quitina, componente que ha sido estudiado por su efecto hipocolesterolémico, ya que este polímero interactúa con los ácidos biliares y/o el colesterol en el lumen del intestino y estimula la excreción fecal de esteroides neutros por interferir con el proceso de absorción (Michihiro *et al.* 1988; citados por Chavarría 1993). Por lo tanto, para futuras investigaciones se recomienda medir el contenido de colesterol de los huevos producidos bajo la implementación de la harina de camarón en la alimentación de gallinas ponedoras.

En futuros estudios que pretendan evaluar el colesterol, se recomienda que la alimentación experimental se realice por más de 5 semanas. Sería interesante encontrar un efecto hipocolesterolémico de la harina de camarón en la yema de huevo, ya que esto aumentaría el valor del huevo como alimento funcional, aparte del efecto de los carotenoides obtenido en el presente estudio. Además, mantener la alimentación de las aves con los diferentes niveles de inclusión de la harina de camarón por un mayor tiempo contribuiría a evaluar de manera más amplia un posible efecto de esta materia prima sobre las variables de índice de conversión y peso del huevo, las cuales mostraron tendencias llamativas con los diferentes tratamientos en el presente estudio.

Es necesario para futuros estudios conocer el perfil de aminoácidos y ácidos grasos de la harina de camarón, ya que los mismos pueden aportar información importante que justifique posibles diferencias encontradas en las mediciones de variables relacionadas con la calidad del huevo, como se dio en este estudio para el caso del peso del huevo. Por otro lado, esta información también se podría complementar con el perfil de aminoácidos y ácidos grasos del huevo de manera que se pueda determinar si el uso de harina de camarón en la alimentación de gallinas ponedoras tiene un efecto sobre dichos perfiles del huevo, ya que se ha visto el efecto de subproductos de origen marino en la alimentación de ponedoras sobre el contenido de Omega 3 (ácido graso esencial que aporta beneficios a la salud) del huevo. Esto podría sumarse a los beneficios que aporta la harina de camarón al huevo como alimento nutracéutico.

En el presente estudio se habló brevemente del efecto económico del uso de la harina de camarón, sin embargo dentro de los objetivos del estudio no estaba contemplado un análisis económico como tal. La información generada por este estudio representa una puerta para futuros estudios que investiguen a profundidad el impacto económico de la implementación de esta materia prima en la alimentación avícola.

A nivel nacional es poco lo que se conoce sobre el procesamiento de los desechos de camarón en harinas que podrían utilizarse en la alimentación animal, por lo cual se debería buscar la forma de motivar a empresas procesadoras de camarón y agrupaciones de acuicultores a investigar e invertir en formas de procesamiento de estos subproductos, tratando de cambiar la imagen de “desechos” que los mismos puedan tener de este material, y por el contrario verlo como una oportunidad dentro de la industria de alimentos para animales e incluso en otras industrias comerciales.

Bajo el panorama actual, en el que el consumidor es cada vez más exigente y se preocupa por su salud, se hace necesaria la investigación de suplementos naturales en la producción animal. Ya que no solamente se trata de ofrecerle al consumidor un alimento nutritivo, sino también que sea beneficioso para su salud, su producción no afecte el medio ambiente y, en el caso de la producción animal, vaya de la mano con el bienestar animal. De esta manera, no solamente el estudio de la harina de camarón es importante, sino también el de otras fuentes de pigmentación natural que tengan la capacidad de sustituir a las artificiales y puedan hacerle frente a las exigencias del consumidor actual.

9. LITERATURA CITADA

- ABANIKANNDA O. T. F., LEIGH A. O. 2012. Chicken age and egg morphometric measures on eggshell thickness. *Archiva Zootechnica* 15(1): 61-68.
- ABURTO A. 2008. Tema: El Huevo. El huevo como aliado de la nutrición y la salud: Resúmenes de las ponencias presentadas en un taller internacional celebrado en ocasión del V Congreso de Avicultura. Hemiciclo "Camilo Cienfuegos". Centro de Convenciones Capitolio Nacional. La Habana. Mayo 22, 2006. *Rev. Cubana Aliment. Nutr.* 18(2): S1-S15.
- ÁLVAREZ J., ROSS E. 2010. La pesca de arrastre en Costa Rica. Editado por Fundación MarViva, impreso por Soluciones Litográficas. San José, Costa Rica.
- ANDERSON D. M., MACISSAC J. L., DANIEL M. A., MACKINNON T. L., BUDGELL K. L. 2008. Evaluating the effects of crab meal, Carophyll Red®, and Carophyll Yellow® in laying hen diets on egg yolk pigmentation and production performance. *Can. J. Anim. Sci.* 88:637-640.
- ANDINO F., CASTILLO Y. 2010. Curso Microbiología de Alimentos: Un enfoque práctico para la inocuidad alimentaria. En línea. Consultado el 22 de septiembre del 2013. Disponible en: <http://avdiaz.files.wordpress.com/2010/02/documento-microbiologia.pdf>
- ANDRADE R. D., CHÁVEZ M. M., NAAR V. 2007. Evaluación de las etapas de cocción y secado en la obtención de harina de cabezas de camarón de cultivo (*Penaeus Sp*). *Dyna.* 74 (153): 181-186.
- ANZALDÚA-MORALES A. 1994. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España. 198 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) 1981. pH of Acidified Foods. In: *Analytical Manual.* 8 th Ed., Ch. 21, Table II. AOAC International.

- ARANGO J. 2013. Calidad externa e interna del huevo. En: Primera Escuela Técnica Internacional Avicol-Hy Line. Bogotá, Colombia - Sede Amevea – Marzo 5, 6 y 7 de 2013. En línea. Consultado el 16 de octubre del 2013. Disponible en: <http://avicol.co/descargas2/CalidadExternalInternaHuevo.pdf>
- ARCE K. 1991. Obtención de un éster de bixina para ser usado en la pigmentación de la yema de huevo. Proyecto de Graduación para Lic. en Tecnología Alimentos, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- ARO S. O., TEWE O. O., ALETOR V. A. 2009. Potentials of Siam weed (*Chromolaena odorata*) leaf meal as egg yolk colourant for laying hens. *Livestock Research for Rural Development* 21 (10).
- ARTHUR J. A. 1991. Producción de huevos: La Hy-Line Brown en el mercado mundial. *Selecciones Avícolas* 33(5): 298-302.
- AVICOL 2012a. Ponedoras Hy-Line. En línea. Consultado el 22 de septiembre del 2013. Disponible en: <http://avicol.co/contenido/productos/reproductoras-hyline>
- AVICOL 2012b. Boletín Técnico Hy-Line. W. Mena (ed). En-línea. Consultado el 22 de septiembre del 2013. Disponible en: [http://avicol.co/descargas2/Boletin Tecnico HyLine.pdf](http://avicol.co/descargas2/BoletinTecnicoHyLine.pdf)
- BAIAO N. C., MÉNDEZ J., MATEOS J., GARCÍA M., MATEOS G. G. 1999. Pigmenting efficacy of several oxycarotenoids on egg yolk. *J. Appl. Poultry Res.* 8: 472-479.
- BADUI S. 1990. Química de los alimentos. 2da ed. Editorial Alhambra Mexicana. México D.F.
- BARQUERO M. 2007. Costa Rica busca mercado para camarón rechazado en Unión Europea. En línea. En *La Nación* del 12 de abril del 2007, Costa Rica. Consultado en septiembre del 2013. Disponible en: http://www.nacion.com/economia/Costa-Rica-rechazado-Union-Europea_0_896710420.html

- BARRIENTOS Z. 2003. Zoología general. Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED). San José, Costa Rica. 528 p.
- BLANCO P. 2008. Costa Rica con alto potencial para cultivo de camarón orgánico. Crisol 213: 3.
- BRENES C. A. 2012. Huevos de pastoreo ganan mercado. En línea. En El Financiero del 2 de septiembre del 2012, Costa Rica. Consultado en julio del 2013. Disponible en: http://www.elfinancierocr.com/negocios/Huevos-pastoreo-ganan-mercado_0_145785433.html
- CARMONA L. 2004. Evaluación técnica del proceso de extracción y cuantificación de diferentes compuestos (pigmentos carotenoides; proteínas; quitina/ quitosano; D-glucosamina) a partir del cefalotórax de camarón. Trabajo final de graduación para obtener el grado de Licenciatura en Química, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- CARRANCO M. E. 2002. Inclusión de harina de cabezas de camarón (*Panaeus sp.*) en raciones para gallinas ponedoras y su efecto sobre la concentración de pigmento rojo de yema y calidad del huevo. Tesis de maestría en ciencias en el área de biotecnología, Universidad de Colima, Tecomán, Colima, México.
- CARRANCO M. E., CALVO M., PÉREZ-GIL F. 2011a. Carotenoides y su función antioxidante: Revisión. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 61 (3): 233-241.
- CARRANCO M. E., CALVO C. C., CARRILLO D. S., RAMÍREZ C. R., MORALES B. E., SANGINÉS G. L., FUENTE M. B., ÁVILA G. E., PÉREZ-GIL R. F. 2011b. Harina de crustáceos en raciones de gallinas ponedoras. Efecto en las variables productivas y evaluación sensorial de huevos almacenados en diferentes condiciones. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 45(2): 171-175.

- CASSUS G., CORNEJO S. 2006. Huevos Nutraceuticos: en la búsqueda del "Súper Huevo". Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile TecnoVet, 12(2): 19-23.
- CASTRO A. C., PEÑA M. 2009. Conocimientos opciones y prácticas respecto al huevo de gallina en familias y personal de salud de dos comunidades una urbana y una rural, del área metropolitana de Costa Rica 2007-2008. Tesis de Licenciatura en Nutrición Humana, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- CHAVARRÍA A. 1993. Efecto de la Harina de Cefalotórax de Camarón sobre la Pigmentación en la yema de huevo y contenido de colesterol en carne de pollo y huevos. Tesis de Lic. en Tecnología de Alimentos, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- CHÁVEZ D. R., LÓPEZ M. G., CORNEJO F. 2010. Factibilidad técnica para el aprovechamiento integral del camarón de la especie *Penaeus vannamei*. Artículo de Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador. En línea. Consultado el 19 de septiembre del 2013. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/8840>
- CIVERA R., VILLAREAL H., GOYTORTÚA E., ROCHA S., VEGA F., NOLASCO H., PASTÉN J., CAMARILLO T. 1996. Uso de la langostilla (*Pleuroncodes planipes*) como fuente de proteína en dietas experimentales para camarón. En: Memorias del Tercer Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Capítulo V. Fuentes alternativas de proteína. Avances en Nutrición Acuícola III. 325-348 pp. 11-13 de noviembre. UAN. Monterrey, Nuevo León, México.
- CODONY R. 2002. Composición y valor nutritivo del huevo. En: Lecciones sobre el huevo. Capítulo 12. Editado por Instituto de Estudios del Huevo, Madrid, España. pp 155-164.

- CUEVAS B., DÍAZ G., MOLINA A., RETAMAL C. 2003. Pigmentos utilizados en raciones de gallinas ponedoras. Biblioteca Virtual Universal. En línea. Consultado en junio del 2012. Disponible en: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/8911.pdf>
- DECRETO EJECUTIVO N° 16899-MAG. 1983. Reglamento para el Control de la Elaboración y Expendio de Alimentos para Animales. Costa Rica.
- DE LA FUENTE S. 2011. Análisis conglomerados. Facultad Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad Autónoma de Madrid (UAM). En línea. Consultado en agosto del 2013. Disponible en: <http://www.fuenterrebollo.com/Economicas/ECONOMETRIA/SEGMENTACION/CONGLOMERADOS/conglomerados.pdf>
- DELGADO-VARGAS F., JIMÉNEZ A. R., PAREDES-LÓPEZ O. 2000. Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains – Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 40(3):173–289.
- DE MELO N., FREIRE M. D. F., RODRIGUES E., SILVEIRA F., FERREIRA R., CASTRO R. 2007. Semente residual do urucum na alimentação de poedeiras comerciais: desempenho e características dos ovos. *Acta Sci. Anim. Sci.* 29(2):129-133.
- ELSON H. A. 2009. Sistemas de alojamiento para gallinas ponedoras en Europa: desarrollo actual y resultados técnicos. En línea. XLVI Symposium Científico de Avicultura. Zaragoza, España. Consultado en mayo 2012. Disponible en: http://www.wpsa-aeca.es/aeca_imgs_docs/alojamiento_ponedoras_europa_arnold_elson_46_symp_aeca_texto.pdf.
- ENGBERG R. M., ABOUSEKKEN M. S., HAMMERSHØJ M., JENSEN B. B. 2006. – Fermented feed for organic layers. In: EPC 2006-12th European Poultry Conference, Verona, Italia. World's Poultry Science Association (WPSA). (Septiembre 10-14).

- FAO. 1989. Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados – Manual de capacitación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Brasilia, Brasil.
- FASSET G., COOMBES S. 2011. Astaxanthin: A potential therapeutic agent in cardiovascular disease. *Mar Drugs* 9(3): 447-465.
- FERNÁNDEZ DE PINEDO I. 2007. Construcción de una escala de actitudes tipo Likert. En línea. Consultado el 7 de junio del 2007. Disponible en: http://www.mtas.es/insh/ntp/ntp_015.htm
- GALOBART J., SALA R., RINCÓN-CARRUYO X., MANZANILLA E. G., VILÁ B., GASA J. 2004. Egg Yolk Color as Affected by Saponification of Different Natural Pigmenting Sources. *J. Appl. Poult. Res.* 13: 328–334.
- GERNAT A. G. 2001. The Effect of Using Different Levels of Shrimp Meal in Laying Hen Diets. *Poultry Science* 80: 633–636.
- GILLET R. 2010. Estudio mundial sobre las pesquerías del camarón. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia.
- GLATZ P., PYM R. 2012. Alojamiento y manejo de las aves de corral en los países en desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)-Revisión del Desarrollo Avícola. En línea. Consultado en agosto del 2013. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/016/al734s/al734s00.pdf>
- GOMÉZ J., VALERO J. A. 2006. El huevo. *Aviornis Internacional*, 87: 40-45.
- GONZÁLEZ I. 2012. Alimentos enriquecidos. En línea. Consultado en agosto del 2013. Disponible en: <http://www.gonzalezdearriba.com/2012/02/alimentos-enriquecidos.html>

- GREENFIELD H., SOUTHGATE D. A. T. 2006. Examen de los métodos de análisis. In: Datos de composición de alimentos- obtención, gestión y utilización, 2 ed. B.A. Burlingame y U.R. Charrondiere (eds). FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), Roma, Italia. pp. 107-123.
- GROENEWALD T. 2006. Espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR)-La técnica de análisis rápidos del futuro. Animal Feed Manufactures Association, USA. En línea. Consultado el 27 de noviembre del 2012. Disponible en: http://www.engormix.com/espectroscopia_infrarrojo_cercano_nir_s_articulos_577_BAL.htm
- GUEVARA R. 1954. Análisis de una harina de desechos de camarón para alimentación de animales y su utilidad como abono. Tesis de grado, Escuela de Farmacia, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- GUÍA DE MANEJO COMERCIAL. 2009-2011. Hy-Line variedad Brown. Hy-Line International, Iowa, U.S. A.
- HERRERA C., BOLAÑOS N., LUTZ G. 2008. Química de alimentos: Manual de laboratorio. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 156 p.
- HUNTERLAB. 2008. CIE L* C* h color scale. Applications note. 8(11): 1-4.
- INCOPESCA (Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura). 2013. Información de exportación por presentación. Exportaciones de productos pesqueros de Costa Rica por periodos. En línea. Consultado el 13 de agosto del 2013. Disponible en: <http://www.incopescas.go.cr/mercado/exportacion.html>
- INSTITUTO DE ESTUDIOS DEL HUEVO. 2003. El libro del huevo. 2ª Edición. Editado por Instituto de Estudios del Huevo. Impresión: Artes Gráficas G3, S.A. Madrid, España. 115 p.

- INSTITUTO DE ESTUDIOS DEL HUEVO. 2007. Manejo del huevo y los ovoproductos en la cocina. Editado por Instituto de Estudios del Huevo. Madrid, España. 64 p. En línea. Consultado el 5 de agosto del 2013. Disponible en: http://www.inprovo.com/images/archivos/manual_manejo_del_huevo_y_ovoproductosn_en_la_cocina_13125246.pdf
- ISA-HENDRIX GENETICS COMPANY. 2009-10. Isa Brown-Guía de Manejo de la Nutrición de Ponedoras Comerciales. Institut de Sélection Animale B.V. Villa de Körver. The Netherlands.
- ITZA M. F., ORTIZ J., JANACUA H., OLGUIEN H. A., QUINTERO J. A., RODRÍGUEZ C. A., MARTÍN U. 2011. Notas científicas: Características de crecimiento de pollitas de postura en relación al tipo de alojamiento. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília. 46 (7): 768-771.
- JARA P. A. 2011. Estudio Comparativo de la calidad, propiedades biológicas y físicas del huevo de 6 especies de aves domésticas (gallinas, codorniz, pato, pavo, ganso y paloma) y sus alternativas de industrialización. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. En línea. Consultado el 23 de septiembre del 2003. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/913/1/27T059.pdf>
- JONES J. E. 2002. Extracción, separación, identificación y cuantificación de los pigmentos carotenoides del exoesqueleto de diferentes especies de camarón del litoral pacífico de Costa Rica. Tesis sometida a la consideración del programa de Estudios de Posgrado en Química para optar al grado de Magister Scientiae, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- JORDÁN G. 2013. Las oportunidades para las empresas de Chile en los alimentos funcionales y nutracéuticos. Informe técnico de alimentos procesados. ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias). En línea. Consultado en agosto del 2013. Disponible en: <http://www.agrimundo.cl/wp-content/uploads/Informe-Experto-con-formato-final-con-Indice-DEFINITIVO.pdf>

- KARUNAJEEWA H. 1984. Factores influyentes en la pigmentación de la yema de huevo. *World's Poul. Sci. Jour.* 40(1): 52-65.
- KEMPS B. J., BAMELIS F.R., MERTENS K., DECUYPERE E. M., DE BAERDEMAEKER J. G., DE KETELAERE B. 2010. The assessment of viscosity measurements on the albumen of consumption eggs as an indicator for freshness. *Poultry Science* 89: 2699-2703.
- LEY 8436. 2005. Ley de Pesca y Acuicultura. Publicada el 25 de abril del 2005, La Gaceta N° 78. República de Costa Rica.
- LOKAEWMANEE K., MOMPANUON S., KHUMPEERAWAT P., YAMAUCHI K. 2009. Effects of Dietary Mulberry Leaves (*Morus alba L.*) on Egg Yolk Color. *J. Poult. Sci.* 46: 112-115.
- MACDOUGALL D. B. 2002. Colour in food - Improving quality. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. Boca Raton, USA. Chapter 3: 40-43.
- MADRIGAL-CARBALLO S., SIBAJA M., MOYA M. 2003. Valoración del recurso de camarón Langostino (*Pleuroncodes planipes*) como fuente de materia prima para la obtención de quitosano. En: Resúmenes Ampliados X Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar: Las ciencias del mar a favor del desarrollo de las comunidades. 22-26 de Setiembre del 2003, San José, Costa Rica.
- MASSON L. 1994. Criterio de calidad para materias grasas utilizadas frecuentemente en la nutrición animal y de peces. En: Control de calidad de insumos y dietas acuícolas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), México, D. F.
- MATA L. 2011. Tabla de Composición de Materias Primas usadas en Alimentos para Animales. Sección de Impresión del SIEDIN, San José, Costa Rica. 132 p.

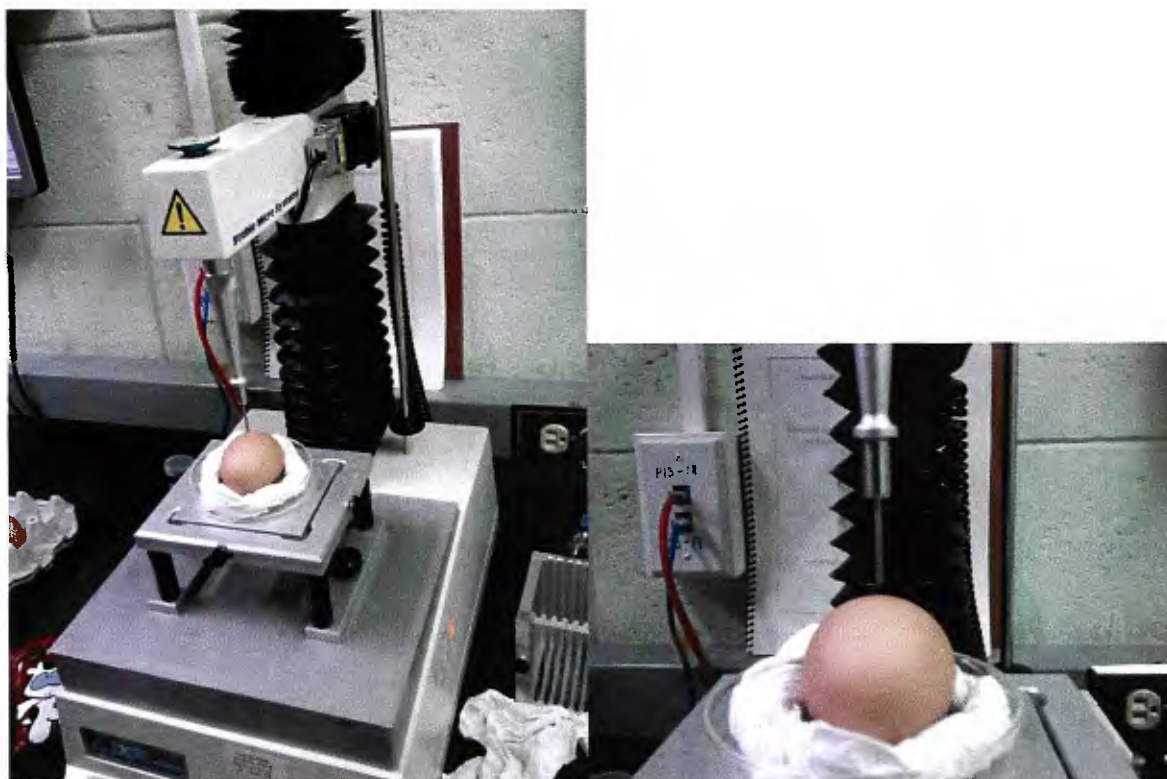
- MELÉNDEZ A., VICARIO I., HEREDIA F. 2004. Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *ALAN* 54 (2): 149-155.
- MELLO J. L. M., BORBA H., COSTA T. I. R., DOURADO R. C., BERTON M. P., SOUZA P. A. 2011. Efecto del sistema de producción sobre la calidad del huevo comercial fresco, de cascarón marrón. XXII Latin American Poultry Congress 2011.
- MIKI V. 1991. Biological functions and activities of animal carotenoids. *Pure Appl. Chem.* 63 (1): 141-146.
- MIN B., NAM K. C., JO C., AHN D. U. 2012. Irradiation of shell egg on the physicochemical and functional properties of liquid egg white. *Poultry Science* 91: 2649–2657.
- MONGE R. 2001. Estrategia para incrementar el consumo del huevo comercial en Costa Rica. Proyecto final de graduación presentado como requisito parcial para optar por el grado de Magíster en Administración de Negocios, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- MORENO E. 2010. Industria del camarón: su responsabilidad en la desaparición de los manglares y la contaminación acuática. *REDVET (Revista Electrónica de Veterinaria)*. 11(05). En línea. Consultado en agosto del 2013. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050510/051015.pdf>
- MORENO J. L. 1978. Sustitución de la harina de pescado por harina de cáscara de camarón en la alimentación de pollos de engorde. Tesis para optar por el título de Ing. Agrónomo, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 62p.
- NAVARRO A., BENÍTEZ H. 1995. El dominio del aire. Fondo de Cultura Económica, México D.F., México.
- NAVARRO M. G. 2000. Estudio de factores de calidad de huevos en ponedoras Isa Brown y Shaver Cross sometidas a diferentes dosis de Esparteína y alcaloides

- totales del lupino. Tesis presentada para optar por el grado de Licenciado en Medicina Veterinaria, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- ONG A.S.H., TEE E.S. 1992. Natural Sources of carotenoids from plants and oils. *Meth. Enzymol* 213: 142-167.
- OSGANIAN S. K., STAMPFER M. J., RIMM E., SPIEGELMAN D., MANSON J. E., WILLET W. C. 2003. Dietary carotenoids and risk of coronary artery disease in women. *American Journal of Clinical Nutrition*. 77: 1390-1399.
- OTÁROLA J. 2008. Formulación de Dietas de Pollos de Engorde con y sin Harinas de Origen Animal con Aminoácidos Totales y Digestibles Medidos por NIRS. Tesis presentada para optar por el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciatura con énfasis en Zootecnia. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- PEÑA M., CASTRO A. C., MARTÍNEZ T. 2011. Conocimientos, opiniones y prácticas respecto al huevo de gallina en familias de comunidades urbana-rural, Costa Rica. *Rev Costarr Salud Pública* 20(1): 32-39.
- PERIAGO M. J. 2012. Práctica: Higiene, inspección y control de huevos de consumo. Universidad de Murcia, España. En línea. Consultado en junio del 2012. Disponible en: <http://ocw.um.es/cc.-de-la-salud/higiene-inspeccion-y-control-alimentario-1/practicas-1/protocolos-control-de-calidad-huevos.pdf>
- PESADO F. A., CASTAÑEDA M., ESCORCIA M., MERINO R. 2006. Unidad 7: Zootecnia de Aves. En: *Introducción a la Zootecnia*. M. E. Trujillo (ed). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 514 p.
- REGLAMENTO No. 18547-MEIC. 1988. Modelo Precios Costo y Venta de Huevos. Decretado por El Presidente de la Republica y el Ministro de Economía, Industria y Comercio de Costa Rica.

- REGLAMENTO TÉCNICO RTCR 397:2006 Huevos Frescos o Refrigerados de Gallina para consumo humano N° 33115. República de Costa Rica.
- ROMERO C. 2007. Introducción a la nutrigenómica. Revista Complutense de Ciencias Veterinarias-RCCV. 1 (2): 22-29.
- SANCHO J., BOTA E., DE CASTRO J.J. 1999. Introducción al análisis sensorial de los alimentos. Edicions Universitat de Barcelona. Barcelona, España. 108 p.
- SEPSA (Secretaria Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2009. Sinopsis de la agrocadena de avicultura. En línea. Consultado en agosto del 2013. Disponible en: www.infoagro.go.cr/Agronegocios/Documents/sinopsis_avicultura.xls
- TELIS-ROMERO J., THOMAZ C. E. P., BERNARDI M., TELIS V.R.N., GABAS A. L. 2006. Rheological properties and fluid dynamics of egg yolk. *Journal of Food Engineering* 74: 191–197.
- TORRES F. 2012. Control de acidez y oxidación en aceites y harinas de subproductos de origen animal. En línea. Consultado en agosto del 2013. Disponible en: <http://www.engormix.com/MA-balanceados/formulacion/articulos/control-acidez-oxidacion-aceites-t4258/800-p0.htm>
- VACA L. 2003. Producción Avícola. Editorial Universidad Estatal a Distancia (EUNED), San José, Costa Rica. 260p.
- VERCESE F., GARCIA E.A., SARTORI J.R., SILVA A., FAITARONE A.B.G., BERTO D.A., MOLINO A., PELÍCIA K. 2012. Performance and Egg Quality of Japanese Quails Submitted to Cyclic Heat Stress. *Brazilian Journal of Poultry Science* 14(1):37-41.
- ZEIDLER G. 2002. Shell egg quality and preservation. In: *Commercial Chicken Meat and Egg Production*. 5th ed. Bell D.D., Weaver W. D. (eds). Springer Publishers, New York, USA. pp. 1199-1217.

10. ANEXOS

ANEXO 1. Fotografías de texturómetro TA.XT Plus- Texture Analyser en funcionamiento.



ANEXO 2. Fotografía de colorímetro HunterLab modelo ColorFlex.



ANEXO 3. Medición instrumental de viscosidad de yema y clara. **a)** Viscosímetro marca Cole-Parmer, modelo 98936-10/15. **b)** Viscosímetro marca Brookfield, modelo RVT.



ANEXO 6. Encuesta aplicada para conocer la percepción de la función de calidad del huevo en una muestra poblacional.

Nombre _____ **Género** _____ **Edad** _____

1. ¿Con qué frecuencia compra usted huevos y en qué cantidad?

2. ¿Dónde compra usualmente huevos?

3. ¿Cuál es su definición de un huevo de calidad?

4. ¿Qué opina usted del huevo como alimento?

5. ¿Compraría usted huevos ligeramente más pequeños, si estos presentan mejor color de yema?

ANEXO 7. Resumen del modelo de costos de producción de huevos. Reglamento No. 18547-MEIC (1988).

RESUMEN COSTO DE PRODUCCION DE HUEVOS SEGUN VALUACION DEL MODELO

No. cuadro	Detalle	Costo kg absoluto porcentual
2	PONEDORA	
3	RECUPERACION SUMA	
4	EMPAQUE	
6	MANO DE OBRA	
7	CARGAS SOCIALES	
8	ALIMENTACION	
9	ELECTRICIDAD	
10	PROGRAMA VETERINARIO	
11	SUMINISTROS	
13	DEPRECIACION	
13	MANTENIMIENTO	
12	GASTOS DE ADMINISTRACION	
	COSTO	
15%	UTILIDAD DEL PRODUCTOR (granja)	
	PRECIO GRANJA A DISTRIBUIDOR	
7%-	UTILIDAD DEL DISTRIBUIDOR	
	PRECIO DISTRIBUIDOR A DETALLISTA	
12%-	UTILIDAD DEL DETALLISTA	
	PRECIO DETALLISTA A CONSUMIDOR	
	PRECIO VIGENTE	
	VARIACION: Absoluta porcentual	