



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

PLUMAS Y SU POTENCIAL COMO INDICADOR DE BIENESTAR ANIMAL EN AVES DE PRODUCCIÓN

(REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA)

TESIS Y EXAMEN PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE MÉDICA VETERINARIA
ZOOTECNISTA

PRESENTA:

STEFANNY ALEXANDRA MORENO ESPÍRITU

ASESORA: DRA. ELEIN HERNÁNDEZ TRUJILLO

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

U.N.A.M.
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de tesis.**

Plumas y su potencial como indicador de bienestar animal en aves de producción.

Que presenta la pasante: **Stefanny Alexandra Moreno Espíritu**
Con número de cuenta: 313172234 para obtener el título de: **Médica Veterinaria Zootecnista**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO.**

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 13 de mayo de 2022.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Patricia Mora Medina	
VOCAL	Dra. Esperanza García López	
SECRETARIO	Dra. Elein Hernández Trujillo	
1er. SUPLENTE	M. en C. Celso López López	
2do. SUPLENTE	Dra. Norhan Cortés Fernández de Arcipreste	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional

DEDICATORIAS:

A mis padres que me apoyaron de todas las maneras posibles y me dieron su aliento para conseguir mis objetivos, son el mejor ejemplo de esfuerzo y superación, agradezco de todo corazón ser su hija.

A mi “Abue” y mi “Conchita” que, aunque ya no se encuentran conmigo, fueron fuente de mucho cariño, y seguirán siendo pilares de mi vida. Sé que sus enseñanzas las llevaré siempre.

AGRADECIMIENTOS:

A mi asesora de Tesis la doctora Elein Hernández Trujillo, por su orientación y paciencia durante la realización de este escrito, gracias por confiar en mí para su realización, sus enseñanzas fueron inspiración para lograrlo.

A mi pareja, por todo tu apoyo, agradezco que nos tuviéramos uno al otro para acompañarnos durante realización de nuestros proyectos.

A todos aquellos que de alguna forma aportaron a este proyecto e hicieron posible su realización.

Al financiamiento del proyecto PAPIIT IA207421 “Evaluación del uso de enriquecimiento ambiental y microbiota intestinal y su efecto en diferentes densidades animales en pavos de engorda”.

CONTENIDO

1.-Objetivo general:	I
2.-Objetivos particulares.....	I
3.- Justificación	I
4.- Metodología	I
PLUMAS Y SU POTENCIAL COMO INDICADOR DE BIENESTAR ANIMAL EN AVES DE PRODUCCIÓN	3
I. Importancia del plumaje en aves comerciales	3
A. Descripción anatómica de la pluma.	6
B. Crecimiento y desarrollo del plumaje.	10
C. Diferencia entre aves comerciales: reproductores, aves de engorde y postura.	16
D. Comparación anatómica del plumaje entre aves comerciales y fauna.	19
II. Relación del plumaje con el bienestar y salud animal en aves comerciales	22
A. Indicadores de bienestar animal.	24
B. Problemas de bienestar animal asociados al plumaje	26
i. Etología de las aves comerciales	28
C. Problemas de salud asociado al plumaje	31
i. Externas (ambiente y manejo).....	31
ii. Internas (infecciosas y genéticas).....	33
iii. Multifactoriales.....	41
III. Aplicabilidad de la evaluación del plumaje como indicador de salud y bienestar en aves de producción	44
A. Evaluación de calidad del plumaje.	48
i. Aplicación de la evaluación del plumaje en la práctica diaria y en la investigación.....	50
ii. Limitaciones.....	56
B. Evaluación de termografica del plumaje.	58
i. Aplicación práctica y de investigación.....	60
ii. Limitaciones	64
C. Evaluación de metabolitos (corticosterona) en plumas.	66
i. Aplicación práctica y de investigación.....	69

ii. Limitaciones.....	71
Futuros pasos de la evaluación del plumaje.....	73
Conclusiones	73
ANEXO 1. Propuesta de protocolo para evaluación del plumaje a partir de termografía infrarroja.	75
ANEXO 2. Propuesta de protocolo para detección de corticosterona en plumas para aves de producción.	77
Referencias	78

TABLAS Y FIGURAS

Figura 1. Partes de la pluma	9
Figura 2. Línea del tiempo del desarrollo del plumaje basado en Fisher, 2018 y Nonis & Gous, 2016.	15
Figura 3. Comparación del plumaje entre aves comerciales y fauna silvestre.	20
Figura 4. Círculos del bienestar animal según Fraser, 2008.	22
Figura 5. Partes del cuerpo del ave que se puntúan (WelfareQuality®, 2009).	51
Figura 6. Criterios para evaluación limpieza de plumas (WelfareQuality®, 2009).	53
Figura 7. Tabla de registro del protocolo Welfare Quality, 2009.	54
Figura 8. Propuesta para sistema de evaluación de bienestar animal de pavos en base a criterios de calidad y limpieza del plumaje basado en Beaulac & Schwan-Lardner, 2018.	55
Figura 9. Imágenes infrarrojas representativas de gallinas ponedoras en las categorías de puntuación de plumaje (FS) FS1 a FS4 (Cook <i>et al.</i> , 2006).	63
Figura 10. A. IRT avestruz. (créditos Ezequiel Sánchez). B. IRT. gallina ponedora desde la vista dorsal con la región del lomo y la rabadilla extraído de Pichová <i>et al.</i> , 2017.	65
Figura 11. Diagrama de flujo para extracción de corticosterona basado en Bartels <i>et al.</i> , 2021; Bortolotti <i>et al.</i> , 2008; Carbajal <i>et al.</i> , 2014; Davidson <i>et al.</i> , 2019; Häffelin <i>et al.</i> , 2020; Leishman <i>et al.</i> , 2018; Romero & Fairhurst, 2016.	69
Figura 12. Un ejemplo de cobertura de plumas en cabeza de gallinas por imagen infrarroja extraído de Zhao <i>et al.</i> , 2013.	76

Tabla 1. Tabla comparativa de pollo y gallina reproductores y productores en relación al plumaje.	18
Tabla 2. Diagnóstico diferencial de enfermedades de la piel localizadas.	34
Tabla 3. Diagnóstico diferencial de desórdenes de piel y subcutáneos.	35
Tabla 4. Diagnóstico diferencial de nódulos, foliculitis y palidez de piel.	38
Tabla 5. Principios y criterios que son la base de la evaluación.	46
Tabla 6. Comparativa de los métodos utilizados para la captura de IRT.	62
Tabla 7. Comparación de los procedimientos usados para la determinación de corticosterona en plumas.	70

1.-Objetivo general:

Realizar una revisión bibliográfica sobre el plumaje de las aves comerciales y su relación con la salud y el bienestar animal.

2.-Objetivos particulares

- I. Reconocer la importancia del plumaje como indicador de bienestar animal
- II. Describir los problemas de bienestar y salud animal asociados al plumaje en aves de producción
- III. Describir el uso práctico del plumaje como indicador de bienestar animal a partir de la evaluación de la calidad, la termografía del plumaje y metabolitos presentes.

3.- Justificación

Como parte de la creciente preocupación por parte de la sociedad y comunidad científica por el bienestar animal en la producción se ha vuelto necesario evaluarlo de manera constante y objetiva, de manera que se busca utilizar herramientas adecuadas y prácticas para monitorear las aves de producción, por lo que el propósito de esta revisión será detallar el panorama que engloba el plumaje como indicador de bienestar y salud animal en aves de producción y definir su uso práctico con base a diferentes evaluaciones de éste.

4.- Metodología

Búsqueda en bases de datos, con acceso libre para la Universidad Nacional Autónoma de México, como son ELSEVIER, Wiley, Science Direct, Scopus y CABI, para consultar revistas científicas especializadas en aves de producción, salud animal y bienestar animal como:

- ▶ Animal Production Science,
- ▶ British Poultry Science
- ▶ Behalf of Poultry Science Association Inc
- ▶ Advances in Poultry Welfare

- ▶ Avian biology research
- ▶ Rev Inv Vet Perú.
- ▶ Rev Colomb Cienc Pecu
- ▶ World's Poultry Science Journal
- ▶ Journal of Applied Animal Research

Además de protocolos de bienestar animal como Welfare Quality y libros actuales sobre avicultura y bienestar animal para recopilar información principalmente de los últimos 15 años y con ello describir el uso práctico del plumaje como indicador de bienestar animal.

PLUMAS Y SU POTENCIAL COMO INDICADOR DE BIENESTAR ANIMAL EN AVES DE PRODUCCIÓN

I. Importancia del plumaje en aves comerciales

Las plumas son algunas de las características más distintiva de las aves. Las plumas son importantes para la conservación del calor, la exhibición sexual, en la protección contra los desafíos externos y las lesiones físicas (Noubandiguim *et al.*, 2021; Xie *et al.*, 2020).

Al igual que el pelo en los mamíferos, las plumas suponen un gran avance evolutivo respecto a las escamas de los reptiles, ya que permiten un perfecto aislamiento térmico, manteniendo una gran flexibilidad y un mínimo peso, además de proteger a las aves de la radiación solar y del agua (Senar, 2004).

El plumaje de las aves proporciona un amortiguador térmico crítico entre el animal y su entorno. Las plumas sirven para retardar el flujo de calor por radiación y por convección desde la superficie de la piel de un animal hacia el medio ambiente (Wolf & Walsberg, 2000). El ave produce calor constantemente mediante los procesos metabólicos y la actividad física; las aves domésticas son de sangre caliente (homeotérmicos), con capacidad de conservar la temperatura de sus órganos internos de manera bastante uniforme; sin embargo, este mecanismo es homeostático y sólo es eficiente cuando la temperatura ambiental se encuentra dentro de ciertos rangos, por tanto, las aves no pueden adaptarse a las temperaturas extremas, y es importante que se les brinde un ambiente que les permita conservar su equilibrio térmico (Estrada & Márquez, 2005).

La pérdida de calor aumenta con la ausencia de plumas o éstas se encuentran averiadas, las diferencias en el plumaje tendrán efectos medibles en la ingesta de alimento y en la utilización de la energía. Si la ingesta de alimento es controlada cuidadosamente con el fin de cumplir las metas de peso corporal el plumaje será

uno de los muchos factores que influyen los niveles de alimentación, causando así estragos en la producción (Fisher, 2018).

El aislamiento que aporta las plumas es deseable en climas fríos y dificultan la pérdida de calor en condiciones de calor. Sin embargo, las plumas no se distribuyen uniformemente en el ave. La abundancia y calidad de plumas puede verse afectada por factores como el genotipo, la edad, el sexo, la nutrición y el sistema de producción (Noubandiguim *et al.*, 2021).

Una escasa cobertura de plumas dispersa más energía al medio ambiente, que su contraparte con una adecuada cobertura de plumas que actúa como aislamiento térmico, la escasez de plumaje provoca que la energía proporcionada por el alimento sea desviada a aumentar la producción de calor para mantener el equilibrio térmico corporal, lo que resulta en menor aprovechamiento de energía para su uso en la producción (Zhao *et al.*, 2013). Sin embargo, en situaciones de alta temperatura ambiental, un plumaje deficiente puede minimizar la elevación de la temperatura corporal y mejorar la termorregulación (Noubandiguim *et al.*, 2021).

En la producción comercial, a menudo existe preocupación por la cantidad y o la calidad del plumaje tanto en los pollos de engorde como en las ponedoras (Leeson & Walsh, 2004a). Un buen plumaje además de que juega papel fundamental, en el caso de los pollos de engorda, la preocupación es la adecuación de la cubierta protectora de plumas un plumaje deficiente afecta negativamente el aspecto del animal vivo y la calidad de la canal, lo que reduce las ganancias e influye directamente en la producción avícola (Xie *et al.*, 2020).

Una adecuada cobertura de plumaje se considera crucial en la producción moderna de pollos de engorde debido a las demandas de altos estándares de calidad de la canal. Un plumaje deficiente aumenta el castigo o la degradación de las canales de aves de corral en el momento de la matanza, lo que reduce las ganancias. Además, en los pollos de engorde, la disminución del crecimiento de las plumas puede provocar el picaje de plumas y, posteriormente, el canibalismo (Xie *et al.*, 2020). Por lo que a medida que la edad para el abasto de los pollos de engorde continúa en

declive, la "madurez" de la cubierta de plumas se vuelve aún más importante para la protección de la piel y el tejido subyacente (Leeson & Walsh, 2004a).

En las ponedoras la importancia del plumaje suele recaer en el grado de emplume necesario para optimizar la eficiencia alimenticia (Leeson & Walsh, 2004a). Cuando el organismo necesita producir energía para compensar el frío, ocurrirán pérdidas en la producción, disminución de la tasa de crecimiento y activación de la musculatura esquelética para la producción de calor vinculada a los procesos vitales. En un ambiente frío, las aves aumentan su catabolismo por la mayor demanda de energía exigida para mantener su homeotermia, por lo cual tienden a incrementar el consumo de la ración (Bonilla *et al.*, 2020)

El mantenimiento de un buen plumaje en las gallinas reproductoras de engorde es importante para la producción económica y el bienestar animal. Un aspecto de particular importancia es el efecto que la pérdida de plumas en el dorso de las hembras tiene en la actividad de apareo. Los impactos en la piel que pueden causarse durante el apareo hacen que las aves se muestren reacias a la actividad sexual, dando como resultado una reducción de la fertilidad y del desempeño reproductivo. La pérdida de plumas incrementa la pérdida de temperatura y representa un aumento en el requerimiento energético metabólico del ave (Fisher, 2018).

A. Descripción anatómica de la pluma.

Las plumas se definen como formaciones epidérmicas desprovistas de células vivas, fuertemente queratinizadas y mineralizadas (Gil, 2007), que cuentan con ramificaciones jerárquicas que representan una transformación topológica de múltiples capas de láminas de queratinocitos (Yu *et al.*, 2011).

Las plumas se forman en los folículos (Yu *et al.*, 2011) los cuales son una invaginación tubular o un hoyuelo en la epidermis con una capa extremadamente delgada que delimita una cavidad en cuyo interior se desarrolla y posteriormente queda fijada la pluma (Gil, 2007; López Albors *et al.*, 1999).

El folículo se encuentra rodeado por una capa de epidermis germinativa que se fusiona con la piel. Los músculos de la pluma se insertan en la capa externa del folículo. En la parte interna del hoyuelo yacen tres capas germinales que darán origen a la vaina, raquis y púas, y más adelante al cálamo o cañón de la pluma en crecimiento. Las células nuevas se forman en el collar epidérmico, o anillo de tejido proliferativo, situado justo por encima de la papila dérmica, en el fondo del folículo. La papila dérmica forma la pulpa de la pluma ubicada en el centro del cilindro en desarrollo. La pulpa contiene tanto vasos sanguíneos como nervios (Gil, 2007).

La complejidad estructural de las plumas determina una nomenclatura anatómica amplia y, en cierto modo, controversial. Los términos empleados en diferentes textos de anatomía veterinaria para denominar las diferentes partes de la pluma muestran una heterogeneidad lo que contribuye a generar cierta confusión en su uso cotidiano, dicha heterogeneidad puede ser explicada, en parte, porque muchos de los vocablos latinos para designar cada una de las partes y tipos de plumas se prestan a una traducción múltiple (López Albors *et al.*, 1999).

La base del eje que se incrusta en el folículo es un tejido epitelial sólido y nunca está pigmentado, independientemente del color del plumaje. Una pulpa vascularizada llena el eje en la pluma inmadura, pero ésta se reabsorbe desde la punta hacia abajo a medida que la pluma madura. La reabsorción de la pulpa es

discontinua y cada fase de la actividad termina en una cápsula pulpar. En la pluma adulta, éstas pueden verse a través del eje no pigmentado (Leeson & Walsh, 2004a).

Las partes principales de una pluma típica son dos y se muestran en la Figura 1:

1.- El eje **(1)**, tallo de la pluma, mástil de la pluma o escapo de la pluma es una estructura central en forma de mástil, longitudinal, ligeramente más ancho que grueso, dividido en dos segmentos:

- Cálamo o cañón **(3)**: porción corta y tubular del tallo implantada en el folículo de la pluma que a su vez se divide en:
 - Ombligo distal, **(4)** *Umbilicus distalis* (ombligo superior): orificio en la superficie del cálamo, a nivel de la transición entre éste y el raquis. Es la abertura remanente que deja la papila de la pluma en desarrollo, al retraerse desde la parte encapsulada del raquis y estandarte hacia el cálamo
 - Ombligo proximal o *Umbilicus proximalis* **(5)** (ombligo inferior): orificio en el extremo basal del cálamo. Es el remanente de la abertura por la que penetra la papila de la pluma durante su desarrollo

(Leeson & Walsh, 2004a; López Albors *et al.*, 1999; Senar, 2004)

En el eje se puede observar el Casquete pulposo, *Galerus pulposus* (cápsula de la pulpa, capa pulposa) donde cada una de las placas cornificadas que segmentan transversalmente la cavidad del cálamo de una pluma madura. Se pueden observar por transparencia a través de la pared despigmentada del cálamo, siendo más abundantes cuanto más cercanas al ombligo proximal. Se consideran restos de la papila de la pluma en desarrollo, como consecuencia de su retracción (López Albors *et al.*, 1999).

- Raquis de la pluma **(6)**, *Rhachis pennae* (flecha): segmento sólido del tallo, distal al cálamo, topografiado sobre la piel y que presenta proyecciones radiales (barbas) (López Albors *et al.*, 1999).

2.-La veleta, *Vexillum pennae* (figura 1. **(2)**)(estandarte, vano, vexilo) se encuentra en el raquis, constituyen el grueso de la pluma y se extienden a cada lado del eje central, comprende las dos láminas, más o menos flexibles y organizadas, situadas a ambos lados del raquis suele haber un número igual en cada lado de la pluma (Leeson & Walsh, 2004a; López Albors *et al.*, 1999).

Está integrado por barbas **(7)** que son cada una de las proyecciones del raquis. Este término incluye tanto las proyecciones primarias, directamente desprendidas del raquis (Rama, *ramus*), como las ramificaciones secundarias (barbilla, bárbulas **(8)**) (Leeson & Walsh, 2004a; López Albors *et al.*, 1999).

- La barba, rama o *ramus* (cendal) se refiere, exclusivamente, a la parte que se proyecta directamente desde raquis, mientras que la rama de la barbilla, Bárbula rami (bárbula, barbícula, barbicella, radiolo) se refiere exclusivamente a cada una de las proyecciones secundarias del raquis, desprendidas directamente de la rama de la barba, entrelazadas dan a la pluma su forma y rigidez. Estas bárbulas tienen diferentes estructuras según de qué lado de la barba salgan: las que salen en dirección a la punta de la pluma son planas, con unos pequeños ganchitos (barbicelos **(9)**) que miran hacia abajo; las que salen hacia la base de la pluma tienen forma de canal, con unas pequeñas protuberancias donde encajan las bárbulas de la barba contigua (López Albors *et al.*, 1999; Senar, 2004).
- La porción plumífera **(10)** o *Pars plumacea* (porción plumonácea) que es la porción más proximal del estandarte de las plumas de contorno y semiplumas. Las barbillas de la parte plumosa son escasas y sin capacidad de enganche con las de las barbas adyacentes por lo que caracteriza por su aspecto desorganizado o deshilachado (Leeson & Walsh, 2004a; López Albors *et al.*, 1999).

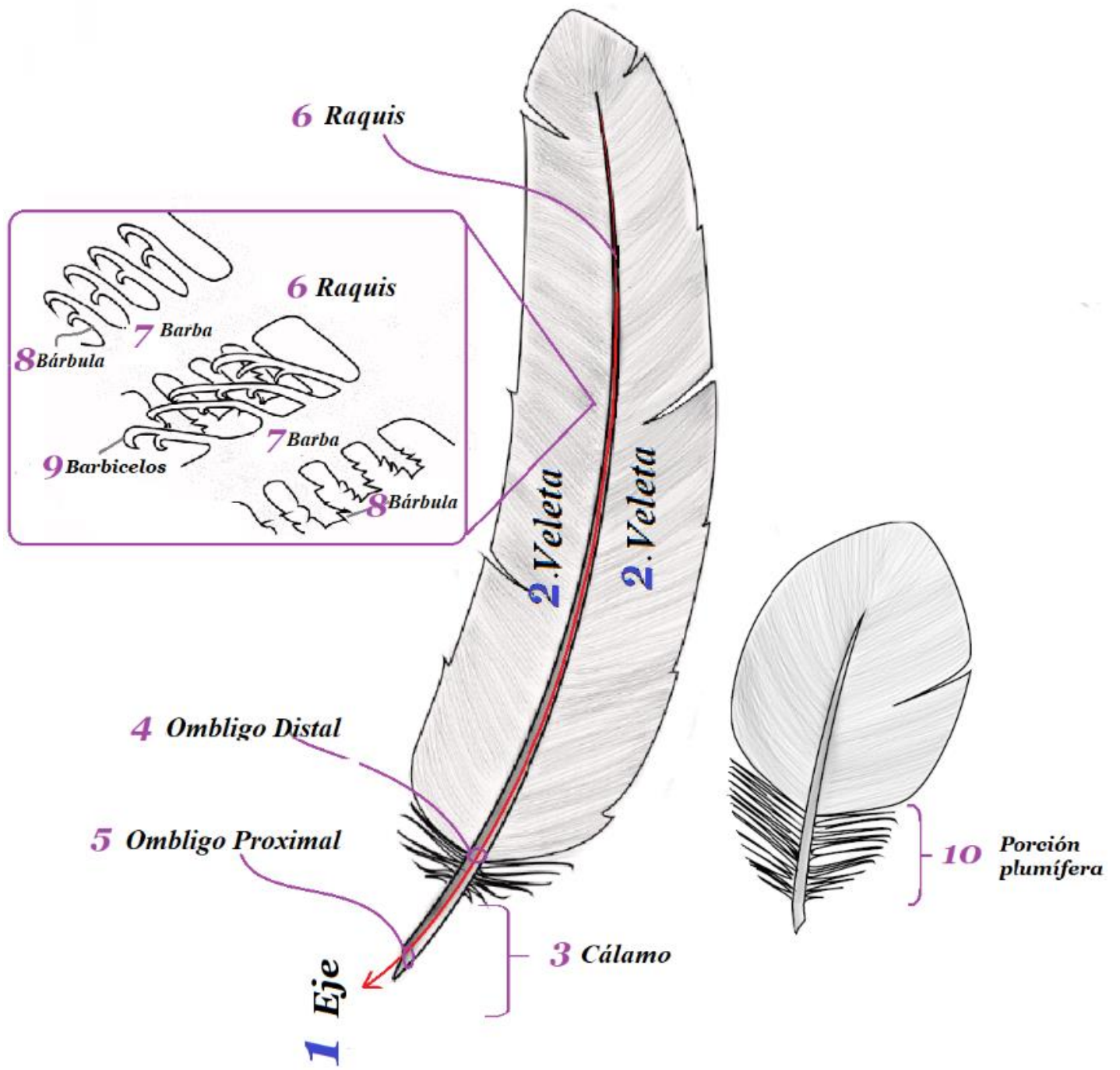


Figura 1. Partes de la pluma

B. Crecimiento y desarrollo del plumaje.

Las plumas son una parte vital y definitoria de la biología de las aves, pero naturalmente se dañan o se desgastan durante la vida de las aves, mantener la calidad y el rendimiento de las plumas tiene un alto costo metabólico en el crecimiento, mantenimiento y reemplazo de las plumas (Leishman *et al.*, 2020).

En pollos entre 6000 y 9000 plumas se encuentran en 20 a 30 áreas de crecimiento definidas, conocidas como tractos de plumas o *pterylae*. Éstas cubren aproximadamente el 75% de la superficie del cuerpo. Las áreas de la piel que no tienen plumas (apteria), se encuentran más notablemente debajo de las alas, en la quilla y en la porción central del pecho. Las plumas especializadas de las alas y la cola terminan de completar el plumaje (Fisher, 2018).

Los folículos de las plumas son estructuras epidérmicas únicas que invaginan en la dermis. Estructuralmente, son similares a los folículos pilosos, pero tienen un origen evolutivo diferente. En comparación con los folículos pilosos, los folículos de las plumas son más complejos; en diferentes tractos pueden generar plumas con diferentes formas, tamaños y colores (Yu *et al.*, 2011).

Aunque las plumas se caen continuamente, incluso durante los períodos sin muda, todos los folículos se forman durante el desarrollo del embrión y, una vez que nacen, el número de folículos es fijo. Tanto el folículo de la pluma como las plumas emergentes se derivan de la epidermis de la piel. Las condiciones de incubación y especialmente el emplumado pueden afectar el desarrollo de las plumas (Leeson & Walsh, 2004a).

Similar al ciclo del cabello en los mamíferos, los folículos de las plumas también pasan por una muda que es el reemplazo periódico de todo o parte del plumaje, ésta es repetitiva a lo largo de la vida de las aves (Gil, 2007; Yu *et al.*, 2011).

Comenzando con el plumón natal al primer día de nacido, las plumas se reemplazan tres veces en que el plumaje del ave, el juvenil y el del adulto reemplazan la generación previa (Gil, 2007).

Todos los polluelos están cubiertos con una densa capa de plumón al momento de la eclosión pues el plumón natal se ha completado y se ha iniciado la primera fase de reemplazo del plumaje. Poco después de la eclosión, la vaina de cada pluma se seca y descama. Las púas de las plumas se extienden, las bárbulas se liberan de las púas y el plumón natal se vuelve esponjoso. Las primeras plumas juveniles que aparecen son generalmente las plumas de las alas y un gen recesivo ligado al sexo influye en su desarrollo (Gil, 2007; Leeson & Walsh, 2004a)

La incorporación de este gen en el genoma permite una simple diferenciación sexual al nacer, aunque la capacidad de distinguir el sexo por la longitud de las plumas del extremo del ala conocidas como primarias se vuelve mucho menos confiable una vez que las crías tienen entre 2 y 4 días de edad (Leeson & Walsh, 2004a).

A pesar de que el patrón de reemplazo dentro de cada tracto es muy ordenado, el momento de iniciación y finalización de la muda dentro de cada tracto varía en las aves y también entre los tractos de plumas. Por lo tanto, a cualquier edad se presentarán más de una generación de plumas en un tracto y la variación dentro del grupo de aves es muy compleja. En resumen, antes de llegar a su madurez, un pollo pierde y desarrolla plumas de manera permanente en algún lugar del cuerpo (Gil, 2007).

Las plumas se pueden regenerar de forma natural (muda) o artificial (desplume). Cuando una pluma se despluma o se pierde accidentalmente, normalmente se generará una nueva a partir del folículo viejo en dos semanas (Yu *et al.*, 2011).

La muda en aves adultas depende de la temporada del año, edad de las aves y condiciones de manejo. El proceso de muda está estrechamente asociado con función reproductiva. Un cambio en las condiciones de manejo puede inducir una muda total o parcial en pollos, patos, gansos, pavos y pintadas. Los factores de estrés también pueden inducir la muda, lo que afecta el ciclo productivo en aves de corral (Fisinin, 2015).

La muda es un proceso biológico complejo con una secuencia ordenada. El cambio de plumaje ocurre bajo la acción de hormonas liberadas por folículos adyacentes como resultado de interacciones alteradas entre las glándulas endocrinas del cuerpo, incluida la pituitaria, glándulas tiroides y sexuales (Fisinin, 2015; Leeson & Walsh, 2004a).

La muda ocurre durante el desarrollo, a medida que el plumaje cambia del plumón natal a la madurez, y también por temporadas. Durante una verdadera muda, el folículo de la pluma entra en un período de crecimiento conocido como anágeno y la pluma nueva en crecimiento “empuja hacia afuera” la pluma existente. Cada muda se denomina según el plumaje entrante, una vez completo inicia una fase de reposo o fase telógena. En todo el mundo avícola el patrón y los tiempos de muda son variables y se encuentran coordinados con las condiciones fisiológicas del organismo. Su regulación es a nivel local y del organismo, la muda es modulada por el medio ambiente (Gil, 2007).

La disminución de la actividad reproductiva es un requisito previo para que se produzca la muda, y la tiroides desempeña un papel en su inicio. Los cambios fisiológicos más predecibles que se observan en las aves ponedoras con muda se asocian a la actividad ovárica y tiroidea. Se observa un antagonismo general entre el eje hipofisario-ovárico y el eje hipofisario-tiroideo que parece ser de crucial importancia para el control de la renovación de las plumas durante el cese inducido de la puesta. La inducción de la muda va acompañada de un aumento de la tiroxina T4 y luego de T3 (Yousaf & Chaudhry, 2008).

El mecanismo de reemplazo de plumas o muda natural se expresa cuando el ovario se vuelve atrésico, lo que resulta en una disminución de la liberación de estrógenos que interrumpe la activación suprimida existente de las papilas de las plumas. La tiroxina / progesterona activa las papilas de las plumas en la formación de una nueva pluma subyacente que finalmente expulsó a su predecesora. El hecho de que las plumas viejas sean expulsadas gradualmente durante la muda sugiere que el control hormonal de la muda está asociado con una estimulación de los folículos de las plumas. En cambio, se acepta generalmente que los estrógenos inhiben la actividad

del folículo de las plumas; los niveles elevados de corticosteroides provocan el cese de la puesta de huevos y la atrofia gonadal (Yousaf & Chaudhry, 2008).

La pluma emergente está unida físicamente a la pluma más vieja y, cuando emerge de la vaina exterior, el vínculo se rompe y la pluma más vieja se desprende. Se puede inducir a los folículos de las plumas a producir una nueva pluma casi en cualquier momento, si se arranca una pluma del folículo (Dawson, 2015; Leeson & Walsh, 2004a).

La muda es un proceso esencial para las aves, pero hay relativamente poca documentación sobre los patrones de muda y el crecimiento de las plumas en las aves de corral domesticadas. Se han documentado patrones de muda de plumas en pollos domésticos, pavos domésticos y pavos salvajes, pero en la literatura más antigua. Mientras tanto, la cría intensiva puede haber influido en estos patrones (Leishman *et al.*, 2020).

En pavos y reproductoras de pollos de engorde, el estado del patrón de muda de las primarias se usa a menudo como una herramienta de manejo para ayudar a evaluar la etapa de madurez cercana. En la mayoría de las aves de corral, las plumas de las alas mudan en secuencia comenzando con las primarias proximales. Las plumas de las alas son las primeras en mudar, seguidas por las plumas del cuerpo y por último las plumas de la cabeza y el cuello (Leeson & Walsh, 2004a).

La primer muda que reemplaza el plumaje embrionario por plumón natal inicia entre los 10-18 días, la siguiente muda hacia el plumaje juvenil generalmente comienza alrededor de las 4-5 semanas, para el pollo de engorde moderno, esta es la única muda significativa, sin embargo para este momento, todavía habrá un plumón natal en la región de la cabeza y quizás algo alrededor del abdomen (Fisher, 2018; Nonis & Gous, 2016).

Con la notable excepción de la codorniz y el faisán, las regiones de la cabeza y el cuello suelen ser las últimas en recibir cada generación sucesiva de plumas en la mayoría de las aves, por lo tanto, una región de la cabeza y el cuello "pobrementemente"

emplumada, en relación con la mayoría de las otras partes del cuerpo, es bastante normal (Leeson & Walsh, 2004a).

La retención de las plumas está bajo el control del sistema nervioso autónomo, cuando las aves están estresadas, pueden perder algunas de sus plumas. Esto a veces se denomina "muda de miedo" "y ocurre muy rápidamente sugiriendo una reacción nerviosa en lugar de una influenciada por un cambio hormonal como ocurriría con la muda natural. La "muda del susto" puede ser una respuesta evolutiva para escapar de los depredadores (Leeson & Walsh, 2004a).

Los patrones de crecimiento, desarrollo y muda de las plumas son características comerciales importantes de las aves de corral. Sin embargo, los criadores y productores han ignorado la importancia del crecimiento y desarrollo de las plumas (Xie et al., 2020). En la Figura 2 se muestra un ejemplo del desarrollo del plumaje en pollos.

Nutricionalmente, el crecimiento de las plumas requiere una considerable inversión en proteínas; es por ello que la dieta juega un papel importante en el mantenimiento de las plumas. Se ha demostrado que las dietas bajas en proteínas reducen el crecimiento de las plumas y tienen el potencial de afectar el patrón de muda (Leishman et al., 2020).

CICLO DE CRECIMIENTO DEL PLUMAJE Y MUDA NATURAL



Figura 2. Línea del tiempo del desarrollo del plumaje basado en Fisher, 2018 y Nonis& Gous, 2016.

C. Diferencia entre aves comerciales: reproductores, aves de engorde y postura.

Los criadores han efectuado una selección de aves basada en características tales como la tasa de crecimiento, el rendimiento de la carne de pechuga, la eficiencia de utilización de los alimentos, la calidad del esqueleto, el funcionamiento del corazón y el pulmón, y la adaptabilidad a distintos entornos (Pym, 2010).

Un ejemplo de adaptabilidad es un método relativamente simple para mejorar la tolerancia al calor en las parvadas comerciales sin tener que desarrollar líneas de selección completa por separado es la incorporación de genes individuales responsables de la densidad del plumaje en las líneas parentales de las parvadas que se utilizarán en las regiones con altas temperaturas (Pym, 2010). Una densidad de plumaje escasa facilita la pérdida de calor corporal, como de menciona (Noubandiguim *et al.*, 2021). Entre los genes que se han demostrado eficaces para conferir tolerancia al calor figuran: cuello desnudo (Na), sin plumas (Sc) y rizado (F). Las líneas comerciales que expresan algunos de estos genes se encuentran hoy en día disponibles en algunos países (Pym, 2010).

Como en todos los tipos de aves, el crecimiento y mantenimiento del plumaje es importante en las reproductoras de engorde. Un aspecto de particular importancia es el efecto que la pérdida de plumas en el dorso de las hembras tiene en la actividad de apareo. Los impactos en la piel que pueden causarse durante el apareo hacen que las aves se muestren reacias a la actividad sexual, dando como resultado una reducción de la fertilidad y del desempeño reproductivo (Fisher, 2018).

En el caso de los pollos de engorde, la preocupación es la adecuación de la cubierta protectora de plumas, mientras que en las ponedoras suele ser el grado de emplume necesario para optimizar la eficiencia alimenticia (Leeson & Walsh, 2004a).

Los machos mudan antes que las hembras. En las gallinas ponedoras con muda forzada, las nuevas plumas de las alas primarias alcanzarán la longitud máxima en aproximadamente 10 semanas después del inicio del programa (Leeson & Walsh, 2004a).

En pavos y reproductoras de pollos de engorde, el estado del patrón de muda de las plumas primarias se usa a menudo como una herramienta de manejo para ayudar a evaluar la etapa de madurez cercana. (Leeson & Walsh, 2004a).

En la avicultura comercial de ponedoras, la inducción de la muda ha sido históricamente una práctica habitual en la producción intensiva, utilizada por los productores con el objetivo de extender su vida productiva, disminuyendo así los costos de reemplazo del lote (Callejo *et al.*, 2012; Molino *et al.*, 2009) .

Los programas convencionales de inducción de la muda implican la retirada total del alimento, lo que plantea interrogantes sobre el bienestar animal y una mayor susceptibilidad a las infecciones. Debido a la incompatibilidad entre el ayuno y el bienestar de las aves, en las últimas décadas se han estudiado varios métodos para inducir la muda (Andreatti Filho *et al.*, 2019; Callejo *et al.*, 2012; Molino *et al.*, 2009).

Pues este proceso resulta en una pérdida significativa de peso, para lograr cambios dinámicos en la morfología y fisiología del sistema reproductivo, interrupción de la producción de huevos durante un período de tiempo, mejoras satisfactorias en la calidad del huevo y producción de huevo maximizada después de la muda (Andreatti Filho *et al.*, 2019).

Tabla 1. Tabla comparativa de pollo y gallina reproductores y productores en relación al plumaje.

	Reproductores	Productoras	
		Engorde	Ponedoras
Objetivo	Producción de huevo fértil *	Producción de Canal*	Producción de huevo*
Tiempo de producción	Periodo de puesta 32-36 semanas por ciclo **	Pollos: 7-9 semanas *	Gallinas: Hasta 100 semanas**
Muda	Indicador de inicio de madurez sexual 18-24 semanas. ***	Pollos: La muda natural a las 4-5 semanas es la más relevante **	*muda forzada posterior a las 60 semanas para iniciar nuevo ciclo de producción ***
Relevancia del plumaje	Plumaje del dorso óptimo para permitir la reproducción. ****	Adecuada cubierta que ayude a afrontar su ambiente ***	Emplume necesario para optimizar la producción ****
Referencia	*(Jinez, n.d.) **(Aviagen, 2018) ***(Nonis & Gous, 2016) ****(Fisher, 2018)	*(Cobb-Vantress Inc., 2009) **(Vargas et al., 2020) ***(Leeson & Walsh, 2004a)	*(Vázquez, n.d.) **(Ortiz, 2004; Vázquez, n.d.) ***(Ortiz, 2004) ****(Leeson & Walsh, 2004a)

D. Comparación anatómica del plumaje entre aves comerciales y fauna.

Las aves tienen una relación evolutiva muy estrecha con los reptiles. Su anatomía única ha ayudado a las aves a adaptarse bien al ambiente. Aun habiendo gran cantidad de distintas especies de aves, su anatomía presenta una gran uniformidad en la estructura en comparación con otros ordenes simples. Sin embargo, entre especies de aves hay diferencias principalmente anatómicas (Shivaprasad, 2013).

Con referencia a la cobertura de plumas, que denominamos plumaje, es el vestido en el que se envuelven las aves, así como el principal componente que determina su imagen. En la vida silvestre es de vital importancia en aspectos reproductivos y de camuflaje (INTA, n.d.; Senar, 2004).

Uno de los mayores atractivos de algunas aves silvestres son su variabilidad y riqueza de colores. En algunas especies, largas plumas en la cola o plumones en la cabeza añaden mayor atractivo y riqueza a sus plumajes (Senar, 2004). En muchas especies, el plumaje es sexualmente dimórfico, y a menudo el macho tiene el plumaje más brillante y llamativo (Dawson, 2015).

Por ejemplo, los machos de pavo real presentan unas colas tan espectaculares, a pesar de las evidentes dificultades que ello conlleva para el vuelo, sin embargo la preferencia de las hembras por aparearse con machos con colas más vistosas y con más ocelos, compensa los costes de vuelo y permite que este carácter se seleccione desde un punto de vista evolutivo (Senar, 2004).

Por otra parte, en la avicultura moderna el color del plumaje es una característica utilizada para distinguir entre razas, estirpes y líneas puras. Por lo tanto, es importante para la seguridad de las razas. Los genes ligados al sexo que afectan al color y a los patrones del plumaje y a la tasa de desarrollo de las plumas son útiles para el sexado de los pollitos de un día (Olori, 2019).



Figura 3. Comparación del plumaje entre aves comerciales y fauna silvestre.

De manera única y crucial el plumaje, también permite que la mayoría de las aves vuelen, al proporcionar superficies que brindan elevación aerodinámica en las alas y la cola (Dawson, 2015).

Debido a esto en las aves migratorias, la muda y la migración tienden a separarse temporalmente. Algunas mudan inmediatamente después de reproducirse en las zonas de reproducción como el zarcero común mientras que otras como los gorriones americanos inician la muda antes de que se inicie el invierno. La programación de la muda es el resultado de una compensación entre tener una alta calidad de pluma durante la reproducción versus durante el período no reproductivo y la disponibilidad comparativa de alimentos en las zonas de reproducción o invernada (Dawson, 2015).

El plumaje en buenas condiciones es esencial para la supervivencia de las aves. Sin embargo, las plumas se desgastan y deben reemplazarse normalmente cada año. Este proceso de muda es una de las etapas clave de la historia de vida de los

ciclos anuales de las aves. Mientras que en la industria avícola, el proceso de muda es inducido y se utiliza para aumentar o renovar la producción de huevos (Dawson, 2015).

En general las aves tanto silvestres como comerciales mantienen la funcionalidad del plumaje al realizan actividades de mantenimiento: se arreglan, se ahuecan, se rascan, se bañan y untan las plumas con aceite procedente de la glándula uropigial, situada en la parte superior del principio de la cola (Senar, 2004).

II Relación del plumaje con el bienestar y salud animal en aves comerciales

Entre las muchas definiciones de bienestar animal destaca la de Broom (2011) que explica que el bienestar de un individuo es su estado respecto a sus intentos de enfrentar el ambiente en que se encuentra, además incluye que es un concepto científico que describe una cualidad potencialmente medible de un animal vivo en un momento determinado. Así mismo se refiere a la salud como al estado de los sistemas del cuerpo, incluyendo los del cerebro, que combaten agentes patógenos, daño tisular o trastornos fisiológicos; definiéndolo como el estado de un animal en relación a sus intentos de enfrentar la patología, anexándolo como un componente del bienestar.

En este sentido (Fraser, 2008) agrupó una variedad de preocupaciones con respecto al bienestar animal en tres grandes títulos: uno se centra en los estados afectivos de los animales, referente a el estado psicológico o mental, otro en la capacidad de los animales para llevar una vida razonablemente natural referente a su entorno, y uno enfatiza la salud básica y marcha. Estos no son, por supuesto, completamente separados o mutuamente excluyentes; de hecho, a menudo van de la mano.



Figura 4. Círculos del bienestar animal según Fraser, 2008.

De tal manera que estos 3 títulos para relacionar su uso como indicadores del bienestar serán explorados a lo largo de este texto, de manera más específica se

describirán las problemáticas del plumaje que se relacionan con esta definición de bienestar animal en el tema II. Relación del plumaje con el bienestar y salud animal en aves comerciales, de tal manera que el estado mental (afectivo) se verá afectado en el apartado **B.i**; la capacidad para tener comportamientos naturales y vivir de acuerdo a su estado natural en el apartado **C.i**; y el estado físico y funcionamiento en apartado **C.ii**; mientras que el apartado **C.iii** tendrá relación con los 3 títulos. Por lo que la evaluación de la salud será solo uno de los indicadores que se usan para la evaluación del bienestar animal.

Las enfermedades de la piel y plumas pueden ser indicativas de diferentes problemas en la granja (virus, bacterias, parásitos, malnutrición, intoxicación, etc.). También puede ser un problema significativo de bienestar animal en la granja, donde las condiciones se acompañan de dolor o problemas de conducta, incluyendo canibalismo. El diagnóstico diferencial de las enfermedades de la piel y las plumas debe considerar el proceso natural que ocurre en ponedoras maduras, al completar el ciclo de postura (pelecha, renovación de plumas viejas por plumas nuevas). Finalmente, las plumas erizadas o palidez de la piel pueden ser vistas en muchas enfermedades y no son específicas (Brugère-Picoux & Vaillancourt, 2015).

El daño de las plumas es un fenómeno en el que las plumas se rompen o se desprenden de la piel de las gallinas ponedoras, es una seria amenaza para las aves de corral, pero no se comenta a menudo, reduce la capacidad de aislamiento térmico de las plumas y esta pérdida inesperada de calor puede causar desperdicio innecesario de alimento y estrés por frío. Además, puede aumentar la incidencia de infecciones cutáneas (Zhu *et al.*, 2021).

Los daños físicos, como las heridas producidas por el canibalismo, la rotura de huesos y las enfermedades, pueden evaluarse fácilmente mediante sistemas de puntuación establecidos y diagnósticos veterinarios, y en general se acepta que estas afecciones perjudican el bienestar de los animales. Mientras que los criterios fisiológicos y etológicos son más difíciles de medir y su relación con el bienestar a menudo no se comprende completamente (Bessei, 2018).

A. Indicadores de bienestar animal.

La evaluación científica del bienestar de las aves de corral se basa, por lo general, en la medición de una serie de indicadores fisiológicos, comportamentales o clínicos y en la comparación de estas mediciones entre aves alojadas o tratadas, de alguna forma, de manera diferente. Existe una amplia serie de indicadores que pueden utilizarse para evaluar la respuesta al estrés y la función inmunológica con el objetivo de medir si el animal consigue adaptarse o no a su entorno (Nicol & Davies, 2006).

Los protocolos de evaluación del bienestar animal proporcionan las bases para la verificación a nivel de granja con el fin de promover y garantizar altos estándares de bienestar animal. Los indicadores clásicos que se han utilizado en la granja para evaluar el bienestar de los animales se pueden dividir en dos grupos principales (i) mediciones basadas en recursos que incluyen, parámetros que describen la influencia del sistema de alojamiento y las prácticas de gestión en el bienestar animal, e (ii) indicadores basados en animales como el comportamiento, la salud y los rasgos fisiológicos (Ferrante *et al.*, 2019).

La evaluación de indicadores basados en animales se considera una evaluación más directa de su estado de bienestar real. Por esta razón, se necesita un protocolo de evaluación validado, confiable y factible para poder evaluar la influencia de factores complejos, a veces cruciales, que pueden tener efectos negativos en el bienestar de las aves de corral. Además, la evaluación del bienestar debe ser práctica para que se pueda aplicar a una amplia variedad de sistemas de producción y, al mismo tiempo, garantizar un cierto estándar requerido para el bienestar animal (Ferrante *et al.*, 2019).

El comportamiento de las aves de corral es un buen indicador del bienestar y el desempeño de algunos comportamientos es importante para el bienestar de las aves de corral (Linares & Martin, 2010).

Sin embargo, existe una gran variabilidad en estas manifestaciones, y es difícil distinguir entre comportamientos normales y anormales o perturbados. Sólo las actividades dañinas, como el picoteo de las plumas y el canibalismo, se aceptan unánimemente como indicadores de malestar (Bessei, 2018).

El estado del plumaje de las gallinas ponedoras se considera un indicador de la salud y el comportamiento de los animales. Puede reflejar deficiencias en la composición del alimento o abrasión debido al equipo de alojamiento (WelfareQuality®, 2009). También actúa como un indicador del picoteo de las plumas y el canibalismo, siendo ambos trastornos del comportamiento causados por diversos desafíos que las aves tuvieron o deben enfrentar (Häffelin *et al.*, 2020)

Para que un plan de evaluación del bienestar que sea aplicado a nivel de campo, los criterios deben tener una clara relación con el bienestar, y deben poder ser registrados de forma fácil e inequívocamente por el asesor (Bessei., 2013).

El esquema más sofisticado para la evaluación del bienestar de pollos de engorde y pavos en la granja ha sido elaborado por el proyecto Welfare Quality. Este esquema se basa en cuatro principios: 'buena alimentación, buen alojamiento, buena salud y comportamiento apropiado' Este protocolo comprende criterios ambientales y basados en animales. Todos los criterios se agregan en una puntuación de bienestar, que se utiliza para evaluar el estado de bienestar entre las granjas y los sistemas de producción (Bessei, 2018).

Se puede obtener una descripción general significativa del bienestar de las parvadas aplicando escalas de puntuación simples. La evaluación del bienestar en el matadero puede funcionar, cuando se obtienen informes de bienestar insatisfactorios, como una señal de alerta temprana para adoptar procedimientos con el fin de mejorar el bienestar de las aves en las granjas (Saraiva *et al.*, 2016).

B. Problemas de bienestar animal asociados al plumaje

La evaluación del bienestar de las aves de corral se produce en la confluencia de varias disciplinas como la etología, la ética, la genética, la ciencia avícola y la medicina veterinaria. La evaluación adecuada del comportamiento y el bienestar de las aves de corral requiere un enfoque interdisciplinario e integrador. Las evaluaciones de comportamiento son beneficiosas durante las evaluaciones de rutina de la parvada o cuando se realizan auditorías de bienestar de las aves de corral (Linares & Martin, 2010).

Sin embargo, se cree que la principal razón del daño de las plumas es el picoteo de las plumas, que se puede suponer que causa o indica una reducción del bienestar tanto en la víctima como en el perpetrador. Arrancar las plumas es doloroso y las gallinas con plumas ya dañadas son más susceptibles a más picotazos e incluso al canibalismo. También se sabe que el picoteo de las plumas está asociado con el estrés. Además, la pérdida de plumaje aumenta la pérdida de calor lo que aumenta las necesidades energéticas y el consumo de alimento (Campe *et al.*, 2018).

Como tal, el picoteo severo de las plumas es un problema de bienestar serio en la industria del cultivo de huevos en todo el mundo. El picoteo de las plumas también puede causar desventajas económicas ya que el daño a las plumas reduce el poder aislante del plumaje, disminuyendo la tasa de conversión alimenticia de la parvada (Tahamtani *et al.*, 2016).

Aunque la condición del plumaje está fuertemente correlacionada con el comportamiento del picoteo de las plumas, las plumas faltantes o dañadas no son necesariamente el resultado exclusivo del picoteo de las plumas. La abrasión debida a diferentes partes del medio ambiente también puede provocar desgaste, daño de las plumas, pérdida de plumas y un aumento del picoteo de las plumas. Sin embargo, el daño de las plumas que se encuentra en el cuello, la espalda, la cola y

el orificios nasales se puede atribuir con mayor seguridad al picoteo (*Heerkens et al.*, 2012).

Al perder una proporción considerable de sus plumas debido al picoteo de las plumas o la abrasión y la muda hay un aumento en la pérdida de calor por convección de aves con poca cobertura de plumas y, por lo tanto, un aumento en la producción de calor, el consumo de alimento y una disminución en la producción de huevos (*Pichová et al.*, 2017).

La limpieza del plumaje es importante para la termorregulación y cuando las plumas están mojadas o sucias por la basura pueden perder sus propiedades protectoras, lo que también tiene efectos negativos sobre el bienestar de las aves (*Saraiva et al.*, 2016).

Fisiológicamente, los desafíos crónicos también pueden afectar la cobertura y la calidad de las plumas. Esto luego afectará la deposición de hormonas y metabolitos en la pluma en crecimiento. Por ejemplo, se cree que la hormona del estrés circulante, la corticosterona, se deposita en las plumas en crecimiento a través de la sangre de una manera dependiente del tiempo (*Harris et al.*, 2016)

Debido a todos los factores mencionados es importante examinar cómo crecen las plumas y cómo se reemplazan para poder hacer inferencias sobre cuándo probablemente se depositó la sustancia de interés y relacionarlo con el patrón de crecimiento de la pluma (por ejemplo, posibles factores estresantes) (*Leishman et al.*, 2020).

i. Etología de las aves comerciales

La comprensión del comportamiento de las aves de corral es una parte integral de la evaluación de su estado de salud. En general, un ave sana producirá mejor que una que esté enferma o estresada. Aunque la investigación histórica sobre el comportamiento de las aves de corral nos ha ayudado a desarrollar prácticas de manejo para maximizar la producción, no podemos evaluar adecuadamente el bienestar utilizando únicamente parámetros de producción (Linares & Martin, 2010).

Los comportamientos de las aves de corral incluyen comportamientos sociales, como los comportamientos de cría, los comportamientos competitivos y la agresión para determinar el orden social; comportamientos individuales, como la cría, la postura, el picoteo, la búsqueda de comida, el rascado del suelo, el acicalamiento, el baño de polvo, la sacudida de la cabeza, el rascado de la cabeza, el erizado de las plumas, la limpieza del pico, el estiramiento de las patas y el batir de las alas; y respuestas de miedo, angustia o frustración, como la huida, el desplazamiento del acicalamiento o el picoteo, el paseo y la agresión. La presencia, ausencia, frecuencia e intensidad de un comportamiento son los parámetros de su evaluación objetiva (Linares & Martin, 2010).

Un ejemplo de cambios en el comportamiento, es que mientras las aves de corral activas y saludables se mantienen de pie con la cabeza relativamente alta, las alas dobladas cerca del cuerpo y las patas extendidas directamente debajo de su cuerpo con comportamientos de acicalado como alisado o limpieza de las plumas con el pico, las aves de corral enfermas tienden a estar en cuclillas con la cabeza pegada al cuerpo, los ojos cerrados, las plumas erizadas y a menudo sucias (Linares & Martin, 2010).

La imposibilidad de desarrollar ciertos comportamientos puede provocar frustración a largo plazo, lo que puede producir a su vez excitación, conductas agresivas o miedo (Nicol & Davies, 2006).

Existe variabilidad en la presencia o ausencia de ciertos comportamientos naturales según la raza, la selección genética y el fin zootécnico. Sin embargo, la selección genética de ciertos rasgos, como la producción de huevos y la disminución de la incubación, puede estar genéticamente relacionada con rasgos menos deseables, como un aumento de los comportamientos agresivos (Linares & Martin, 2010).

Los criterios de comportamiento se utilizan para evaluar las condiciones psicológicas de los animales. Los indicadores de trastornos psicológicos son cambios en el comportamiento normal, la ocurrencia de actividades de desplazamiento (por ejemplo, acicalarse durante el desplazamiento), comportamiento dañino (por ejemplo, picoteo de plumas y canibalismo, agresión, miedo y comportamiento estereotipado). Se supone que las condiciones psíquicas positivas se expresan a través de conductas de confort, como baños de polvo, estiramientos y juegos. Sin embargo, existe una gran variabilidad en estas manifestaciones y es difícil distinguir entre comportamiento normal y anormal o alterado. Solo las actividades dañinas, como el picoteo de plumas y el canibalismo, se aceptan unánimemente como indicadores de mal bienestar (Bessei., 2013).

El comportamiento animal tiene un lugar especial en la evaluación del bienestar animal "debido a su preocupación por la propensión de los animales a la toma de decisiones" , este enfoque hace que el comportamiento animal sea la "única vía para establecer un concepto de bienestar animal significativamente centrado en los animales " y la única forma de contextualizar y dar sentido a los indicadores fisiológicos y de otro tipo que, por sí mismos, "sólo puede proporcionar pruebas equívocas sobre el bienestar" (Nicol *et al.*, 2009).

La evaluación del bienestar de las aves de corral basada en estos comportamientos es difícil porque puede no haber un beneficio o detrimento discernible asociado con tener un sistema de manejo que no apoye la expresión de estos comportamientos (Linares & Martin, 2010).

El comportamiento de las aves de corral es una herramienta útil en la evaluación del bienestar de las aves de corral. Un gran problema en la evaluación del bienestar de las aves de corral a través del comportamiento es su complejidad inherente. El comportamiento de las aves de corral se ve afectado por variables como la especie, la raza, el sexo, la edad, los niveles hormonales, la neurobiología, el estado de salud, el medio ambiente y las prácticas de manejo, como se mencionó previamente. Por lo tanto, la evaluación del bienestar de las aves de corral a través del comportamiento requiere una amplia base de conocimientos o un enfoque interdisciplinario. Además se debe tomar en cuenta que el bienestar de las aves de corral no se puede evaluar solo a través del comportamiento (Linares & Martin, 2010).

C. Problemas de salud asociado al plumaje

i. Externas (ambiente y manejo)

La cobertura de plumas de las aves puede verse influenciada por muchos factores, incluidos los nutricionales. Los efectos directos de los factores dietéticos son los niveles de proteínas / aminoácidos, vitaminas, minerales y micotoxinas. Dado que las plumas contienen entre un 89 y un 97% de proteínas, el suministro de aminoácidos de la dieta juega un papel fundamental en el desarrollo de las plumas. Particularmente en la fase juvenil de pollos de engorde y reproductoras, la ingesta baja de proteína cruda en la dieta puede afectar negativamente la calidad de las plumas. Especialmente los aminoácidos metionina y cistina que contienen azufre están indicados como necesarios para la síntesis de queratina de las plumas. Se ha demostrado que las deficiencias dietéticas de estos aminoácidos dan como resultado un emplumado áspero, como lo indican las plumas del cuerpo que sobresalen del cuerpo, o las plumas de cobertura deformadas en las alas de las aves jóvenes y mayores. Las deficiencias de vitamina E y selenio pueden provocar despigmentación y tallos más cortos de las plumas de las alas, mientras que las deficiencias de otras vitaminas pueden provocar un desarrollo más lento de las plumas y la punta hinchada de las plumas. Las deficiencias de minerales (zinc, estaño, vanadio, cromo, níquel) pueden provocar un retraso en el desarrollo de las plumas, plumas deshilachadas (zinc) y ampollas en los ejes. Además se ha demostrado que las micotoxinas en el alimento causan una capa escasa de plumas y que las plumas sobresalen del cuerpo (Emous & Krimpen, 2019).

Hay evidencia en las reproductoras de pollo de engorde de que una incorrecta alimentación o un mal control del peso corporal puede conllevar a una muda con pérdida parcial o continua después del pico de producción (Gil, 2007).

En cuanto al tipo de sistema, las gallinas criadas en jaulas presentan restricciones al realizar conductas como estirar alas y agitar plumas gracias a la alta densidad en

que se encuentran. Más aún, desde el punto de vista del bienestar animal, se afirma que la expresión de estos movimientos sirve como referencia a la hora de evaluar las instalaciones donde se mantienen a las aves y la falta de estos podría tener las aves en condiciones de estrés. Así mismo implica que no tienen el suficiente espacio para acicalarse con el pico, darse baños de arena, sacudirse y batir alas, comportamientos necesarios para tener un buen plumaje (Peralta *et al.*, 2016).

Aunque el deseo natural de bañarse en el polvo se satisface mejor en los sistemas de aviarios que en los de jaulas, sigue habiendo baños de polvo falsos en presencia de la cama. El simulacro de baño de polvo en los componentes estructurales del sistema de alojamiento, en lugar de en la cama suelta, puede provocar la abrasión de las plumas, lo que ha dado lugar a un peor estado del plumaje, principalmente de las alas y de la parte ventral del cuerpo (Heerkens *et al.*, 2012).

La falta de acceso a la cama en las primeras etapas de la vida puede provocar picoteo de plumas como un comportamiento redirigido. Asimismo, el suministro de hojarasca durante el período de cría aumenta la calidad del plumaje y reduce el picoteo de las plumas y la mortalidad de las aves adultas (Tahamtani *et al.*, 2016).

Es posible que las aves de corral alojadas en un ambiente sucio no puedan mantenerse limpias y tengan un mayor riesgo de contraer enfermedades debido a la oportunidad de que los patógenos se multipliquen en ambientes sucios. La desviación de lo normal podría estar relacionada con una enfermedad (Linares & Martin, 2010).

La cría excesiva de gallinas puede deberse a la agresión del macho o si la gallina tiene signos neurológicos o musculoesqueléticos que se asemejan a una postura receptiva reproductora o lordosis (Linares & Martin, 2010).

Cuando las aves están estresadas, pueden desprenderse de algunas plumas. Esto se denomina a veces "muda de miedo" y se produce muy rápidamente, lo que sugiere una reacción nerviosa más que una influenciada por un cambio hormonal (Leeson & Walsh, 2004a).

II. Internas (infecciosas y genéticas)

Las aves con una infección de las vías respiratorias superiores, incluida la conjuntivitis, producen un exceso de moco. Los comportamientos normales, como limpiarse el pico en los hombros y rascarse la cabeza, se utilizan para mantener limpios los párpados y las fosas nasales. Con el tiempo, el polvo y las partículas de alimento se adherirán al exceso de moco y las plumas pueden enredarse con exudado seco y costroso. Por lo tanto, la apariencia de un collar pardusco a lo largo de los hombros puede ser la primera observación en una parvada con una infección de las vías respiratorias superiores o lesiones faciales. Se podrían hacer observaciones similares en pollos con úlceras corneales y conjuntivitis reactiva debido a niveles excesivos de amoníaco (Linares & Martin, 2010).

La presencia de ácaros rojos se asocia con picoteo de plumas, la incomodidad debida al prurito, la irritación de piel y las heridas ocasionan varias lesiones (pérdida de plumas, costras, escoriaciones,) (Brugère-Picoux & Vaillancourt, 2015). El aumento de la mortalidad por conductas caníbales, anemia, y los ácaros también pueden ser vectores de varias enfermedades de las aves de corral (Heerkens *et al.*, 2012).

Los sistemas de cama alta, como el sistema de aviario, tienen un alto riesgo de infestación con el ectoparásito del ácaro rojo, *Dermanyssus gallinae*; en muchos países europeos esta plaga se ha vuelto endémica. La presencia de ácaros rojos está asociada con el picoteo de las plumas, aumento de la mortalidad por conductas caníbales, anemia, y los ácaros también pueden ser vectores de varias enfermedades de las aves de corral. El entorno complejo de un aviario es más difícil de desinfectar entre rondas, y también proporciona más lugares de refugio para los ácaros rojos en comparación con los sistemas de jaulas (Heerkens *et al.*, 2012)

Muchas patologías de piel afectarán de manera indirecta el aspecto, cobertura y limpieza del plumaje por lo que en las Tablas 2,3 y 4 se muestran ejemplos de enfermedades diferenciales éstas.

Tabla 2. Diagnóstico diferencial de enfermedades de la piel localizadas.

Signos & lesiones	Especies afectada	Principales signos clínicos & lesiones	Etiología
Bursitis de la quilla	Pollo, pavo, entre otros.	Artritis, sinovitis; bursitis de la quilla; signos respiratorios; caída de postura anormalidades en la punta del huevo); tenosinovitis; salpingitis; aerosacuitis	Sinovitis infecciosa (<i>Mycoplasma synoviae</i>)
	Pavo	Reducción en la incubabilidad del huevo; sinusitis; aerosaculitis; crecimiento pobre plumaje "helicóptero"; anormalidades esqueléticas (osteomielitis, osteodistrofia)	Micoplasmosis (<i>Mycoplasma meleagridis</i>)
	Pavo, pollo, entre otros.	Celulitis (exudado serosanguinolento a caseoso, fibrinoheterofilico en tejido subcutáneo); síndrome de cabeza hinchada; otras lesiones de colibacilosis	Celulitis (<i>Escherichia coli</i>)
Otros	Pollo de engorda	Ulceración superficial y costras en la piel de los muslos problema multifactorial; emplume deficiente, sobrepoblación, poca cama	Síndrome de cadera costrosa
	Pato, pavo, pollo, entre otros.	Los signos clínicos pueden variar mucho y las lesiones no son específicas; infección del saco vitelino; muerte súbita, hinchazón de la cabeza diarrea; artritis: etc.	Pseudomoniasis (<i>Pseudomonas spp.</i>)

(Brugère-Picoux & Vaillancourt, 2015)

Tabla 3. Diagnóstico diferencial de desórdenes de piel y subcutáneos.

Signos & lesiones	Especies afectadas	Principales signos clínicos & lesiones	Etiología
Congestión, cianosis, hemorragias, etc.	Pollo, paloma, entre otros.	Muerte súbita con alta mortalidad: lesiones hemorrágicas en tracto intestinal; encefalitis	Enfermedad de Newcastle Paramyxovirus 1 velogénico
	Pavo, pollo, entre otros.	Síndrome de cabeza hinchada, traqueítis, caída de postura hasta 70% pobre calidad de huevo	Metapneumovirus aviar
	Pollo	Pollos de 2-4 semana; hematocrito-27%; despoblación linfoide (timo y bolsa de Fabricio atrofiadas, palidez de médula ósea): hemorragias mortalidad	Anemia infecciosa (Gyrovirus)
	Psitácidos	Muerte súbita; hepatoesplenomegalia; hemorragias (corazón, intestino, hígado)	Infección por Poliomasvirus
	Pollo, pavo, entre otros.	Enfermedad respiratoria crónica; postración calda de postura y mala calidad del huevo: sinusitis: queratoconjuntivitis: aerosaculitis: tenosinovitis; salpingitis	Enfermedad respiratoria crónica (<i>M. gallisepticum</i>)
	Pavo, pollo, entre otros.	Muerte súbita; cresta y barbillas púrpuras o turgentes; diarrea verde amarillenta: mortalidad: septicemia: congestión o hemorragias (petequias): enteritis catarral; esplenomegalia; endocarditis valvular, artritis	Erisipelas (<i>Erysipolothrix rhusiopathiae</i>)
	Pavo, pollo codorniz, pato, entre otros.	Diarrea amarilla azufre: modo de andar anormal; tiflitis; lesiones hepáticas: focos necróticos en escarapela con bordes elevados y depresión central	Histomoniasis (<i>Histomonas meleagridis</i>)
	Aves	Edema subcutáneo gelatinoso negro o negro-azulado	Diatesis exudativa
	Todas	Asfixia, cianosis de faneras, edema pulmonar. hemorragias subcapsulares en hígado	Intoxicación aguda por propano butano

	Aves acuáticas	Diarrea sanguinolenta, morbilidad lata, mortalidad allá conjuntivitis; esofagitis hemorragias diseminadas: caída de postura (25-40%) bazo pequeño	Enteritis viral del pato (Herpes del pato)
Dermatitis viral	Todas	Forma cutánea; lesiones proliferativas nodulares progresando a costras gruesas: forma diferida: lesiones en tracto respiratorio y digestivo superior	Viruela aviar (Avipoxvirus)
	Psitácidos	Aguda: Muerte súbita; inmunodepresión (necrosis bursal aguda): crónica: plumas distróficas, retraso en el crecimiento; inmurtodepresión (necrosis de bolsa)	Enfermedad del pico y las plumas de Psitacidos (Circovirus)
Dermatitis bacteriana	Pavo, pollo, entre otros.	Celulitis (exudado serosanguinolento a caseoso, fibrinoheterofilico en tejido subcutáneo): síndrome de cabeza hinchada; otras lesiones de colibacilosis	Celulitis (<i>Escherichia coli</i>)
	Pollo, pavo, entre otros.	Abscesos localizados: articulaciones, cabeza, oviducto, tracto respiratorio (neumonía, aerosaculitis), oído medio y meninges (torticolis); dermatitis fibrinonecrótica	Cólera aviar crónica (<i>Pasteurella multocida</i>)
	Pollo, pavo	Depresión: cojeras, piel enrojecida y húmeda; celulitis serosanguinolenta o enfisematosa: gas; "cola de burbuja" olor fétido	Dermatitis gangrenosa
	Todas	Emaciación progresiva, palidez; diarreas: cojeras; granulomas: Triada de lesiones "hígado, bazo, intestino", médula ósea, ovario, testículo, corazón, piel, pulmón	Tuberculosis (<i>Mycobacterium avium</i>)
	Polio, pavo, pato	Endocarditis valvular (E. faecium, E. hirse, E. durans, S. gallineous, S. pluranimalium, S. zooepidemicus) encefalomalacia (E. hiraie, E. durans); celulitis (S. dyagalactine). septicemia (E. faecium, S. pluranimali	Enterococcus spp. Streptococcus spp.
	Todas	Muerte súbita, palidez; sinusitis; artritis (amiloide); sinovitis, osteomielitis; dermatitis onfalitis; septicemia, hígado verde, neumonía endocarditis	Staphylococcosis (Staphylococcus aureus)

	Pato, pavo, pollo, etc.	Los signos clínicos pueden variar mucho y las lesiones no son específicas, infección del saco vitelino, muerte súbita; hinchazón de la cabeza, diarrea; artritis, etc	Pseudomoniasis (Pseudomonas spp.)
Dermatitis micótica	Todas	Disnea; mortalidad: nódulos (tráquea, bronquios: pulmones. sacos aéreos); diarrea; retraso en el crecimiento, infección sistémica con otras localizaciones: cerebro, ojo, piel, riñones; etc	Neumonía de las nacedoras (Aspergillus fumigatus)
	Todas	Reducción en el consumo de alimento; lesiones digestivas principalmente en buche (tapizado multifocal de material blanco caseoso)	Candidiasis (Cándida albicans)
	Aves	Invasión superficial de piel sin plumas (cresta. barbillas.) hiperplasia epidemial e hiperqueratosis	Dermatofilosis (Favus) (Microsporum spp.)

(Brugère-Picoux & Vaillancourt, 2015)

Tabla 4. Diagnóstico diferencial de nódulos, foliculitis y palidez de piel.

Signos & lesiones	Especies afectadas	Principales signos clínicos & lesiones	Etiología
Neoplasias	Pollo	Palidez, tumores nodulares o difusos en hígado, bazo, bolsa y otros órganos, tejido esquelético, infección subclínica sin lesiones neoplásicas, caída de postura	Leucosis linfoide (Retrovirus ALV-A)
	Pollo	Leucosis mieloide difusa; palidez, hígado y bazo agrandados, apariencia agranular del hígado; bolsa algunas veces con tumores: infiltración tumoral de médula ósea: leucemia mieloblástica: otros tumores (gónadas, riñón, bolsa)	Leucosis mieloide Mieloblastosis (Retrovirus ALV-J)
	Pollo	Tumores nodulares difusos color blanco-cremosos otros tumores (ovario, riñón, timo, superficie de huesos (esternón, costillas, cráneo)	Mielocitomatosis (Retrovirus ALV-J)
	Pavo, pollo, pato, ganso	Enanismo palidez, desarrollo anormal de plumas, cojera, atrofia de timo y bolsa, nervios periféricos agrandados (marginal) proventriculitis, enteritis, hepatomegalia: esplenomegalia: otros tumores (gónadas, páncreas, riñón, corazón)	Reticuloendoteliosis (Gammaretrovirus)
Abscesos	Pollo, pavo, entre otros.	Abscesos localizados: articulaciones, cabeza, oviducto, tracto respiratorio (neumonía, aerosaculitis,) oído medio y meninges (torticolis); dermatitis fibrinonecrótica	Cólera aviar crónica (<i>Pasteurella multocida</i>)
	Todas	Emaciación progresiva palidez, diarrea; cojeras granulomas; triada de lesiones "hígado bazo, intestino, médula ósea, ovario, testículo, corazón, piel pulmón	Tuberculosis (<i>Mycobacterium avium</i>)

Mala absorción intestinal	Pollo	Pollos pálidos; retraso en el crecimiento; anomalías de emplume ("pollos helicóptero"); fractura de cabeza femoral; diarrea naranja; dilatación de proventrículo	Problemas entéricos (Reovirus)
	Todas	Mala absorción intestinal y anemia	Coccidiosis
	Pollo, pavo	Anemia; diarrea intermitente; pérdida de peso; caída de postura; impactación intestinal	<i>Ascaridia spp.</i>
Anemia	Pavo, tordo	Muerte súbita; deyecciones sanguinolentas; mortalidad de 10-15% (hasta 60%); intestino delgado hinchado, rojo oscuro y lleno de contenido sanguinolento; bazo aumentado de tamaño, moteado; hepatomegalia	Enteritis hemorrágica del pavo (Siadenovirus)
	Pollo	Pollos de 2-4 semanas; hematocrito <27%; despoblación linfóide (timo y bolsa de Fabricio atrofiadas, palidez de médula ósea); hemorragias; mortalidad	Anemia infecciosa (Gyrovirus)
	Pollo	Leucemia, células malignas remanentes dentro de los vasos sanguíneos; eritroblastosis en hígado, bazo, médula ósea; coloración rojo cereza particular de hígado y bazo; otros tumores en riñones, algunas veces hemorragias en músculos	Leucosis eritroide (Retrovirus ALV-J)
	Aves, pavo	Crestas arrugadas y pálidas; caída de postura; regresión nodular de folículos ováricos; hepatitis; salpingitis; ooforitis; focos o nódulos blancos en testículo	Tifoidea aviar (<i>S. Gallinarum-pullorum</i>)
	Todas	Anorexia; fiebre; depresión; cianosis de cabeza; anemia; marcado agrandamiento y moteado de bazo; hepatitis; nefritis; pericarditis	Espiroquetosis (<i>Borrelia anserina</i>)
	Todas	Incremento en la mortalidad; anemia severa; ascitis y falla ventricular derecha	<i>Aegyptianella pullorum</i>
	Todas	Anemia severa; mortalidad; esplenomegalia; nefritis; oclusión de capilares del cerebro; parásitos en los glóbulos rojos	Malaria aviar (<i>Plasmodium spp.</i>)

Pavo, pato, ganso, entre otros.	Anemia; hemorragias; disminución importante del crecimiento; alta tasa de mortalidad; se observan leucocitos parasitados en frotis sanguíneos	Leocitoozoonosis (<i>Leucocytozoon spp.</i>)
Aves	Nerviosismo; picaje; estrés; agresiones; caída de postura; retraso en el desarrollo; anemia; huevos manchados con sangre; mortalidad	Ácaro rojo de las aves (<i>Dermanyssus gallinae</i>)
Todas	Nerviosismo; caída de postura; retraso en el desarrollo; anemia	Ácaro de las aves del Norte (<i>O. sylviarum</i>)
Ponedoras	Obesidad; caída de postura; mortalidad, palidez y muerte súbita (hemorragias); acúmulo grande de grasa en cavidad abdominal e hígado (amarillo friable agrandado)	Síndrome de hígado graso hemorrágico

(Brugère-Picoux & Vaillancourt, 2015)

iii. Multifactoriales

El picoteo de las plumas es un trastorno del comportamiento multifactorial y un problema de bienestar grave en la industria. Se deriva de las interacciones entre el ave, el medio ambiente y las variables de gestión de formas que aún no se comprenden (De Haas *et al.*, 2014; Drake *et al.*, 2010; Tahamtani *et al.*, 2016).

Es una forma de comportamiento dañino en el que las aves picotean, tiran y potencialmente quitan y consumen las plumas de los conoespecíficos, lo que resulta en daños en las plumas (Heerkens *et al.*, 2012; Van Staaveren *et al.*, 2021).

Los factores que se asocian con la aparición más temprana de daños severos en las plumas por picaje incluyen la presencia de alimentadores de cadena, niveles elevados de dióxido de carbono y amoníaco, niveles más altos de sonido y luz, particularmente en aves más jóvenes (Drake *et al.*, 2010).

La falta de sustrato de forrajeo a una edad temprana conlleva un riesgo para el desarrollo de daños en las plumas durante la fase de producción (De Haas *et al.*, 2014).

El traumatismo por picoteo puede resultar en sangre fresca o seca en las plumas, pérdida de plumas, abrasiones y laceraciones. La ubicación del traumatismo cutáneo podría ser indicativa de la causa. Los traumatismos craneales y faciales en los gallos suelen estar asociados con peleas o agresiones masculinas. Las aves de corral a menudo picotean a otras aves que se ven o actúan de manera diferente. Un ejemplo de este comportamiento es el trauma del cuello y la cola en pavos en crecimiento. La pérdida de plumas y el trauma en la nuca y el lomo de las gallinas se asocian con un comportamiento excesivo de apareamiento de los machos. Este tipo de trauma puede ser severo y provocar un aumento de la mortalidad de las gallinas (Linares & Martin, 2010).

Los parches de calvicie resultantes pueden provocar el picoteo de los tejidos, una forma de canibalismo que eventualmente puede conducir a la muerte, Además, la

termorregulación se ve comprometida en las víctimas, lo que puede provocar un malestar crónico (Fijn *et al.*, 2020).

El comportamiento caníbal como el picoteo de los orificios nasales también dañan la piel y el tejido subyacente del otro individuo. Estos comportamientos pueden estar asociados con el estrés, el dolor y el miedo, así como con un aumento de la mortalidad y un mayor consumo de alimento debido a la pérdida de calor (Heerkens *et al.*, 2012).

Aunque los sistemas de aviario brindan más oportunidades para realizar comportamientos naturales en comparación con los sistemas de jaulas, el picoteo de las plumas sigue siendo un problema de bienestar grave, cuando se mantienen en grupos grandes, como en los sistemas de aviario, el picoteo de las plumas es más difícil de controlar, ya que un picoteo de plumas es más difícil de identificar en un grupo más grande que en uno más pequeño y, por lo tanto, puede causar más daño (Heerkens *et al.*, 2012).

De manera indirecta, los aspectos nutricionales también pueden afectar la cobertura de las plumas debido al picoteo de las plumas en los pollos. Existe una fuerte evidencia de que un contenido de proteína cruda (muy) bajo (<13%) de la dieta aumenta el picoteo nocivo en las gallinas ponedoras (Emous & Krimpen, 2019).

Varios factores dietéticos influyen en el comportamiento del picoteo de las plumas, como los niveles de energía, minerales, proteína cruda y niveles de fibra. El cambio a una nueva dieta puede cambiar la palatabilidad de los alimentos, lo que resulta en un aumento o disminución de la ingesta de alimentos y quizás en una mayor competencia por los alimentos (Heerkens *et al.*, 2012).

El comportamiento tiene grandes implicaciones para el bienestar de las aves, la productividad de la granja y la aceptación social de la avicultura. La principal estrategia de control incluye recortar las puntas afiladas superior e inferior de la mandíbula del pico; Sin embargo, esta práctica puede causar dolor a corto y largo

plazo, formación de neuromas, pérdida de la función normal del pico y los consiguientes cambios de comportamiento (Van Staaveren *et al.*, 2021).

Aunque el recorte de pico disminuye drásticamente el daño general del plumaje y la mortalidad debido al canibalismo no elimina este comportamiento, si no que reduce las consecuencias o los efectos de este. Por lo tanto, la práctica está bajo un escrutinio cada vez mayor debido al bienestar animal y las preocupaciones éticas y sociales (Drake *et al.*, 2010; Liebers *et al.*, 2019; Van Staaveren *et al.*, 2021).

III Aplicabilidad de la evaluación del plumaje como indicador de salud y bienestar en aves de producción

La calidad de la cobertura de las plumas, así como el estado de la piel se aceptan generalmente como uno de los indicadores de bienestar animal (Häffelin et al., 2020; Pichová *et al.*, 2017). Las condiciones del plumaje reflejan el estado de salud real de las aves de producción, así como el resultado de su interacción con el entorno del alojamiento y otras aves, por lo que su evaluación abarca los puntos relevantes para el bienestar animal (Pichová *et al.*, 2017)

La evaluación del bienestar debe llevarse a cabo de manera objetiva, sin tener en cuenta las preguntas éticas acerca de los sistemas, prácticas o condiciones para los individuos que están siendo comparados. Una vez que se ha obtenido la evidencia científica sobre el bienestar, se pueden tomar las decisiones éticas (Broom, 2011).

La evaluación de la cobertura de plumas enfocada al bienestar animal utiliza indicadores basado en recursos (instalaciones, condiciones de alojamiento, evaluación de eficiencia de producción) y basados en animales (evaluación física y de salud animal) (WelfareQuality®, 2009; Zhao *et al.*, 2013).

La mayoría de los indicadores ayudará a identificar el estado de los animales siempre que sea en la escala de muy buena a muy pobre. Algunas de las medidas más relevantes para problemas a corto plazo, como las relacionadas con el manejo por parte humanos o un breve período de condiciones físicas adversas, mientras que otras son más apropiadas para problemas a largo plazo. Estas son medidas objetivas del bienestar y es posible evaluar la calidad de vida mediante el uso de tales medidas y no sólo haciendo preguntas subjetivas (Broom, 2011).

La presencia de enfermedades, lesiones, dificultades de movimiento y crecimiento anormal, indican un bienestar pobre. Si dos sistemas de alojamiento son comparados en un experimento cuidadosamente controlado y la incidencia de

cualquiera de las anteriores es significativamente mayor en uno de ellos, el bienestar de los animales es peor en ese sistema (Broom, 2011).

Los científicos especializados en el bienestar animal han evaluado algunos indicadores de bienestar, y los resultados pueden ser utilizados por un verificador que esté comprobando el cumplimiento de la legislación, o un código de prácticas (Broom, 2011).

En el protocolo de Welfare Quality, por ejemplo, se evalúan el daño del plumaje como un indicador de que no hay un comportamiento adecuado, basado en que las plumas de las aves normales deben ser suaves sin signos de disturbio. Todos los ejes de las plumas generalmente apuntan en una dirección resultando en una cubierta protectora y aislante para la piel. Por abrasión contra el alambre, los ejes de las plumas pueden romperse; debido al comportamiento de picoteo las plumas pueden romperse, o incluso arrancarse (WelfareQuality®, 2009) . Aunque el daño del plumaje es una medida indirecta del picoteo de las plumas, es más fácil de evaluar que el comportamiento en sí (Pichová *et al.*, 2017).

Mientras que la limpieza del plumaje se utiliza, como indicador basado en el animal, donde hace referencia a la falta de un buen alojamiento/vivienda pues las aves limpias y sanas gastan mucho tiempo para mantener sus plumas 'acicaladas' y si sus plumas se mojan o manchadas con basura (cama), heces o suciedad, las plumas pueden perder sus propiedades protectoras y una suciedad tan severa con cama o heces puede tener efectos significativos sobre el bienestar de las aves (WelfareQuality®, 2009).

Tabla 5. Principios y criterios que son la base de la evaluación.

Bienestar principios	Bienestar Criterios
Buena alimentación	1 Ausencia de hambre prolongada 2 Ausencia de sed prolongada 3 Comodidad alrededor del descanso
Buena vivienda	4 Confort térmico 5 Facilidad de movimiento 6 Ausencia de lesiones
Buena salud	7 Ausencia de enfermedad 8 Ausencia de dolor inducido por procedimientos de manejo 9 Expresión de comportamientos sociales
Apropiado comportamiento	10 Expresión de otros comportamientos 11 Buena relación humano-animal 12 Estado emocional positivo

(WelfareQuality®, 2009)

El bienestar se mide utilizando una variedad de indicadores fisiológicos, conductuales o clínicos, generalmente comparándolos entre animales alojados o tratados de manera diferente de alguna manera. Pero este enfoque tampoco está exento de problemas. Debido a que no existe un marcador absoluto de bienestar bueno o malo, se argumenta cada vez más que debe medirse una amplia gama de estos indicadores (Nicol *et al.*, 2009).

Por otro lado, animales con pobre bienestar tienden a sufrir inmunodepresión, disminución de la eficiencia productiva y cambios en el comportamiento. Por lo anterior, se puede considerar que diseñar y ejecutar estrategias que incrementen la capacidad de los animales para mitigar los efectos fisiológicos del estrés puede ser importante para mejorar el desempeño productivo. Para ello se requiere evaluar indicadores multimodales que, en conjunto, determinen de manera confiable la severidad del estrés y el cambio en el bienestar (Plazas *et al.*, 2018).

Existen métodos de evaluación de estrés no invasivos que facilitan la repetición de muestreos, puesto que para su colecta no afectan de manera prolongada o permanente las condiciones de vida de las aves. Entre estos métodos se encuentran la medición de parámetros fisiológicos por termografía, la medición de cortisol en pelo y parámetros etológicos. De una manera análoga a la medición de cortisol en pelo de mamíferos, la corticosterona depositada en plumas de las aves es un indicador estable del desafío a estresores que desencadenen actividad del eje hipotálamo hipofisiaria adrenal (Plazas *et al.*, 2018).

A. Evaluación de calidad del plumaje.

Aunque el daño del plumaje es una medida indirecta del comportamiento de picoteo de las plumas, es más fácil de evaluarlo que el comportamiento en sí, la calidad del plumaje puede proporcionar información valiosa sobre el estado de bienestar (Pichová et al., 2017).

La cobertura se ve afectada por varios factores que incluyen densidad de población, material de la jaula, picoteo de plumas, edad, relación alimento-proteína, temperatura, luz y sistema de producción (Cook et al., 2006; Yamak & Sarica, 2012).

Es importante evaluar las partes del plumaje donde ocurre la pérdida de plumas. Las características del diseño de las instalaciones (jaula) podrían afectar el patrón de desgaste de las plumas y, por lo tanto, también deben tenerse en cuenta al observar patrones específicos de pérdida de plumas (Blatchford et al., 2016).

La evaluación de la cobertura de plumas es un factor importante para evaluar el bienestar de las aves y, por extensión, las prácticas de producción favorables al bienestar. Actualmente, el método más utilizado es la puntuación de las plumas, que es una evaluación visual de la cobertura de las plumas en varias ubicaciones anatómicas, seguida de la asignación de una puntuación subjetiva (Cook et al., 2006)

La puntuación de la condición de las plumas es una medida del daño de las plumas, Puede reflejar deficiencias en la composición del alimento o abrasión debido al equipo de alojamiento. Sin embargo que se ha demostrado que está estrechamente relacionada con el comportamiento del picoteo de las plumas en las gallinas alojadas en grupos (Biscarini *et al.*, 2010; Campe *et al.*, 2018).

Con la evaluación de la cobertura de plumas es posible predecir qué bandadas están en riesgo de picaje antes de que se produzcan daños graves en las plumas durante la puesta. Dada la naturaleza multifactorial del picaje y las dificultades para eliminarla por completo, la capacidad de identificar las parvadas “en riesgo” podría

ser valiosa para los productores, ya que podría permitirles enfocar acciones preventivas específicamente en las parvadas de mayor riesgo (Drake *et al.*, 2010).

El grado de acicalamiento y limpieza es relativo al medio ambiente o de la falta de un buen alojamiento. Las aves de corral comerciales suelen tener plumas blancas, lo que facilita la evaluación de la limpieza. La aparición de suciedad en el plumaje como un collar pardusco a lo largo de los hombros puede ser una observación común en parvadas con aves con problemas de salud debido a que limpian el pico en los hombros y rascan la cabeza, para mantener limpios los párpados y las fosas nasales y con el tiempo, el polvo y las partículas de alimento se adhieren al exceso de moco por lo que las plumas pueden enredarse con exudado seco y costroso, lo cual da un aspecto desaliñado y sucio del plumaje (Linares & Martin, 2010).

La medida de las plumas sucias es fácil de evaluar en el matadero y podría ser una ventaja para obtener información sobre las condiciones de vida de las aves. La validez de esta medida utilizada en el matadero de pollos de engorde no ha sido evaluada adecuadamente aunque puede ser un buen indicador de la calidad del manejo y la humedad de la cama (Saraiva *et al.*, 2016).

i. Aplicación de la evaluación del plumaje en la práctica diaria y en la investigación

Para evaluar el estado del plumaje, se han propuesto varios sistemas de puntuación. En la mayoría de los sistemas, las partes del cuerpo separadas se puntúan en función del tipo y la extensión del daño de las plumas. Por lo general, las puntuaciones de las diferentes partes del cuerpo se suman para una puntuación de plumaje corporal total por gallina individual, o se considera la peor puntuación de cualquiera de las partes del cuerpo. El estado promedio de una parvada total puede describirse mediante una puntuación promedio o por el porcentaje de animales con diferentes puntuaciones. Cuando se va a evaluar la gravedad de los problemas de bienestar en general, el uso de una puntuación (o suma) promedio del plumaje de todo el cuerpo puede proporcionar una buena imagen general del estado del plumaje de un ave o una parvada (Campe *et al.*, 2018).

El método de evaluación comúnmente utilizado para la cobertura de plumas asigna una puntuación de 1 a 4 (donde 1 representa la peor cobertura de plumas y 4 la mejor) a cada parte del cuerpo interesada en función de la evaluación visual de la condición de las plumas. (Zhao *et al.*, 2013).

Un ejemplo de esto es Heerkens *et al.*, 2012 donde le otorgaron una puntuación de 1 a 4 a cada parte del cuerpo antes mencionada, en la que la puntuación más alta indicaba la mejor condición de plumaje. Para una puntuación total de plumaje, se sumaron las puntuaciones de las 5 partes individuales del cuerpo, las cuales fueron, cuello, alas, lomo, cola y respiradero, para formar una puntuación no equidistante. Por lo tanto, la puntuación más baja fue 5, lo que representa una condición de plumaje extremadamente pobre, y la puntuación más alta fue 20, que representa una condición de plumaje más o menos perfecta.

En otros casos las puntuaciones de daño de las plumas se recopilaron durante cada visita y se promediaron para obtener una puntuación media de daño de las plumas

para cada región del cuerpo y una puntuación total promedio de las plumas para cada colonia.(Drake *et al.*, 2010)

En el protocolo Welfare Quality para la evaluación de la condición del plumaje las aves (ponedoras y pollos de engorde) se inspeccionan visualmente de forma individual. Se puntúa a cada animal según tres partes individuales del cuerpo. Para cada ave se dan 3 puntuaciones (es decir, 1 para cada parte del cuerpo): siendo la espalda y la grupa juntos, alrededor de la cloaca (vientre) y la cabeza y el cuello juntos como se muestra en la Figura 5 (Welfare Quality®, 2009).

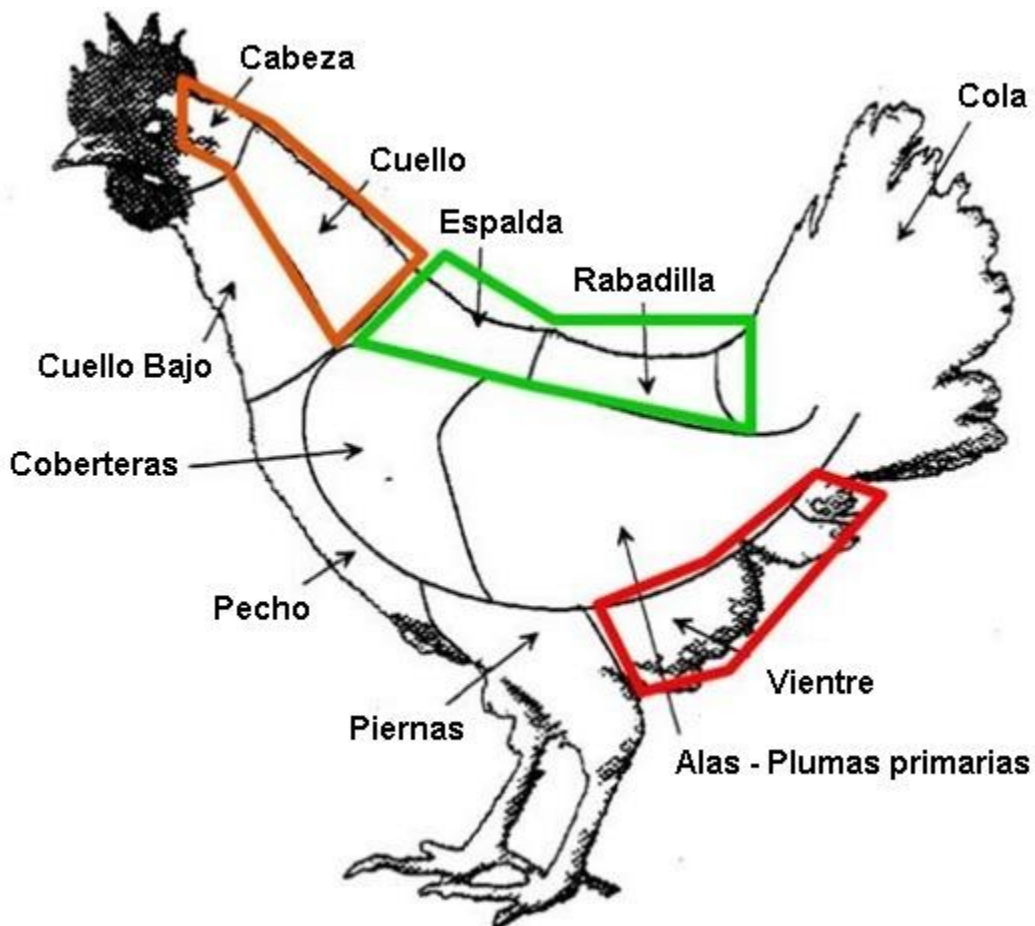


Figura 5. Partes del cuerpo del ave que se puntúan (Welfare Quality®, 2009).

Las 3 partes del cuerpo se eligen para dar información sobre la causa de daños en las plumas: los daños en las plumas de la espalda y la grupa suelen indicar indican un picoteo de las plumas, los daños en las plumas de la cabeza y el cuello pueden ser causados por la abrasión, y los daños en las plumas del vientre pueden verse en animales muy productivos, sin embargo, esto último también puede ser causado por el picoteo de la cloaca (Welfare Quality®, 2009).

Para cada parte del cuerpo se da una puntuación en una escala de 3 puntos que se registran en una tabla (Welfare Quality®, 2009). :

- **Puntuación 1** - sin o con poco desgaste, plumaje (casi) completo (sólo faltan plumas) plumas individuales);
- **Puntuación 2** - desgaste moderado, es decir, plumas dañadas (desgastadas, deformadas) o una o más zonas sin plumas < 5 cm de diámetro en su mayor extensión;
- **Puntuación 3** - al menos una zona sin plumas \geq 5 cm de diámetro en su mayor extensión Para obtener una única puntuación general por ave, las puntuaciones de las 3 partes del cuerpo partes del cuerpo se combinan según la siguiente clasificación.

Para la evaluación a nivel individual se le asigna una puntuación acumulada en base al resultado anterior de las regiones evaluadas (Welfare Quality®, 2009). :

- **Clasificación 0** - Todas las partes del cuerpo tienen la puntuación "a".
- **Clasificación 1** - Una o más partes del cuerpo tienen puntuación "b", pero ninguna parte del cuerpo tiene puntuación 'c'.
- **Clasificación 2** - Una o más partes del cuerpo tienen la puntuación "c".

En el mismo protocolo para evaluar la limpieza del plumaje se camina lentamente por el interior del gallinero y se toma a las aves una a una (10 en el mismo lugar, de 10 lugares diferentes, incluyendo 2 zonas situadas cerca de los bebedores, 2 zonas situadas cerca de los comederos, 3 áreas localizadas cerca de una pared, 3 áreas

ubicadas lejos de bebedores y alimentadores (área de descanso) dando un total de 100 aves.

Se examina la pechuga de las aves y puntúa utilizando una hoja de registro. Si las aves son muy móviles (por ejemplo, en sistemas de libre) puede ser necesario acorrallar a pequeños grupos de aves para capturarlas; se puntúa utilizando la clasificación descrita a continuación con base a la Figura 6

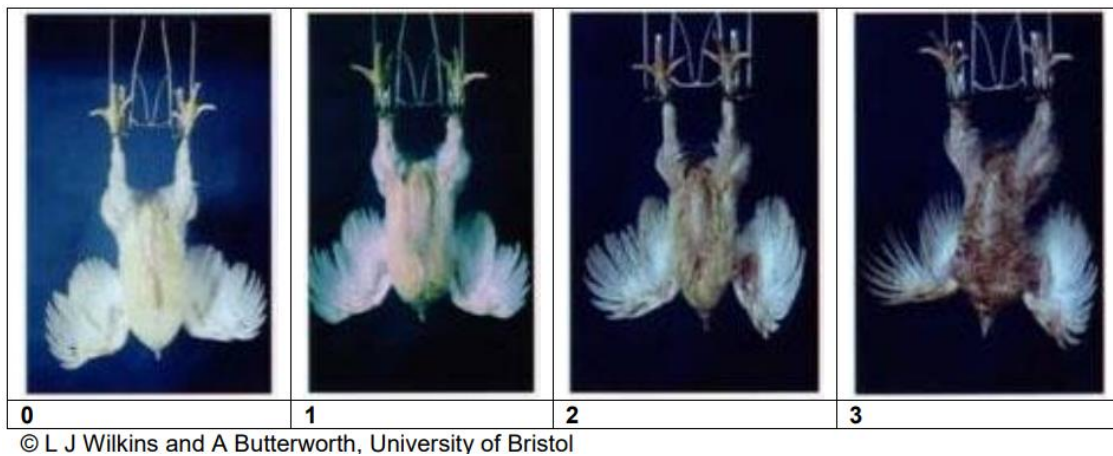


Figura 6. Criterios para evaluación limpieza de plumas (Welfare Quality®, 2009).

6. Limpieza, pododermatitis y quemadura del corvejón

Evaluación: Plumaje de aproximadamente de 10 a 20 aves y anotar limpieza, pododermatitis y quemadura del corvejón

Repita hasta 100 veces. No usar las mismas aves que en la evaluación de paso

Puntuación limpieza (0-3: 0 = Limpio 3 = Sucio)				Puntuación de pododermatitis (0-4: 0 = Ausente 4 = Grave)					Puntuación de la quemadura del corvejón (0-4: 0 = Ausente 4 = Grave)				
0	1	2	3	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4

Figura 7. Tabla de registro del protocolo Welfare Quality, 2009.

Otra forma de evaluar la condición de las plumas reportada recientemente en una investigación científica, es mediante la evaluación de un individuo en cuatro áreas principales del ave (pecho, espalda, alas y cola), en el caso de pavo. Se evalúa el estado de las plumas de las aves utilizando una escala graduada de 1 a 4. Una puntuación de 1 indicó que no había cobertura de plumas, 2 indicó que faltaba más del 50% del plumaje, 3 indicó que faltaba <50% del plumaje y 4 indicó que el ave tenía el plumaje intacto completo. Un observador también puntúa la limpieza general de las plumas, utilizando una escala de 1 a 4 adaptada del sistema de puntuación de pollos de engorde desarrollado. Una puntuación de 1 indica muy limpia (> 75% de las plumas están libres de suciedad), 2 indica moderadamente limpias (50-75% de las plumas están libres de suciedad), 3 indica moderadamente sucias (25-50% de las plumas están libres de suciedad) y 4 indican muy sucias (<25% de las plumas están libres de suciedad) (Beaulac & Schwean-Lardner, 2018).

N° de individuo	Plumaje	Limpieza	Lesiones
	ALAS/DORSO		
	COLA		
	PECHUGA		

Plumaje		Limpieza		Lesiones	
Escala	Criterio	Escala	Criterio	Escala	Criterio
1	sin pumas	A	Muy limpia (más del 75% libre de material fecal y cama)	P	Presencia
2	más del 50% falta por cubrir de plumas	B	Moderadamente limpia (50-70% libre de material fecal y cama)	A	Ausencia
3	menos del 50% falta por cubrir	C	Moderadamente sucia (25-50% libre de material fecal y cama)		
4	plumaje intacto	D	Muy sucia (menos de 25% limpia)		

Figura 8. Propuesta para sistema de evaluación de bienestar animal de pavos en base a criterios de calidad y limpieza del plumaje basado en Beaulac & Schwean-Lardner, 2018

ii. Limitaciones

Este método es fácil de usar, es relativamente subjetivo, semicuantitativo y menos repetible y no refleja el área real de cobertura de plumas. Dos anotadores de la puntuación del plumaje (FS) pueden proporcionar puntuaciones significativamente diferentes para la misma ave a pesar de que ambos observadores han sido entrenados bajo el mismo esquema (Häffelin *et al.*, 2020; Pichová *et al.*, 2017; Zhao *et al.*, 2013).

Además, la puntuación manual requiere mano de obra, requiere mucho tiempo y es necesario manipular las aves para realizar una evaluación exacta (Häffelin *et al.*, 2020).

Promediar o sumar el daño de las plumas de un ave solo conducirá a una puntuación general notablemente menor de esta ave si casi todas sus partes o si una gran mayoría del cuerpo se ve afectada. Al sumar todas las partes del cuerpo en una sola puntuación, resulta imposible detectar las influencias de estos factores. Es posible que la condición de las plumas solo para partes específicas del cuerpo no se refleje en la puntuación de todo el cuerpo. Así mismo, el mismo puntaje promedio puede resultar de una situación en la que todas las partes del cuerpo tienen el mismo puntaje (moderado para todas las partes del cuerpo) o tienen puntajes extremadamente diferentes (puntajes bajos para algunas partes y puntajes altos para otras partes). Además, cuando el propósito de la evaluación es descubrir los factores que aumentan (o disminuyen) el riesgo de ciertos daños en las plumas, una puntuación de todo el cuerpo puede ser engañosa porque ciertos factores de riesgo pueden causar daño solo a ciertas partes del cuerpo (Campe *et al.*, 2018).

Cuando se puntúa todo el cuerpo como un conjunto el resultado es inapropiado, ya que el daño en las plumas en diferentes partes del cuerpo se debe a diferentes razones, por ejemplo, en la espalda y la cola es causada principalmente por el picoteo de las plumas y la en el cuello es causada principalmente por la abrasión del equipo (Zhu *et al.*, 2021).

Al sumar todas las partes del cuerpo en una sola puntuación, resulta imposible detectar las influencias de estos factores. Se puede encontrar una indicación de influencias ambiguas en diferentes partes del cuerpo para la densidad de población, la incidencia de enfermedades y el tamaño de la parvada (Campe *et al.*, 2018).

Las aves de producción en especial las ponedoras tienen mudas completas y parciales durante el período de cría, alrededor de las 10 semanas de edad, por lo tanto, el plumaje que es evaluado durante las visitas a las granjas de producción puede ser nuevo en relación con el plumaje que pudo haber sufrido abrasión durante la crianza. También es posible que las puntuaciones de daño del plumaje que se informan reflejen algún daño por razones variables en el período de producción (Tahamtani *et al.*, 2016).

B. Evaluación de termográfica del plumaje.

Los cambios de temperatura de la superficie corporal dependen del número y la calidad de las plumas en diferentes lugares, que actúan como una capa aislante (Pichová et al., 2017). La pérdida de aislamiento resultante de una cubierta de plumas deficiente se puede medir directamente como pérdida de calor en el espectro infrarrojo y se cuantifica mediante termografía infrarroja (IRT) (Cook et al., 2006).

Ante necesidad continua de desarrollar métodos estandarizados para evaluar el bienestar animal que sean factibles para su uso en la granja, la IRT tiene el potencial de ser un método objetivo, cuantitativo, preciso y repetible de evaluar la cobertura de plumas con ventajas obvias sobre las evaluaciones subjetivas actuales (Cook et al., 2006; Pichová et al., 2017).

La IRT es un método no invasivo para medir la temperatura de la superficie, ya sea a corta distancia o a distancias relativamente grandes, según el objetivo del estudio y el sistema de imágenes térmicas utilizado (Mc Cafferty et al., 2011).

El principio del método IRT es la medición directa de la pérdida de calor en el espectro infrarrojo resultante de una cobertura de plumas deficiente. Las regiones del cuerpo sin plumas reflejaban una temperatura superficial más alta en comparación con las regiones con plumas y las áreas sin plumas respondían más rápido a los cambios en la temperatura del aire (Pichová et al., 2017).

Con IRT, se utiliza una cámara de imágenes infrarrojas para tomar imágenes de aves que almacenan la temperatura de los objetos capturados en los píxeles de imagen correspondientes. Si un ave se aclimata y se representa en un entorno de fondo moderado, la diferencia en la temperatura de la superficie entre las plumas y la piel desnuda se muestra claramente en la imagen IRT y sus áreas se pueden distinguir y determinar fácilmente (Zhao et al., 2013).

Los píxeles de temperatura que representan una excelente cobertura de plumas (EF) se asociaron positivamente con la puntuación del plumaje, mientras que los píxeles que representan la piel desnuda (sin plumas, NF) se asociaron negativamente con la puntuación (Zhao *et al.*, 2013).

La adopción de la tecnología de imágenes térmicas permite la medición confiable de la calidad del plumaje y evita los problemas del método de evaluación visual, como la confiabilidad de los datos obtenidos por diferentes evaluadores. Los datos derivados de IRT proporcionaron una variable continua que refleja con mayor precisión la cobertura de plumas real o áreas de piel desnuda (Pichová *et al.*, 2017).

Además se pueden realizar mediciones cuantitativas de la cobertura de plumas o de la piel desnuda a partir del análisis comparativo de áreas de la imagen dentro de rangos de temperatura específicos (Cook *et al.*, 2006).

i. Aplicación práctica y de investigación

La cobertura de plumas se estima a partir de las imágenes térmicas obtenidas por la cámara de infrarrojos (Pichová *et al.*, 2017)

Se pueden realizar mediciones cuantitativas de la cobertura de plumas o de la piel desnuda a partir del análisis comparativo de áreas de la imagen dentro de rangos de temperatura específicos (Cook *et al.*, 2006).

Cada píxel de una imagen infrarroja tiene una temperatura asociada ($^{\circ}$ C); por tanto, una imagen IRT es efectivamente un mapa de temperatura del objeto. La temperatura radiada responde más a los cambios que la temperatura corporal central y proporciona una medida sensible de las fluctuaciones termorreguladoras que se producen en respuesta a enfermedades y estrés (Cook *et al.*, 2006).

Antes de capturar los datos de temperatura, se debe excluir la información de fondo y la información de temperatura extraña al definir un área de interés utilizando una herramienta de dibujo proporcionada con el software de análisis de imágenes (Cook *et al.*, 2006)

Los investigadores deben tener en cuenta el entorno radiativo, ya que la radiación solar y la radiación infrarroja reflejada influyen fuertemente en la temperatura de la superficie. Para obtener mediciones precisas, se debe conocer la emisividad de la superficie. La mayoría de los pelajes de los animales se consideran emisores de cuerpos negros con emisividades que oscilan entre 0,94 y 1,0 pero el agua y / o la suciedad cambiarán la emisividad del pelaje (Mc Cafferty *et al.*, 2011)

Si se va a utilizar la termografía para registrar patrones térmicos asociados con la pérdida de calor metabólico, los animales deben estar en la sombra / oscuridad o en lugares que no reflejen fuertemente la radiación. La IRT de los animales bajo una intensa luz solar sigue siendo válida, pero el balance radiativo es mucho más

complejo y puede revelar más sobre el patrón de calentamiento de la superficie y las cargas de calor generales que la circulación subyacente (Mc Cafferty *et al.*, 2011).

Las regiones de interés se delimitan a partir de la imagen térmica (correspondientes a las regiones definidas para la evaluación) y los valores de temperatura media de IRT se miden de forma independiente para cada región. Sobre la base de los datos de IRT, se utilizan dos parámetros en análisis adicionales:

ΔT_B : Diferencia de la temperatura superficial medida y la temperatura ambiental (Pichová *et al.*, 2017).

- El ΔT_B representa la diferencia de temperaturas de la superficie de la región corporal y la temperatura ambiente. Se calcula para corregir el efecto de la temperatura ambiente
- El % de área sin plumas se estiman como el número de píxeles con la temperatura por encima de 33,5 ° C del número total de píxeles en cada una de las regiones seleccionadas.

(Pichová *et al.*, 2017)

Tabla 6. Comparativa de los métodos utilizados para la captura de IRT

OBJETIVO	AVE; EDAD; ESTIRPE LÍNEA GENÉTICA	PUNTOS DE REFERENCIA	MODELO DE CÁMARA/ SOFTWARE	PARÁMETRO S DE CÁMARA	AUTOR
Evaluar el uso de IRT para evaluar la cobertura de plumas o la falta de cobertura (áreas de piel desnuda)	Gallinas Brown Leghor de 60 semanas	Aspectos frontal, dorsal y respiradero a 1,5 mientras estaban suspendidas	Modelo: Therma-CAM S60 Software: ThermaCAM Researcher Pro (v2.7)	Emisividad: No específica. Rango de temperatura de 17 a 38 ° C.	(Cook et al., 2006)
Investigar el uso de IRT para evaluar la cobertura de plumas de las gallinas ponedoras en comparación con el método de puntuación de plumas (FS)	Gallinas ponedoras (Aves blancas Lohmann SL); de 28, 56 y 73 semanas de edad	A 0,8 m de las aves desde 5 direcciones diferentes (no específica) para cubrir las áreas de interés	Modelo: FLIR T400, FLIR Systems Inc., Wilsonville, Software: ExamineIR	Emisividad: 0,98 22 ° C tanto para la temperatura aparente reflejada como para la temperatura atmosférica, y el 60% para la HR.	(Zhao et al., 2013)
Validar la evaluación del daño de las plumas en gallinas ponedoras mantenidas en dos sistemas de alojamiento y comparar los resultados con la FS	Gallinas ponedoras Dekalb White con el pico recortado de 16 semanas +4 meses	A 1 m de las aves desde frontal y dorsal, frente a una pared blanca sin reflejos	Modelo: FLIR E5; FLIR System AB, Täby, Suecia Software: FLIR Report Professional	Emisividad: 0,95 ΔT_B : Diferencia de la temperatura superficial medida y la temperatura ambiental	(Pichová et al., 2017)

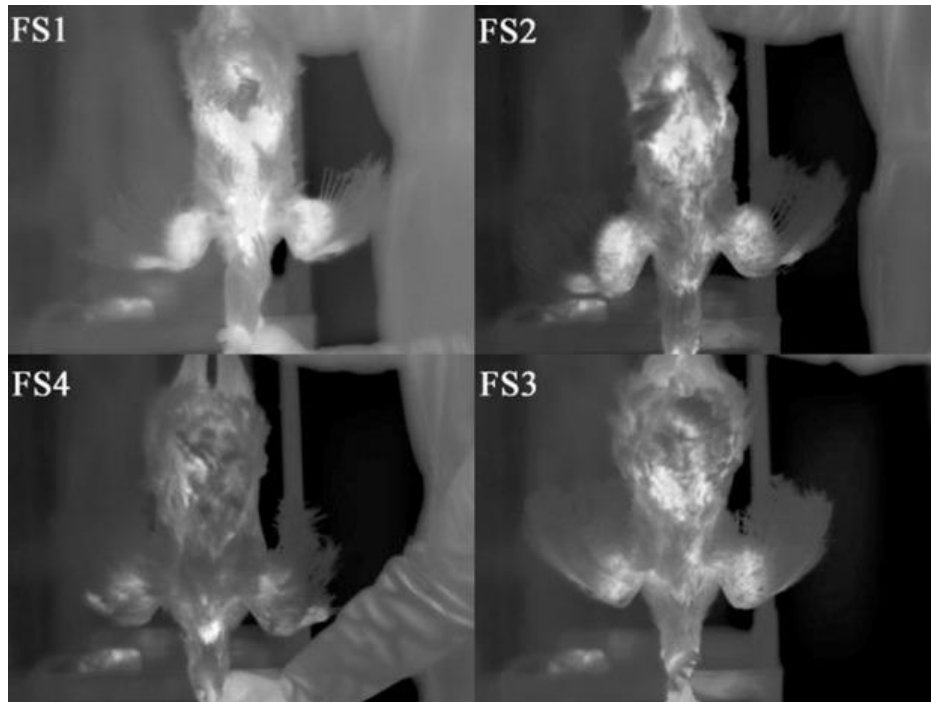


Figura 9. Imágenes infrarrojas representativas de gallinas ponedoras en las categorías de puntuación de plumaje (FS) FS1 a FS4 (Cook *et al.*, 2006).

ii. Limitaciones

La adopción de la tecnología de imágenes térmicas permite la medición confiable de la calidad del plumaje y evita los problemas del método FS (puntuación del plumaje), como la confiabilidad de los datos obtenidos por diferentes evaluadores. Sin embargo, el uso de IRT en condiciones comerciales requiere una mayor estandarización de la metodología para obtener datos consistentes (Pichová *et al.*, 2017).

La desventaja del método IRT en relación con el método FS tradicional es su mayor costo de equipo (generador de imágenes IRT) y mano de obra adicional en el análisis de datos. La condición de las plumas se ve afectada por la edad de la gallina, ya que las gallinas mayores tienen menos áreas de excelente cobertura de plumas, pero mayores áreas de plumas claras o ninguna cobertura de plumas en comparación con las gallinas más jóvenes. Las gallinas mayores tienen una temperatura superficial más alta (Zhao *et al.*, 2013).

El IRT tiene como limitante que no es capaz de evaluar el bienestar animal por sí solo, ya que requiere del apoyo de la evaluación de la cobertura del plumaje para poder relacionar los resultados obtenidos con una base de evaluación previa, por lo que se necesita hacer más estudios para estandarizar las relaciones entre las proporciones de las áreas sin plumas con las temperaturas obtenidas para que método sea aceptado como un indicador por sí solo, sin embargo requerirá de integrar factores como temperaturas ambientales, instalaciones, direcciones y distancias de toma.

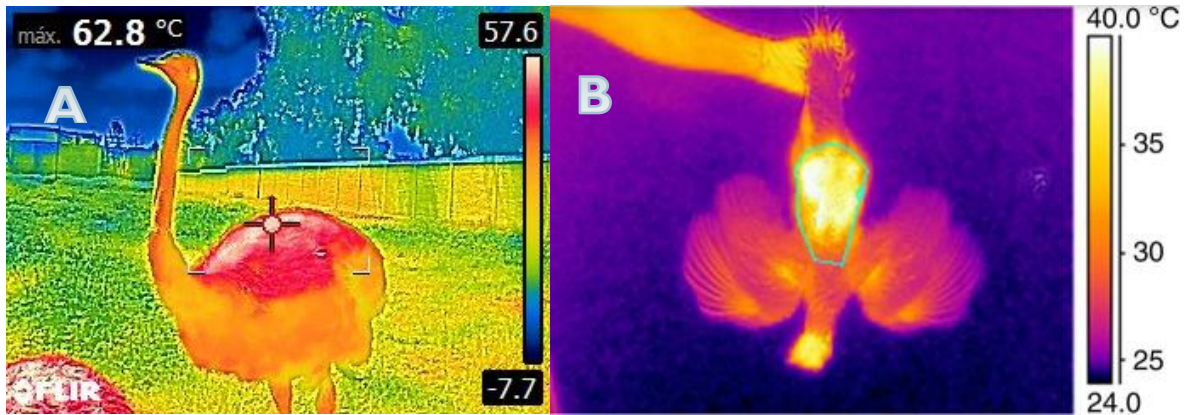


Figura 10.A. IRT avestruz. (créditos Ezequiel Sánchez). B. IRT. gallina ponedora desde la vista dorsal con la región del lomo y la rabadilla extraído de Pichová *et al.*, 2017.

Como se puede observar en la Figura 10.A el efecto que tiene la toma de IRT en condiciones no ideales (toma bajo los rayos del sol) modifican las temperaturas que se requieren comparar, lo cual no permite dar una interpretación de las áreas desprovistas de plumaje que se mide en el momento en que la cámara captura la temperatura de la piel, diferenciándola de la cubierta de plumas como se observa en la Figura 10.B donde Pichová *et al.*, 2017 hicieron la captura de las imágenes dentro de instalaciones.

Por lo que, si se quiere aplicar este método en aves expuestas al ambiente, como las aves de pastoreo o traspatio, será necesario, conseguir un lugar cubierto que permita una adaptación de la temperatura antes y durante la toma de las imágenes infrarrojas.

C. Evaluación de metabolitos (corticosterona) en plumas.

El estrés consiste en condiciones neutras o estimulantes positivas (eustress) o puede ser causado por efectos negativos (distress), cuando la adaptación no es posible. Las condiciones de angustia no son deseables porque conducen a una reducción del bienestar y el bienestar animal, inmunosupresión, disminución de la productividad y aumento de la morbilidad (Davidson *et al.*, 2019).

El eje hipotalámico-pituitario-adrenal (HPA) resulta un importante mediador de las respuestas endocrinas, incluyendo aquellas que responden a un cambio del bienestar (Taylor, 2018).

La exposición al estrés se asocia con una amplia gama de respuestas fisiológicas y el eje neuroendocrino clave para mediar estos efectos es el eje hipotalámico-pituitario-adrenal (HPA). Su activación en aves conduce a la liberación específica de la especie de la hormona glucocorticoide (GC) corticosterona (Bartels *et al.*, 2021).

La liberación de glucocorticoides puede ser sumamente adaptativa, lo que permite al animal superar las alteraciones y restablecer la homeostasis; sin embargo, la elevación crónica de glucocorticoides puede tener un efecto perjudicial sobre la aptitud (Leishman *et al.*, 2018).

El estrés como respuesta fisiológica a los estímulos ambientales se menciona con frecuencia en el contexto del bienestar. Liberación de corticosterona y epinefrina y el cambio en la proporción heterófilo-linfocito (H / L) se utilizan habitualmente como indicadores de estrés (Bessei, 2018; Carbajal *et al.*, 2014).

La validez de la liberación de corticosterona y epinefrina y el cambio en la proporción heterófilo-linfocito (H / L) como indicadores de un pobre bienestar se ha demostrado en condiciones ambientales extremas y en situaciones experimentales. Sin embargo, su aplicación en condiciones prácticas mediante la medición en sangre

es difícil y no puede relacionarse claramente con el estado de bienestar (Bessei, 2018).

La alternativa de determinar los metabolitos de los glucocorticoides en la orina y las heces está limitada por especies, puede ser problemática en cuanto a la recolección de muestras y la liberación de corticosterona inducida por el investigador (CORT) y, en última instancia, representa el perfil de glucocorticoides de un período de tiempo relativamente corto. Aunque mueren al madurar, las células de una pluma en crecimiento están muy vascularizadas y numerosos compuestos que no tienen función en la pluma desarrollada (por ejemplo, metales pesados, oligoelementos, xenobióticos) se depositan incidentalmente en la estructura de la queratina (Bortolotti *et al.*, 2008).

La cuantificación de corticosterona, el glucocorticoide aviar principal, en las plumas puede ser menos sensible a las alteraciones agudas y menos invasiva que la muestra de sangre (Leishman *et al.*, 2018).

Dado que también se pueden analizar las plumas mudas, se puede evitar la captura de aves, lo que proporciona la medida fisiológica no invasiva definitiva de un beneficio considerable en términos de bienestar animal y esfuerzo de muestreo. La manipulación, el transporte y el almacenamiento de las muestras son convenientes y están a salvo de los numerosos peligros biológicos transmitidos por la sangre a las aves (Bortolotti *et al.*, 2008).

Las principales ventajas de la corticosterona en pluma (CORT_f) son que proporciona una evaluación retrospectiva de la fisiología de la corticosterona, incluida información de individuos ausentes (invisibles) o muertos (por ejemplo, muestras de museo); una medida a largo plazo de la exposición a la corticosterona durante el período de crecimiento de las plumas (días-semanas), que integra tanto la línea de base como las respuestas a los factores estresantes; y muestreo flexible y mínimamente invasivo (Romero & Fairhurst, 2016).

El análisis de CORT_f es el único método disponible para obtener una medida de estrés a largo plazo y retrospectiva. Parece que la CORT_f es medible y da

resultados significativos incluso después de años de almacenamiento (Bortolotti *et al.*, 2008).

La corticosterona se integra en la pluma durante su crecimiento durante un largo período de tiempo (es decir, durante meses) y, por lo tanto, puede proporcionar información sobre la actividad pasada del eje hipotalámico-pituitario-suprarrenal (Leishman *et al.*, 2018).

Una incorporación estable de corticosterona en las plumas y una correlación positiva entre las concentraciones de corticosterona en las plumas y en la sangre periférica. Por lo tanto, *CORTf* podría ser un indicador útil de estrés en la investigación sobre el bienestar animal. Proporciona la posibilidad de evaluar retrospectivamente el estrés en aves durante varias semanas en una muestra mediante un procedimiento de muestreo mínimamente invasivo (Bartels *et al.*, 2021).

La medición y evaluación de las concentraciones de *CORTf* es una herramienta adecuada y no invasiva para detectar y monitorear las aves que tuvieron que hacer frente a situaciones ambientales adversas durante un período prolongado. Por lo tanto, detectar *CORTf* puede ser un enfoque prometedor para evaluar el bienestar animal en aves individuales y bandadas, respectivamente (Häffelin *et al.*, 2020).

i. Aplicación práctica y de investigación

Para procesar la muestra se requiere hacer la extracción de la corticosterona de la pluma, proceso que se muestra en la Figura 11.

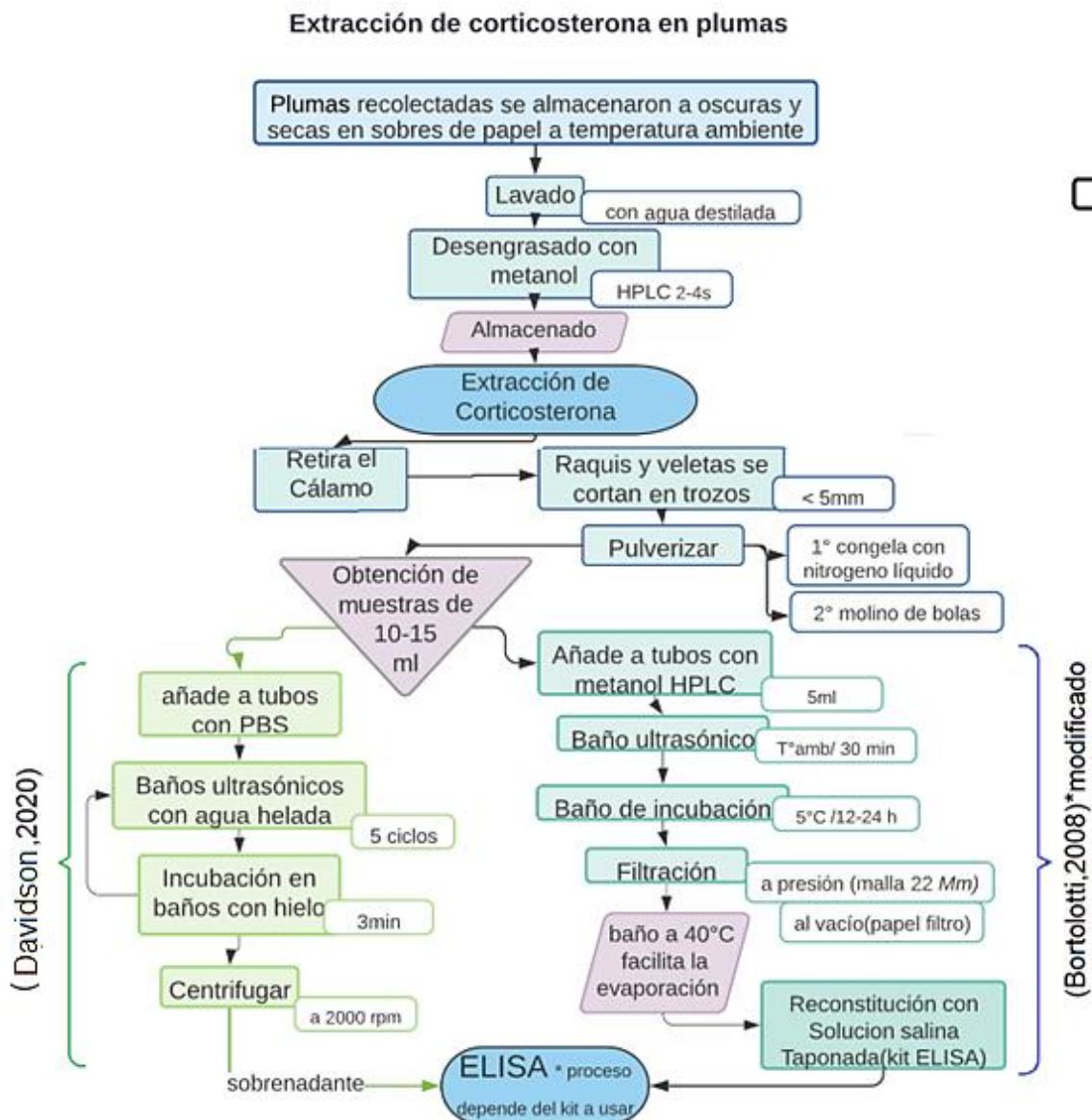


Figura 11. Diagrama de flujo para extracción de corticosterona basado en Bartels *et al.*, 2021; Bortolotti *et al.*, 2008; Carbajal *et al.*, 2014; Davidson *et al.*, 2019; Häffelin *et al.*, 2020; Leishman *et al.*, 2018

Posterior a la extracción, se procede a hacer la prueba para detección de corticosterona mediante el kit de Elisa.

Tabla 7. Comparación de los procedimientos usados para la determinación de corticosterona en plumas

OBJETIVO	AVE; EDAD; ESTIRPE; LÍNEA /GENÉTICA	TIPO - PARTE DE PLUMA/ Y TRATAMIENTO	MÉTODO DE EXTRACCIÓN/ KIT ELISA	AUTOR
Validación de la evaluación de Corticosterona de pluma por ELISA	Pollos de engorde de 44 días/ No especifica estirpe o línea	Plumas de cobertura del área interescapular No especifica parte de la pluma Picada	A base de metanol/ kit de ELISA de corticosterona; Neogen Corporation, Ayr, Reino Unido	(Carbajal et al., 2014)
Reflejar la influencia de la infección por virus en las concentraciones de CORT en pollos SPF	Pollos SPF (SPAFAS, EE. UU.)	Plumas de contorno Punta de la pluma Cortada de 0.1-0.3mm	A base de PBS y Metanol/ kit ELISA (Enzo Life Sciences, ADI-901-097, Farmingdale, NY	(Davidson et al., 2019)
Establecer un método confiable y válido para medir la concentración de corticosterona en plumas de gallinas ponedoras.	Gallinas ponedoras Lohmann Brown (Lohmann Tierzucht GmbH, Cuxhaven, Alemania)	Plumas interescapulares y rectrices (cola)/ Veleta y Raquis por separado Pulverizada	A base de Metanol kit ELISA de corticosterona de Enzo Life Sciences	(Häffelin et al., 2020)
Evaluar la validez de la detección de corticosterona en plumas de pavo (Meleagris gallopavo) utilizando un ELISA	Pavos machos adultos entre 18-21 semanas de 3 líneas diferentes no especificadas (A y B de producción de huevo y C de engorde)	La novena pluma primaria del ala derecha Paleta/Veleta interior Se trituró en trozos <5 mm ² luego se molió con un molino de perlas cerámicas	A base de Metanol kit ELISA disponible comercialmente (Cayman Chemicals, Cedarlane Labs, Canadá	(Leishman et al., 2018)
Determinar la variación de CORT ^f dentro de una pollita (tipos de plumas) y entre las pollitas de una parvada.	Pollitas Lohmann Brown de 19 semanas	Interescapulares Rectrices(cola y Regímenes (alas) (3 o 4 del álula) y P5 Veleta y Raquis en conjunto Pulverizada	A base de Metanol kit de ELISA de Enzo Life Sciences ADI-901-097 (Enzo Life Sciences Inc., Nueva York, EE. UU	(Häffelin et al., 2021)
Investigar la aplicabilidad de CORT ^f como indicador de estrés a largo plazo.	Pollitas ponedoras de plumas blancas (Lohmann Selected Leghorn [LSL]) de 8 semanas -114 días.	Remigen (ala) P5 Raquis y veleta Cortadas y pulverizadas	A base de Metanol kit ELISA de corticosterona (CSB-E11991C, CUSABIO, Wuhan, China	(Bartels et al., 2021)

ii. Limitaciones

La medición de cortisol tiene como limitantes los altos costos de los kits comerciales y el requerimiento de equipos especializados, tales como espectrofotómetros de 96 celdas o contadores automatizados para radioinmunoanálisis (Plazas *et al.*, 2018).

En ausencia de un procedimiento estandarizado, los autores aplican diferentes métodos para detectar y cuantificar la corticosterona en las plumas. También es necesario establecer valores de referencia específicos de la especie (Häffelin *et al.*, 2020) .

Se desconoce un estándar externo para analizar la corticosterona en las plumas mediante un ELISA por lo que se enfatiza la necesidad de que los investigadores evalúen el procedimiento que utilizan de manera estandarizada propia y describan y señalen modificaciones mientras no exista una estandarización oficial (Häffelin *et al.*, 2020).

Estas variaciones, como variaciones en la cantidad de material de plumas o volumen de metanol para la extracción, la forma de triturar las plumas, y diferentes métodos de filtración o diferentes ensayos, hacen que sea bastante difícil comparar los resultados correctamente (Häffelin *et al.*, 2020).

Aunque las plumas de vuelo de las alas (Rémiges) ofrecen la ventaja de proporcionar información precisa sobre su período de crecimiento, parecen menos significativas que las plumas de la cola y las interescapulares debido a que sus concentraciones de *CORTF* no se distribuyen normalmente (Häffelin *et al.*, 2021).

Fisiológicamente, los desafíos crónicos también pueden afectar la cobertura y la calidad de las plumas. Esto luego afectará la deposición de hormonas y metabolitos en la pluma en crecimiento. Por ejemplo, se cree que la hormona del estrés circulante, la corticosterona, se deposita en las plumas en crecimiento a través de la sangre de una manera dependiente del tiempo. Sin embargo, es importante

examinar cómo crecen las plumas y cómo se reemplazan para poder hacer inferencias sobre cuándo probablemente se depositó la sustancia de interés y relacionarlo con el patrón de crecimiento de la pluma (Leishman *et al.*, 2020). La corticosterona de las plumas solo refleja la exposición hormonal durante el crecimiento de las plumas y, cuando se toman muestras durante la muda, los títulos de corticosterona y las condiciones ecológicas pueden no ser representativos de la mayor parte del ciclo anual (Romero & Fairhurst, 2016).

Debido al hecho de que el peso total de una pluma está compuesto principalmente por el raquis, se debe tener en cuenta la elección de plumas no solo del mismo tipo de pluma sino del mismo peso. Otra posibilidad es referir la concentración de corticosterona de las plumas a la longitud de las plumas en pg / mm (Häffelin *et al.*, 2020).

Se requieren más estudios para investigar la influencia de factores bióticos y abióticos, así como las condiciones de cría (densidad de población, manipulación, enriquecimiento ambiental, iluminación, infestación de parásitos, etc.) que pueden afectar la incorporación y degradación o ambas de la corticosterona de las plumas antes de que este método sea aplicable como indicador de estrés en la avicultura (Bartels *et al.*, 2021). Un ejemplo es que la deposición de corticosterona en las plumas también puede verse afectada por el melanismo, que debe tenerse en cuenta al comparar los resultados de las capas blancas y marrones (Häffelin *et al.*, 2020).

Otros problemas técnicos no resueltos incluyen: evaluar si la corticosterona es la única hormona que se mide mediante ensayos; determinar la dinámica de la deposición para comprender completamente las conexiones entre la corticosterona plasmática y la pluma títulos; estudiar la longevidad y estabilidad de la corticosterona en la pluma; establecer el impacto del tamaño y el color de las plumas en la deposición de corticosterona; y comprender las causas e implicaciones de la variación de corticosterona a lo largo de la pluma (Romero & Fairhurst, 2016).

Futuros pasos de la evaluación del plumaje

Como respuesta a la preocupación creciente del bienestar animal, el desarrollo de indicadores objetivos es esencial, incluir maneras de evaluarlo, mediante el uso del plumaje se aumenta la practicidad y confiabilidad al obtener resultados cuantitativos, no solo por la evaluación externa ya utilizada, si no por la inclusión de la evaluación termográfica para evaluar la cobertura, además de la cuantificación del metabolito del estrés en aves conocido como corticosterona presente en ellas.

Aunque aún es necesario seguir recabando información al respecto con métodos experimentales, el uso de protocolos que se centren en la evaluación del bienestar, permitirá llegar a resultados útiles que permitan incluirlos como parte de los indicadores del bienestar animal en aves de corral.

Conclusiones

1. En este trabajo se realizó una revisión bibliográfica actualizada sobre el plumaje de las aves de producción donde se resalta la importancia este como indicador del bienestar animal en aves de producción.
2. Se identificaron los principales problemas que afectan el bienestar y salud animal asociados al plumaje en aves de producción que incluyen factores infecciosos y no infecciosos.
3. Se describió el uso práctico del plumaje como indicador de bienestar animal a partir de la evaluación de la calidad del plumaje, la termografía del plumaje y metabolitos presentes en el plumaje.
4. Este trabajo resaltó la importancia al uso de indicadores basados en animales, principalmente la cubierta de plumas por termografía y la detección de metabolitos en plumas como métodos, repetibles y cuantitativos, cualidades que se requieren para hacer evaluaciones objetivas.

5. Se requiere la estandarización de diferentes métodos de evaluación de plumaje ya sea por especie, edad o fin zootécnico para permitir la generación de protocolos aplicables en la industria avícola.

FINANCIAMIENTO

Esta revisión se llevó a cabo como parte del proyecto PAPIIT IA207421 “Evaluación del uso de enriquecimiento ambiental y microbiota intestinal y su efecto en diferentes densidades animales en pavos de engorda”, quien otorgó el financiamiento de la beca para titulación de licenciatura, bajo el monto de \$3 314.00 durante los periodos de septiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2021.

ANEXO 1. Propuesta de protocolo para evaluación del plumaje a partir de termografía infrarroja.

Imágenes de termografía infrarroja:

Cámara infrarroja (sin importar el modelo)

- Al mismo tiempo que se toman las imágenes o previo a esto, realizar una evaluación del plumaje con base en sus propiedades cualitativas (calidad).
- Toma de imagen a 1 m de distancia del ave +/-20 cm.
- Toma de imagen frontal, dorsal (sostener las aves cabeza abajo) y cabeza frente a superficie lisa no reflejante.
- Fijar la cámara en un trípode y establecer la emisividad en 0,94-1,0
- Toma de imágenes bajo techo, posterior a un acondicionamiento térmico de las aves.



- Determinar la temperatura ambiental con el termohigrómetro para tomar la ΔT_B : Diferencia de la temperatura superficial medida y la temperatura ambiental, para corregir el efecto de la temperatura ambiente.
- Una excelente cobertura de plumas (EF) se asociarán una puntuación positiva en la evaluación (FS), mientras que los píxeles que representan la piel desnuda (sin plumas, NF) se asocian con una puntuación negativa.
- Las temperaturas exactas para determinar el área sin plumas se deben determinar según al diseño experimental de acuerdo a las condiciones en que se tomen las imágenes, la forma para determinarlo es a partir de temperaturas máximas y mínimas. La temperatura superficial máxima de un área EF se define como el umbral de temperatura superior de EF (es decir, los píxeles con temperaturas inferiores a un umbral máximo de temperatura

se relacionaron a una mejor cobertura pues se asocia con una temperatura superficial más baja, mientras que un área NF se define como el umbral de temperatura más bajo de NF (es decir, los píxeles con temperaturas superiores a este umbral se trataran como piel desnuda en el análisis posterior).

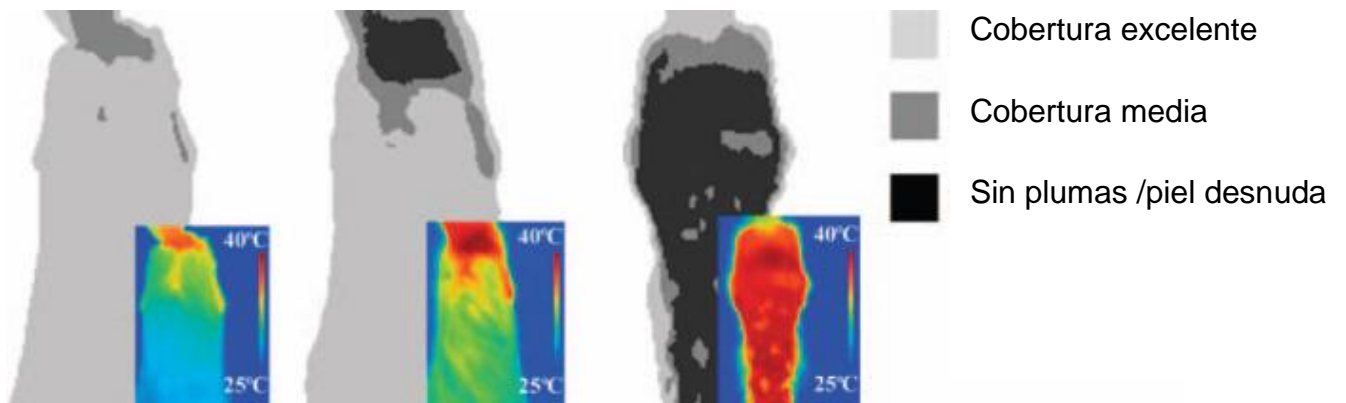


Figura 12. Un ejemplo de cobertura de plumas en cabeza de gallinas por imagen infrarroja extraído de Zhao *et al.*, 2013.

ANEXO 2. Propuesta de protocolo para detección de corticosterona en plumas para aves de producción.

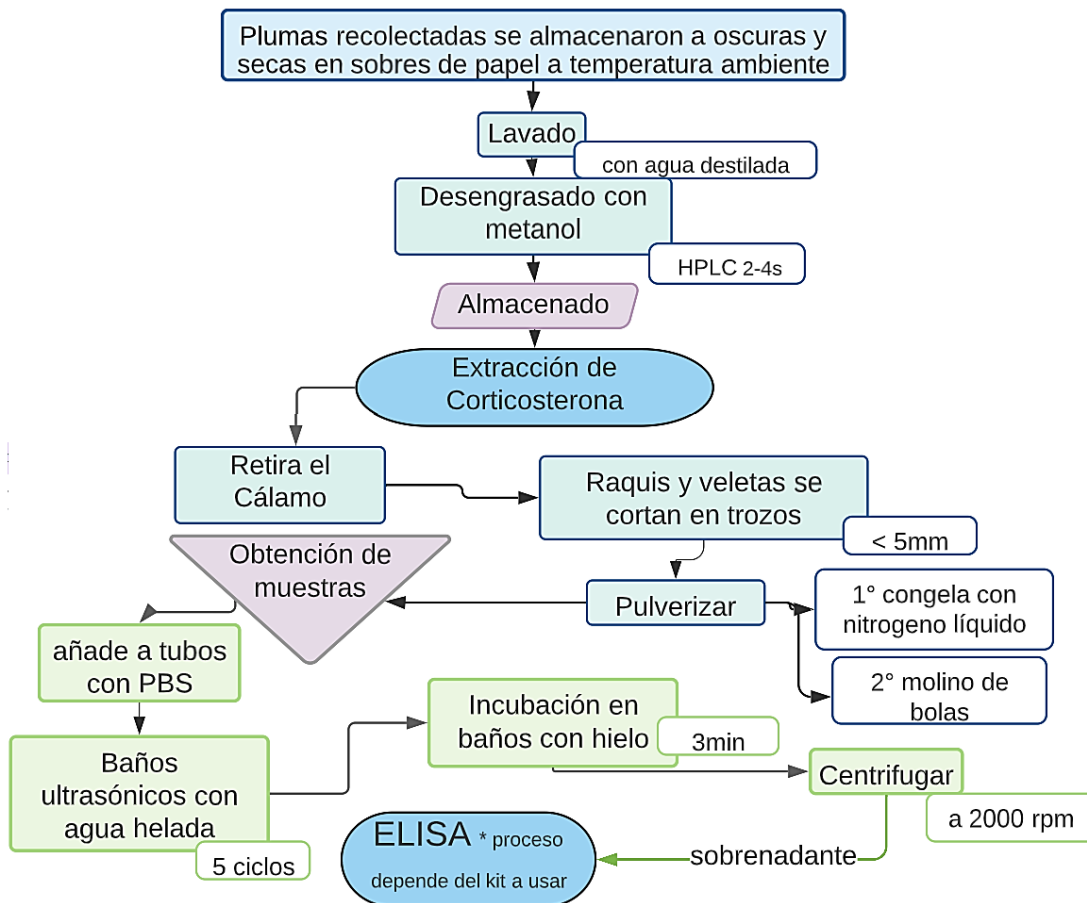
Detección de corticosterona.

1.- Recolección de plumas de cobertura limpias y secas en sobres de papel, se tomarán de la zona interescapular (debido a su distribución de corticosterona de forma uniforme durante el crecimiento)

- Recomendada pues la forma de la pluma permite que el “artefacto” debido al Raquis disminuye
- Muestra: recolectar lo suficiente para obtener pesos iguales de las veletas por cada muestra.

En caso de recolección de plumas remeras siempre recolectar de la misma posición en los diferentes individuos: recomendadas P5 a P9 (distribución dependiente del tiempo que determinaran la deposición de corticosterona debida al estado de estrés fisiológico durante su crecimiento, y en caso del uso del raquis en la muestra “artefacto” es mayor).

Para su almacenaje retirar la suciedad de la pluma y colocarla en bolsas de papel, mantenerlas a oscuras y secas a temperatura ambiente.



Referencias

- Andreatti Filho, R. L., Milbradt, E. L., Okamoto, A. S., Silva, T. M., Vellano, I. H. B., Gross, L. S., Oro, C. S., & Hataka, A. (2019). Salmonella Enteritidis infection, corticosterone levels, performance and egg quality in laying hens submitted to different methods of molting. *Poultry Science*, *98*(10), 4416–4425. <https://doi.org/10.3382/ps/pez248>
- Aviagen. (2018). Manual de manejo de gallinas reproductoras ross. *Aviagen*, 193. https://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spa_nish_TechDocs/RossPSHandBook2018-ES.pdf
- Bartels, T., Berk, J., Cramer, K., Kanitz, E., & Otten, W. (2021). Research Note : A sip of stress . Effects of corticosterone supplementation in drinking water on feather corticosterone concentrations in layer pullets. *Poultry Science*, *100*(9), 101361. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101361>
- Beaulac, K., & Schwean-Lardner, K. (2018). Assessing the effects of stocking density on Turkey tom health and welfare to 16 weeks of age. *Frontiers in Veterinary Science*, *5*(SEP), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00213>
- Bessei. (2013). Welfare Assessment in Turkey Production. *Turkeytimes, Woodbank, John Street, Utkinton, Cheshire CW6 0LU, March*, 11–15. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1297.5201>
- Bessei, W. (2018). *Impact of animal welfare on worldwide poultry production*. 9339. <https://doi.org/10.1017/S0043933918000028>
- Biscarini, F., Bovenhuis, H., Poel, J. Van Der, Rodenburg, T. B., Jungerius, A. P., & Arendonk, J. A. M. Van. (2010). Across-Line SNP Association Study for Direct and Associative Effects on Feather Damage in Laying Hens. *Springer Science+Business Media*, 715–727. <https://doi.org/10.1007/s10519-010-9370-0>
- Blatchford, R. A., Fulton, R. M., & Mench, J. A. (2016). The utilization of the Welfare Quality R assessment for determining laying hen condition across three housing systems. *Poultry Science*, *95*(1), 154–163. <https://doi.org/10.3382/ps/pev227>
- Bonilla, C., Leyva, H., Casarín, A., Villar, G., & VILLAR, G. (2020). *Estrategias nutricionales en avicultura durante el invierno - BM Editores*. <https://bmeditores.mx/avicultura/estrategias-nutricionales-en-avicultura-durante-el-invierno/>

- Bortolotti, G., Marchant, T. A., Blas, J., & German, T. (2008). *Corticosterone in feathers is a long-term , integrated measure of avian stress physiology*. 494–500. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01387.x>
- Broom, D. M. (2011). Conferencia magistral Animal welfare : concepts , study methods and indicators. *Rev Colomb Cienc Pecu*, Vol. 24 N°, 306–321. <http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/viewFile/702/678>
- Brugère-Picoux, J., & Vaillancourt, J.-P. (2015). Manual of poultry disease. In AFAS. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Callejo, A., Cardoso, W., Sanz, S., Daza, A., & Buxadé, C. (2012). Efectos de 3 distintos aportes alimenticios restringidos como inductores de la muda en gallinas ponedoras, del mes post-muda y del número de gallinas por jaula sobre la calidad del huevo. *Opto. de Producción Animal. Universidad Politécnica de Madrid. España, Memorias.*, 407–413.
- Campe, A., Hoes, C., Koesters, S., Froemke, C., Bougeard, S., Staack, M., Bessei, W., Manton, A., Scholz, B., Schrader, L., Thobe, P., & Knierim, U. (2018). Analysis of the influences on plumage condition in laying hens: How suitable is a whole body plumage score as an outcome? *Poultry Science*, 97(2), 358–367. <https://doi.org/10.3382/ps/pe321>
- Carbajal, A., Tallo-Parra, O., Sabes-Alsina, M., Mular, I., & M. Lopez-Bejar. (2014). Feather corticosterone evaluated by ELISA in broilers : A potential tool to evaluate broiler welfare. *Poultry Science*, 93(11), 2884–2886. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04092>
- Cobb-Vantress Inc. (2009). *Guía de Manejo del Pollo de Engorde*. 65.
- Cook, N. J., Smykot, A. B., Holm, D. E., Fassenko, G., & Church, J. S. (2006). Assessing feather cover of laying hens by infrared thermography. *Journal of Applied Poultry Research*, 15(2), 274–279. <https://doi.org/10.1093/japr/15.2.274>
- Davidson, I., Haddas, R., Nagar, S., Meir, R., Rozenboim, I., Et, D., & Corticostrone, A. L. V. (2019). Evaluation of Viral-Induced Stress by Quantitating Corticosterone in Feathers of Virus-Infected Specific Pathogen-Free Chicks. *Journal of Applied Poultry Research*, 29(1), 48–63. <https://doi.org/10.3382/japr/pfz027>
- Dawson, A. (2015). Capter.38.- Avian Molting. In *Sturkie's Avian Physiology* (Sixth, pp. 907–917).
- De Haas, E. N., Bolhuis, J. E., de Jong, I. C., Kemp, B., Janczak, A. M., & Rodenburg, T. B. (2014). Predicting feather damage in laying hens during the laying period. Is it the past or is it the present? *Applied Animal Behaviour Science*, 160(1), 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2014.08.009>

- Drake, K. A., Donnelly, P. C. A., Dawkins, M. S., & Dawkins, M. S. (2010). *Influence of rearing and lay risk factors on propensity for feather damage in laying hens. 1668*. <https://doi.org/10.1080/00071668.2010.528751>
- Emous, R. A. van, & Krimpen, M. M. van. (2019). Effects of nutritional interventions on feathering of poultry - a review. *Poultry Feathers and Skin: The Poultry Integument in Health and Welfare*, 133–150. <https://doi.org/10.1079/9781786395115.0133>
- Estrada, M. M., & Márquez, S. M. (2005). Interacción de los factores ambientales con la respuesta del comportamiento productivo en pollos de engorde. *Rev Col Cienc Pec*, 18(6), 246–257.
- Ferrante, V., Lolli, S., Ferrari, L., Watanabe, T. T. N., Tremolada, C., Marchewka, J., & Estevez, I. (2019). Differences in prevalence of welfare indicators in male and female Turkey flocks (*Meleagris gallopavo*). *Poultry Science*, 98(4), 1568–1574. <https://doi.org/10.3382/ps/pey534>
- Fijn, L. B., Josef van der Staay, F., Goerlich-Jansson, V. C., & Arndt, S. S. (2020). Importance of basic research on the causes of feather pecking in relation to welfare. *Animals*, 10(2), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ani10020213>
- Fisher, C. (2018). Emplume en Hembras Reproductoras de Engorde. *Aviagen*. http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Feathering-in-Broiler-Breeder-Females-ES-2016.pdf
- Fisinin, A. P. K. (2015). A bout physiological and morphological processes in poultry at natural and induced molting. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*, 50(6), 719–728. <https://doi.org/10.15389/agrobiolgy.2015.6.719rus>
- Fraser, D. (2008). Understanding animal welfare. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50(SUPPL. 1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-50-S1-S1>
- Gil, F. (2007). Anatomía específica de aves: aspectos funcionales y clínicos. *Unidad Docente de Anatomía y Embriología Facultad de Veterinaria Universidad de Murcia*. <https://www.um.es/anatvet-interactivo/interactividad/aaves/anatomia-aves-10.pdf>
- Häffelin, K., Kaufmann, F., Lindenwald, R., Döhring, S., Spindler, B., Preisinger, R., Rautenschlein, S., Kemper, N., & Andersson, R. (2021). Corticosterone in feathers: Inter- and intraindividual variation in pullets and the importance of the feather type. *Veterinary and Animal Science*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2020.100155>

- Häffelin, K., Lindenwald, R., Kaufmann, F., Döhring, S., Spindler, B., Preisinger, R., Rautenschlein, S., Kemper, N., & Andersson, R. (2020). Corticosterone in feathers of laying hens: an assay validation for evidence-based assessment of animal welfare. *Poultry Science*, *99*(10), 4685–4694. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.065>
- Harris, C. M., Madliger, C. L., & Love, O. P. (2016). Temporal overlap and repeatability of feather corticosterone levels: Practical considerations for use as a biomarker. *Conservation Physiology*, *4*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1093/conphys/cow051>
- Heerkens, J. L. T., Delezie, E., Kempen, I., Zoons, J., Ampe, B., Rodenburg, T. B., & Tuytens, F. A. M. (2012). Specific characteristics of the aviary housing system affect plumage condition, mortality and production in laying hens. *Journal Name Poultry Science*, *94*(9), 2008–2017. <https://doi.org/10.3382/ps/pev187>
- INTA. (n.d.). *Manual de avicultura* (MINAGRO (ed.); Dirección).
- Jinez, T. (n.d.). *Producción de huevo Fértil CEIEPAV - Secretaría de CEIE*. Retrieved October 3, 2021, from <https://fmvz.unam.mx/zootecnia/ceiepavhuevofertil.html>
- Leeson, S., & Walsh, T. (2004a). Feathering in commercial poultry I. Feather growth and composition. *World's Poultry Science Journal*, *60*(1), 42–51. <https://doi.org/10.1079/WPS20033>
- Leishman, E. M., Freeman, N. E., Newman, A. E. M., Staaveren, N. Van, Wood, B. J., Harlander-matauschek, A., & Baes, C. F. (2018). Research Note : Quantifying corticosterone in turkey (*Meleagris gallopavo*) feathers using ELISA. *Poultry Science*, *99*(11), 5261–5264. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.075>
- Leishman, E. M., van Staaveren, N., McIntyre, D. R., Mohr, J., Wood, B. J., Baes, C. F., & Harlander-Matauschek, A. (2020). Describing the growth and molt of modern domestic turkey (*Meleagris gallopavo*) primary wing feathers. *Journal of Animal Science*, *98*(12), 1–7. <https://doi.org/10.1093/JAS/SKAA373>
- Liebers, C. J., Schwarzer, A., Erhard, M., Schmidt, P., & Louton, H. (2019). The influence of environmental enrichment and stocking density on the plumage and health conditions of laying hen pullets. *Poultry Science*, *98*(6), 2474–2488. <https://doi.org/10.3382/ps/pez024>
- Linares, J. A., & Martin, M. (2010). Poultry: Behavior and Welfare Assessment. In *Encyclopedia of Animal Behavior* (pp. 750–756). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045337-8.00088-7>

- López Albors, O., Gill, Vázquez, Torre, L., Zaragoza, Ramírez, Oreners, & Moreno. (1999). Nomenclatura e Iconografía de las partes de la pluma y sus diferentes tipos. *AN. VET. (Murcia)*, 16, 3–16.
- Mc Cafferty, D. J., Gilbert, C., Paterson, W., Pomeroy, P., Thompson, D., Currie, J. I., & Ancel, A. (2011). Estimating metabolic heat loss in birds and mammals by combining infrared thermography with biophysical modelling. *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology*, 158(3), 337–345. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.09.012>
- Molino, A. de B., Garcia, E. A., Berto, D. A., Pelícia, K., Silva, A. P., & Vercese, F. (2009). The effects of alternative forced-molting methods on the performance and egg quality of commercial layers. *Revista Brasileira de Ciencia Avicola*, 11(2), 109–113. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2009000200006>
- Nicol, C. J., Caplen, G., Edgar, J., & Browne, W. J. (2009). Associations between welfare indicators and environmental choice in laying hens. *Animal Behaviour*, 78(2), 413–424. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.05.016>
- Nicol, & Davies, A. (2006). Bienestar de las aves de corral en los países en desarrollo. Cuestiones de bienestar animal en la producción comercial de huevos. *FAO*.
- Nonis, M. K., & Gous, R. M. (2016). Changes in the feather-free body of broiler breeder hens after sexual maturity. *Animal Production Science*, 56(7), 1099–1104. <https://doi.org/10.1071/AN14713>
- Noubandiguim, M., Erensoy, K., & Sarica, M. (2021). Feather growth, bodyweight and body temperature in broiler lines with different feathering rates. *South African Journal of Animal Science*, 51(1), 88–97. <https://doi.org/10.4314/sajas.v51i1.10>
- Olori, V. E. (2019). Genetics of feather pigmentation and chicken plumage colouration. In V. Olori (Ed.), *Poultry Feathers and Skin: The Poultry Integument in Health and Welfare* (pp. 93–109). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781786395115.0093>
- Ortiz, J. (2004, January 1). *Muda Forzada en Ponedoras: Cuando y como Realizarla - Engormix*. <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/muda-forzada-ponedoras-cuando-t25945.htm>
- Peralta, A., Patiño P, R., & Arrieta C, K. (2016). Desempeño productivo y conductas etológicas de gallinas ponedoras en tres tipos de manejo en condiciones de trópico cálido. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 8, 310. <https://doi.org/10.24188/recia.v8.n0.2016.386>

- Pichová, K., Bilčík, B., & Košťál, L. (2017). Assessment of the effect of housing on feather damage in laying hens using IR thermography. *Animal*, 11(4), 661–669. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001981>
- Plazas, R. A. S., Hernández, F. A. P., Piso, D. Y. T., Rubio, M. del R. P., Sierra, L. M. P., & DiGiacinto, A. (2018). Requirements for the measurement of invasive and non-invasive stress indicators in animal production. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Peru*, 29(1), 15–30. <https://doi.org/10.15381/rivep.v29i1.14195>
- Pym, R. (2010). *Genética y cría de aves de corral en los países en desarrollo*. <http://www.fao.org/3/al725s/al725s00.pdf>
- Romero, L. M., & Fairhurst, G. D. (2016). Comparative Biochemistry and Physiology , Part A Measuring corticosterone in feathers : Strengths , limitations , and suggestions for the future ☆. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 202, 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2016.05.002>
- Saraiva, S., Saraiva, C., & Stilwell, G. (2016). Research in Veterinary Science Feather conditions and clinical scores as indicators of broilers welfare at the slaughterhouse. *YRVSC*, 107, 75–79. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2016.05.005>
- Senar, J. C. (2004). Mucho más que plumas Joan Carles Senar. In *Biotechnologie Agronomie Societe et Environnement: Vol. 2*.
- Shivaprasad, H. L. (2013). *Patología de las Aves – Una Revisión*.
- Tahamtani, F. M., Brantsæter, M., Nordgreen, J., Sandberg, E., Hansen, T. B., Nødtvedt, A., Rodenburg, T. B., Moe, R. O., & Janczak, A. M. (2016). Effects of litter provision during early rearing and environmental enrichment during the production phase on feather pecking and feather damage in laying hens. *Poultry Science*, 95(12), 2747–2756. <https://doi.org/10.3382/ps/pew265>
- Taylor, A. (2018). *Conceptos basicos de bienestar animal en aves*. , Centro Universitario de Los Altos, Universidad de Guadalajara.
- Van Staaveren, N., Ellis, J., Baes, C. F., & Harlander-Matauschek, A. (2021). A meta-analysis on the effect of environmental enrichment on feather pecking and feather damage in laying hens. *Poultry Science*, 100(2), 397–411. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.11.006>
- Vargas, L., Sakomura, N. K., Leme, B. B., Antayhua, F. A. P., Campos, D., Gous, R. M., & Fisher, C. (2020). A description of the growth and moulting of feathers in commercial broilers. *British Poultry Science*, 61(4), 454–464. <https://doi.org/10.1080/00071668.2020.1747597>

- Vázquez, A. (n.d.). *Producción de huevo para plato CEIEPAv - Secretaría de CEIE*. Retrieved October 3, 2021, from <https://fmvz.unam.mx/zootecnia/ceiepavpostura.html>
- WelfareQuality®. (2009). Welfare Quality® assessment protocol for poultry (broilers, laying hens). *Welfare Quality® Consortium, Lelystad, Netherlands., January*, 1–142. <http://www.welfarequalitynetwork.net/network/45848/7/0/40>
- Wolf, B. O., & Walsberg, G. E. (2000). *The Role of the Plumage in Heat Transfer Processes of Birds 1* (Vol. 40). <https://academic.oup.com/icb/article/40/4/575/101609>
- Xie, W. Y., Pan, N. X., Zeng, H. R., Yan, H. C., Wang, X. Q., & Gao, C. Q. (2020). Comparison of nonlinear models to describe the feather growth and development curve in yellow-feathered chickens. *Animal*, *14*(5), 1005–1013. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003082>
- Yamak, U. S., & Sarica, M. (2012). Relationships between feather score and egg production and feed consumption of different layer hybrids kept in conventional cages. *Archiv Fur Geflugelkunde*, *76*(1), 31–37.
- Yousaf, M., & Chaudhry, A. S. (2008). History , changing scenarios and future strategies to induce moulting in laying hens. *World's Poultry Science Journal*, *9339*. <https://doi.org/10.1017/S0043933907001729>
- Yu, M., Yue, Z., Wu, P., Wu, D., Mayer, J., Medina, M., Widelitz, R. B., Jiang, T., & Chuong, C. (2011). *The developmental biology of feather follicles*. *191*, 181–191.
- Zhao, Y., Xin, H., & Dong, B. (2013). Use of infrared thermography to assess laying-hen feather coverage. *Poultry Science*, *92*(2), 295–302. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02629>
- Zhu, T., Zhao, X., Jia, Y., Chen, Y., Wang, L., & Lv, X. (2021). Genetic parameter estimation for feather damage in laying hens. *Journal of Applied Animal Research*, *49*:1, 176–179. <https://doi.org/10.1080/09712119.2021.1921780>