



Edgar O. Oviedo

Curriculum

El Dr. Edgar O. Oviedo Rondón es Profesor Titular y Especialista de Extensión en Nutrición,

Salud, Analítica de Datos y Manejo de la cadena de producción de Pollo de Engorde en el Departamento "Prestage" de Ciencias Avícolas de la Universidad Estatal de Carolina del Norte. El Dr. Oviedo es Colombiano y recibió su título como Médico Veterinario

Zootecnista (MVZ) en la Universidad del Tolima en Colombia. Edgar trabajó en servicios médicos veterinarios por tres años, antes de iniciar estudios de Post-grado. Edgar Orlando obtuvo su Maestría en Nutrición y Producción Animal en la Universidad Estatal de Maringá en el Brasil, y PhD. en Ciencias Avícolas en la Universidad de Arkansas. En el 2018 obtuvo un Master in Business Administration en North Carolina State University especializándose en Supply Chain Management and Decision Making. Edgar tiene experiencia en la industria avícola como veterinario, nutricionista, agente de extensión y consultor internacional. El Dr. Oviedo ha trabajado en NC State University por 19 años, después de trabajar por 3 años también como Profesor Universitario en Texas. El Dr. Oviedo ha sido invitado en 36 países como conferencista. Edgar es autor o co-autor de 110 artículos publicados en revistas científicas indexadas, 10 capítulos de libros, cuatro libros, 317 abstracts, 342 memorias de congresos, y 130 artículos de revistas técnicas, de extensión y profesionales. El Dr. Oviedo coordina programas de extensión en pollo de engorde, reproductoras e incubación y varios cursos internacionales de producción avícola y analítica de datos.

Resumen de la ponencia Incubación y efectos en la salud, bienestar y productividad de la progenie

*Edgar O. Oviedo-Rondón, MVZ, MSc., PhD, Dip. ACPV, MBA
Profesor, University Faculty Scholar*

*Departamento Prestage de Ciencias Avícolas, Universidad Estatal de Carolina del Norte, Raleigh, NC, 27606
edgar_oviedo@ncsu.edu*

Introducción

Las incubadoras juegan un papel fundamental al proveer la materia prima inicial para la cría de aves. La calidad del material genético depende del proceso de incubación, procesamiento y transporte del pollito o pollita a las granjas. Estas fases también son de atención para los programas de auditoría de bienestar animal en varios países. Generalmente, en una incubadora solo las condiciones ambientales y el manejo en las áreas de procesamiento del pollito y los vehículos de transporte son auditados. En esta presentación discutiremos los puntos principales en este proceso de auditorías que son la prueba de la aplicación de leyes estatales o acuerdos sobre bienestar animal entre productores y consumidores de carne de aves.

La calidad y salud de las aves se ven afectadas durante el desarrollo embrionario por variaciones en los parámetros de incubación. Los embriones de todas las especies aviares tienen una gran capacidad de adaptación a las condiciones ambientales de temperatura, humedad, concentración de oxígeno y gas carbónico, volteo, y presencia de luz o tipo de luz durante la incubación. Esta capacidad se llama plasticidad fenotípica, metabólica o del desarrollo (Branum et al., 2016). El objetivo de estos mecanismos de plasticidad es la sobrevivencia del embrión, pero en este proceso varios procesos fisiológicos y metabólicos normales pueden alterarse. Estas alteraciones pueden afectar la salud del individuo bajo ciertas circunstancias, con implicaciones al lote o parvada y características de los individuos que hoy evaluamos como bienestar animal o aviar (Yalçın y Oviedo-Rondón, 2023).

Cada tejido o sistema fisiológico puede verse afectado por variaciones en las condiciones ambientales a las que son sujetos los huevos desde el momento de la ovoposición. En esta presentación revisaremos algunos de las evidencias indicando que modificaciones en factores ambientales durante la incubación pueden afectar el desarrollo de los tejidos y órganos con impacto en la salud, el bienestar y la productividad animal después de la eclosión.

Esta revisión puede ayudar a generar estrategias de control de enfermedades y resolver algunos problemas que son difíciles de elucidar teniendo en cuenta solo los factores de granja. Estos factores cobran mayor relevancia en las condiciones actuales de la avicultura cambiando a sistemas de producción libre de antibióticos y con regulaciones crecientes sobre bienestar animal. Realmente el mayor impacto de la incubación no está solamente en los números de pollitos nacidos si no en proveer animales de calidad que pueden demostrar su potencial genético de crecimiento y transformación de alimento en músculos bajo condiciones adversas. La incubación puede estar involucrada o puede ayudar a mitigar la mayoría de las enfermedades no infecciosas, llamadas del desarrollo o metabólicas, y algunas infecciosas de las aves marcadas como principal preocupación para veterinarios a nivel global (Oviedo-Rondón, 2022).

Lógicamente la calidad microbiológica del pollito también es importante para la salud posteclosión, al igual que la estimulación del sistema inmune a través de las vacunas aplicadas en la incubadora in ovo o al primer día. Pero estos aspectos serán cubiertos en otra presentación. Aquí nos centraremos en los aspectos de manejo del huevo y de las máquinas que afectan desarrollo de sistemas con impacto en salud y bienestar únicamente. Tampoco discutiremos la multitud de productos que han sido evaluados para aplicar in ovo, al nacimiento, o durante el transporte de pollitos. Muchos de los cuales bajo ciertas circunstancias pueden tener efectos positivos, pero no siempre.

Problemas de salud y bienestar animal con relación a la incubación.

Durante la incubación se desarrollan y maduran órganos y sistemas fisiológicos críticos para la regulación del metabolismo y la tasa de crecimiento como son el sistema hormonal. El número de células de muchos tejidos como los músculos queda predeterminado antes de la eclosión y solo sufren hiperplasia durante la vida post-eclosión. Adicionalmente, el estrés oxidativo durante el período pre-eclosión puede tener efectos negativos en funciones cardiovasculares y del sistema músculo esquelético. Muchos de estos efectos no se modifican en la vida post-eclosión causando potenciales problemas de salud o de desarrollo.

Algunos de estos efectos de la incubación subóptima pueden ocasionar pollitos o pavitos débiles, letárgicos y con dificultad para buscar agua y alimento en la granja. Estos problemas los pueden llevar a la deshidratación, ser más susceptibles a patógenos y eventualmente a la muerte. Algunos otros efectos más severos llevan a la muerte como la ascitis o muerte súbita, o defectos del animal como los problemas de columna, picos, huesos, patas, plumas, piel, y músculos. El crecimiento de corazón, huesos, molleja, proventrículo, e intestinos se ve afectado. Las camadas de la epidermis de la piel se ven alteradas por la incubación subóptima. Estos defectos del desarrollo pueden causar problemas de locomoción y cojeras.

Otros efectos de inclusión subóptima pueden incluir inmunosupresión temporal o permanente en las aves. Esta inmunosupresión puede afectar la resiliencia de las aves a enfermedades causadas por bacterias o protozoa. El estrés durante la incubación puede crear susceptibilidad a respuestas de células inmunitarias en ciertos tejidos, no relacionadas directamente a una respuesta inmune como las pododermatitis.

Problemas generales de calidad del pollito al nacimiento

Durante las últimas etapas de desarrollo del embrión (ED17.5 d a ED21 d), el saco vitelino es la fuente principal de energía. La utilización del saco vitelino es influenciada por la presión parcial de oxígeno, la temperatura y la humedad. Elevadas temperaturas de cáscara (>101.0 oF) o falta de oxígeno (< 20%) causa reducción en la absorción del saco vitelino. Consecuentemente los embriones usan la energía que han almacenado en sus hígados y músculos como glucógeno, la cual es un carbohidrato que no requiere oxígeno para su degradación. Sin embargo, el glucógeno no se almacena en grandes cantidades y las condiciones anormales de incubación pueden resultar en que los embriones en desarrollo agoten sus reservas de glucógeno, y si el pollito llega a nacer es más débil y de poca calidad. El catabolismo de glucógeno genera ácido láctico que reduce la función muscular, la vascularización, y la capacidad de reparación del músculo. Estos pollitos pueden ser letárgicos, se demoran para iniciar el consumo de alimento y pueden morir más frecuentemente por inanición, elevando la mortalidad en las granjas durante los primeros días de vida.

Adicionalmente, las temperaturas elevadas en la nacedora pueden producir pollitos hipotiroideos (Christensen et al., 2004, 2007) los cual impacta negativamente el proceso de desarrollo de otros sistemas fisiológicos tales como el sistema inmunológico, la termorregulación, el cardiovascular, el tracto gastrointestinal y el sistema locomotor. Los pollitos que han nacido muy temprano y duran más de 48 horas desde la eclosión hasta ingerir alimento también tienen una preferencia por temperaturas de cría entre 2 y 2.2 oC mayores que los pollitos que acceden alimento durante las primeras 12 a 24 horas post-eclosión (Wijnen et al., 2022). La demora en acceso al alimento afecta la migración de células inmunitarias al intestino afectando la susceptibilidad a enfermedades intestinales.

Problemas óseos, tendones y de locomoción.

Varios factores de incubación pueden afectar el desarrollo óseo en pollos de engorde, pavos (Oviedo-Rondón et al., 2008a, B) y patos (Da Costa et al., 2016). Estos efectos fueron recientemente revisados en detalle por Oviedo-Rondón (2023). Los factores que afectan huesos, columna, tendones y finalmente locomoción incluyen temperatura (Van der Pol et al., 2014; Chen et al., 2018), las concentraciones de oxígeno (O₂), por la altitud de la incubador o la mala ventilación, el alto dióxido de carbono (CO₂) por fallas en la ventilación (Oviedo-Rondón et al., 2008a, b), y la luz (van der et al., 2017; Güz et al., 2021; Shah y Özkan, 2022; Yalçın et al., 2022).

Los defectos de las patas que causan cojeras o hasta parálisis son todavía frecuentes en pollos de engorde a pesar de los esfuerzos hechos en selección genética, manejo en las granjas y nutrición. Un aspecto muchas veces olvidado es que el desarrollo de todo el sistema locomotor conformado por huesos, tendones, cartílagos, ligamentos y músculos se inicia y tiene la mayor tasa de crecimiento durante el periodo embrionario. Las condiciones ambientales adversas o desuniformes durante la incubación son los problemas más comunes en producción avícola comercial, y estos pueden afectar el desarrollo óseo e incrementar los problemas de patas de los pollos.

Huesos

Nuestros resultados de investigación y otros publicados en los últimos 15 años indican que la adecuada pre-incubación con buen flujo del aire, el evitar temperaturas bajas durante la incubación temprana son críticas para un desarrollo óseo adecuado, disminuir la incidencia de deformaciones de los dedos y de los huesos de las piernas, y reducir la asimetría relativa entre las dos piernas (Oviedo-Rondón et al., 2008 a, b; d; 2009a, b; Eusebio-Balcazar et al., 2014). Hoy en día, esta asimetría relativa entre las dos extremidades, que es consecuencia del estrés en el desarrollo de los animales, es considerada como uno de los parámetros para estimar el bienestar animal (Møller et al., 1999). La asimetría entre los huesos, puede afectar la alineación de las partes de las piernas y puede causar que las aves adopten patrones de movimiento diferentes de los considerados normales, que generalmente son menos eficientes energéticamente, y fácilmente observados como cojeras. Adicionalmente, estas dimensiones asimétricas ocasionan fuerzas anormales a los huesos y articulaciones desde etapas muy tempranas en la vida del ave afectando sutilmente su desarrollo pos-eclosión, hasta causar los problemas de piernas que son visibles solo en las etapas más avanzadas de la vida.

Las altas temperaturas y la hipoxia durante la última fase de incubación reducen el desarrollo óseo, incrementan la asimetría entre los huesos de las dos piernas, y disminuyen la expresión genética y la producción de la proteína colágeno tipo X, y del factor de crecimiento TGF- β , las cuales son moléculas importantes para la apropiada osificación del hueso (Oviedo-Rondón et al., 2006 a, b, 2008c; Oviedo-Rondón y Wineland, 2008; Oviedo, 2007, 2009a, b). Ciertos problemas como la discondroplasia tibial son observados después de las tres semanas de vida, pero su origen ha sido recientemente (Yalçin et al., 2007; Oviedo-Rondón et al., 2008) correlacionado con temperaturas subóptimas (36.9 ó 39.5 oC) durante los primeros 8 días de incubación. Inclusive, períodos cortos (6 h/día) de temperaturas excesivas (39 oC) durante la fase intermedia (10 a 18 días) de incubación puede también reducir el desarrollo de las tibias de los pollos. Es importante resaltar que el tratar de mejorar las condiciones de incubación puede reducir la incidencia de problemas de piernas en campo, pero no eliminarlos completamente pues estos también tienen un componente genético, influencia directa de la madre, y pueden ser inducidos después de la eclosión, por condiciones estresantes de alta temperatura y baja ventilación durante el transporte de los pollitos de la incubadora a la granja, altas temperaturas durante la cría en el galpón, o programas de luz muy intensivos sin periodos de oscuridad.

Tendones

El desarrollo y fortaleza del tendón del músculo gastrocnemio son cruciales para la locomoción de las aves. Fallas en el correcto alineamiento, estructura y tamaño de las fibras de colágeno y de glucosaminoglicanos que conforman el tendón afectan el caminar normal, pueden causar reducción en la movilidad y, consecuentemente, pueden afectar el desarrollo de los huesos. Nuestro grupo de investigación en la Universidad Estatal de Carolina del Norte evaluó el tamaño de las fibras de colágeno tipo I y de decorin en tendones de tres grupos de pollos con diferente manejo a nivel de las reproductoras e incubados bajo dos perfiles de temperatura de incubación. Los huevos fueron incubados bien a condiciones estándares para mantener la temperatura de las cáscaras de los huevos cercana a 37.8 oC, o con un perfil de temperatura para mantener las cáscaras a 37.3 oC durante la primera semana, 37.8 oC la segunda semana y >39 oC la última semana de incubación. A la eclosión, los machos fueron seleccionados y ubicados en jaulas para crecer hasta los 21 días. Los tendones fueron evaluados al nacimiento y a los 4, 14 y 21 días de edad. Los resultados indicaron que las fibras de colágeno fueron más gruesas en los tendones de pollos incubados bajo condiciones estándares que aquellas de pollos incubados bajo un perfil de baja temperatura en la primera semana y alta al final. No se observaron diferencias entre los grupos de pollos de diferente manejo alimenticio de las reproductoras. Los resultados de este estudio indican que las condiciones de incubación tienen más importancia en el desarrollo de los huesos y los tendones de la progenie que la restricción alimentaria de las reproductoras. Es importante resaltar que en este caso las diferencias en desarrollo del tendón, no incluyen inflamación o lesiones que si se observan cuando existe infecciones por reovirus.

Los efectos benéficos de una adecuada incubación sobre los problemas de patas en pollos también han sido observados bajo condiciones comerciales durante diez nacimientos en lotes de aproximadamente 80.000 pollos cada uno de una incubadora comercial y en granjas comerciales (Oviedo-Rondón et al., 2009c). Los resultados indicaron que los pollos obtenidos con el perfil de incubación mejor controlado de máquinas de una sola etapa tuvieron menor incidencia de dedos torcidos y mejor gait scores (Gait score 0) que los pollos provenientes de máquinas de etapa múltiple donde las condiciones de temperatura son más difíciles de controlar.

Ascites y muerte súbita.

Altas temperaturas de la cáscara (>38.5 oC) durante la última fase incubación (37.5 oC temperatura de máquina) alteran el desarrollo del músculo cardíaco y pueden causar cambios en la proporción entre el ventrículo derecho e izquierdo y aumento de la mortalidad especialmente la debida a ascites (Molenaar et al., 2011). La alta temperatura y bajo oxígeno agotan el glucógeno del músculo cardíaco, incrementan el ácido láctico y pueden llevar a alteraciones del desarrollo y la función cardíaca como las arritmias que pueden causar la muerte súbita en pollos. La hipoxia que puede causar estos problemas cobra más relevancia durante la última fase de incubación en embriones de huevos almacenados por más de 7 días, e incubadoras a más de 1500 msnm donde la concentración de oxígeno comienza a ser menor que a nivel del mar.

Inmunosupresión temporal o permanente

La inmunosupresión en pollitos debido a condiciones estresantes durante la incubación se puede deber a fallas en la maduración de ciertos órganos como el timo y la bursa a la cual migran células inmunitarias desde la médula ósea justo antes de la eclosión. El desarrollo de la bursa y el timo son reducidos por las altas temperaturas (37.8 vs 38.8 oC, 40.1-40.6 oC en la cáscara, a $65 \pm 2\%$ de HR) durante la incubación (Oznurlu et al., 2010). Este efecto puede ser observado en los pollitos de una semana por claros signos de inmunosupresión. Este aspecto de inmunosupresión temprana es vital para el desarrollo de los programas libres de antibióticos y de “no-antibiotics ever” NAE (Wijnen et al., 2020).

Cuando no hay buen pre-calentamiento, hay temperaturas bajas o altas durante la incubación, la ventana de nacimiento se amplía. Aquellos pollitos que ecloden muy temprano son más susceptibles a inmunosupresión. En algunos casos, es observado que varios pollitos ya están eclodiendo al momento de la transferencia, más de 36 horas antes que el resto del lote. El ayuno por 48 horas, causa demoras significativas en el desarrollo del sistema linfocitario asociado al intestino. En parte esta inmunosupresión puede deberse a la elevación en corticosterona observada en pollitos en ayuno (Wijnen et al., 2022b).

Estas demoras en respuestas celulares y humorales que también puede afectar migración de células a la bursa, puede causar inmunosupresión temporaria por hasta 12 días. Cuando los antígenos no son reconocidos temprano en la vida pueden dejar de generar respuesta. Bacterias patógenas tipo Salmonella o protozoas pueden colonizar el tracto intestinal causando que se conviertan en normales y difíciles de eliminar. Estos pocos pollos se convierten en replicadores de patógenos para el lote.

En 2017, con Borst et al. y en 2018 con Chen et al. evaluamos los efectos de incubación en la espondiolitis enterococcica. Observamos que la incubación subóptima causaba asimetría ósea, más lesiones de osteochondrosis dissecans que estaba asociada ($r = 0.65$) con lesiones de espondiolitis enterococcica. Estas lesiones pueden causar parálisis del ave cerca de la quinta semana de vida, aumento de la eliminación y claramente un problema de bienestar animal.

Recientemente Wijnen et al. (2022a) evaluó los efectos que un aumento de temperatura de la cáscara de 37.8 oC a 38.9oC, durante los días 7 a 14 días de incubación, en la respuesta a inoculación intratraqueal de E. coli a los 8 días post-eclosión. La temperatura elevada (38.9 oC) en la segunda semana lógicamente redujo la duración de la incubación en 4 horas (483 vs. 487 horas) y los pollitos fueron 0.1 cm más largos (18.7 vs 18.6 cm). Este tratamiento se unió al acceso temprano o tardío (48 horas post-eclosión) en un experimento factorial.

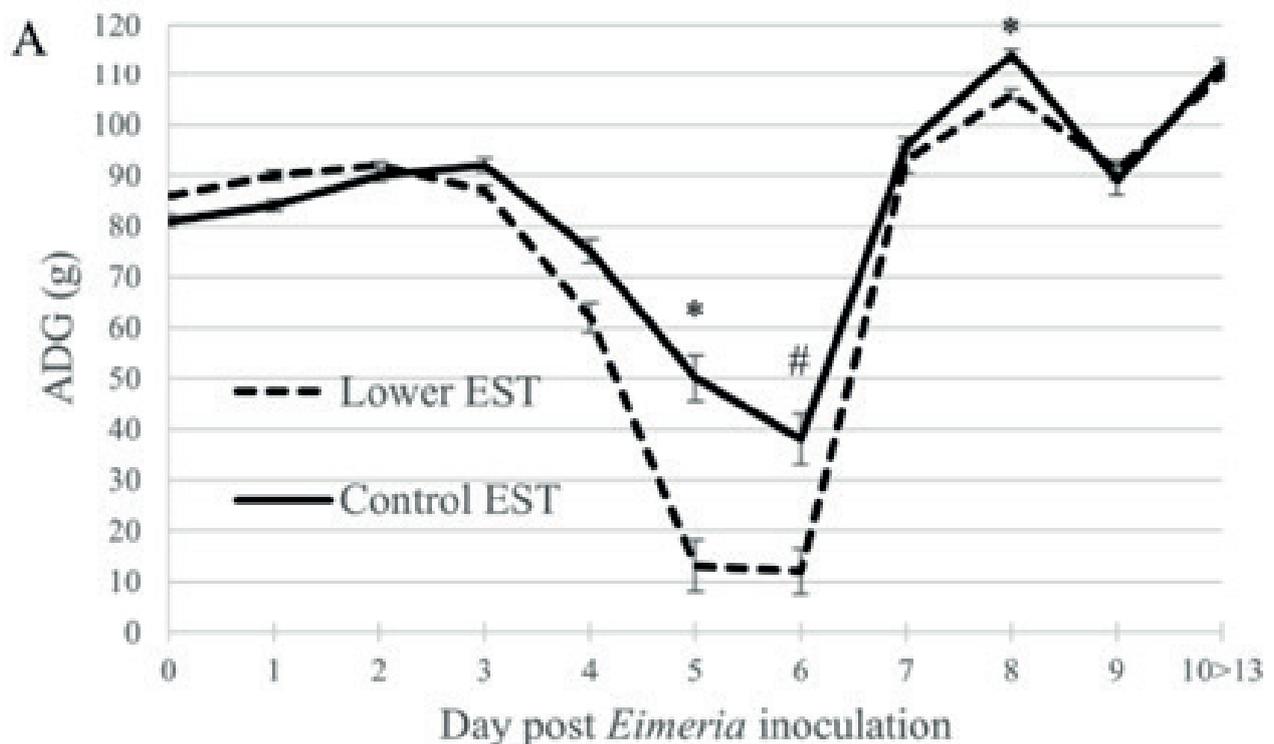
Estos investigadores evaluaron la incidencia y severidad de la colibacilosis sistémica y local. Los resultados indicaron que cuando la temperatura de la cáscara es correcta (37.8 oC) el acceso temprano al alimento ayuda a reducir las lesiones de colibacilosis (Tabla 1). Pero curiosamente en aves sobrecalentadas el acceso temprano al alimento causaba mayor infección sistémica.

El acceso temprano al alimento es importante para todo el desarrollo intestinal, el crecimiento, y principalmente por el desarrollo de todo el sistema inmunitario. Por ello varias empresas han desarrollado sistemas de acceso directo al alimento y agua justo después de la eclosión (Hatchbrood, SmartHatch, Patio) o nacimiento directamente en granja. Estos sistemas de nacedoras han probado ser altamente efectivas para reducir pododermatitis, problemas de patas, mortalidad temprana, y en ocasiones desempeño especialmente en progenie de reproductoras jóvenes.

Tabla 1. Efecto de la temperatura de la cascara durante la segunda semana de incubación y el tiempo de acceso al alimento después de la eclosión sobre la respuesta a inoculación con *E. coli* en pollos de engorde. Wijnen et al., 2022^a

Temperatura cascara 2 semana incubación.	Acceso alimento	Sin lesiones %	Lesion media (escore)	Aerosaculitis (UFC)	<i>E. coli</i> en sangre. Incidencia, %	Incidencia de lesiones sistémicas, %
37.8 °C	48 h post eclosión	34 ± 3.6	3.4 ± 0.37 ^a	159 ± 120.3	23 ± 4.0 ^a	30 ± 3.4 ^{ab}
	Temprano	41 ± 3.7	2.6 ± 0.32 ^b	81 ± 101.8	17 ± 4.0 ^{ab}	26 ± 3.3 ^{ab}
38.9°C	48 h post eclosión	39 ± 3.5	2.5 ± 0.29 ^b	104 ± 91.2	13 ± 3.2 ^b	22 ± 3.1 ^b
	Temprano	36 ± 3.6	3.2 ± 0.34 ^a	95 ± 85.8	24 ± 4.1 ^a	32 ± 3.5 ^a
<i>P</i> -value		0.67	<0.01	0.55	0.01	0.03

En otro trabajo del Dr. Wijnen y sus colaboradores (2021) fue posible observar que una pequeña reducción de temperatura de la cáscara de 37.8 oC a 36.7 oC durante los 17 y 19.5 días de incubación, causó una reducción en la respuesta de los pollos a una infección de coccidia ocasionada a los 21 días de edad. Mientras que la demora en acceder al alimento por 57 horas ocasionó menor crecimiento, pero no una marcada respuesta a la infección de coccidia (Figura 1).



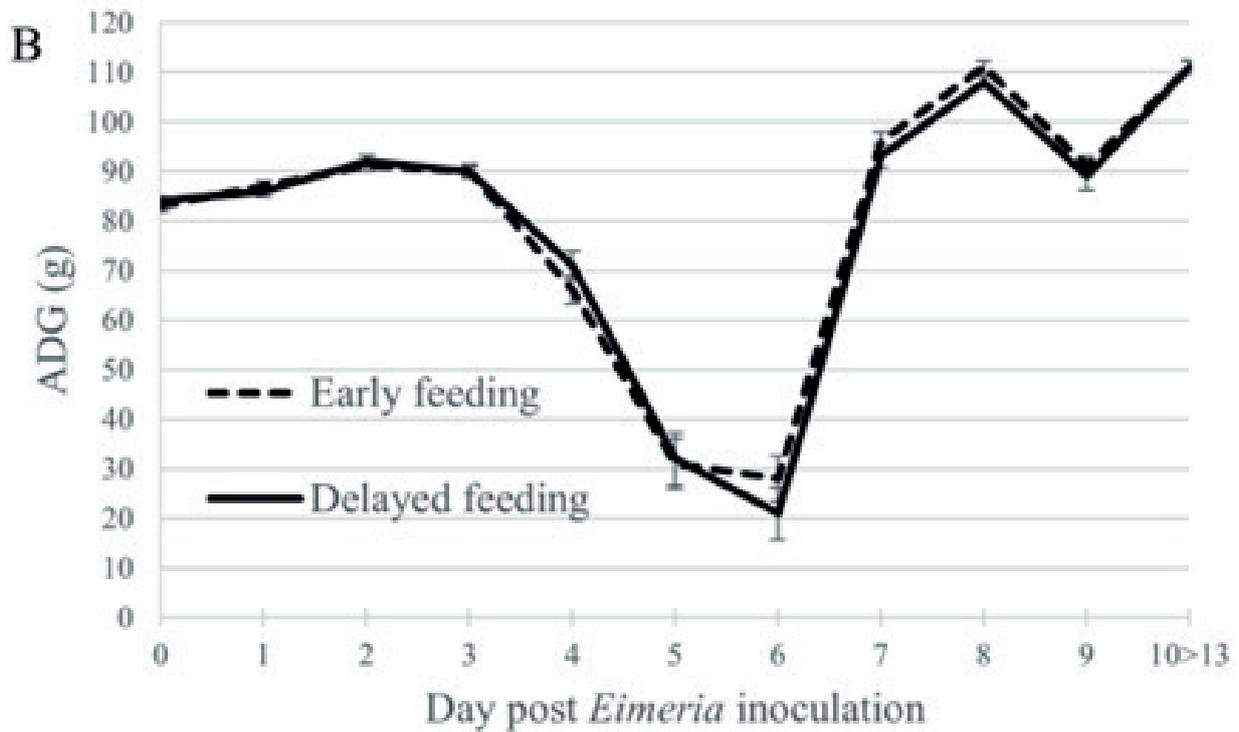


Figura 1. Ganancia de peso diaria (ADG en inglés) de aves desafiadas con coccidia a los 21 días de edad. Los datos muestran la respuesta pos-infección. Los tratamientos incluían A. Reducción de la temperatura de la cascara de 37.8 oC (Control) a 36.7 oC (Lower EST) y B. acceso inmediato al alimento después de la eclosión (Early feeding) o demora de 57 horas (Delayed feeding). Wijnen et al., 2021.

Además, se observó que pollos que sufrieron la reducción en la temperatura de cáscara (36.7 oC) entre el día 17 y 19.5 oC, tuvieron mayor replicación de oocistos de (*E. maxima*) por gramo de heces que aquellos incubados con temperatura de cáscara (37.8 oC), independientemente del tiempo al que recibieron el alimento (Figura 2). Estos autores no detectaron efectos de los tratamientos en disbiosis o enteritis necrótica.

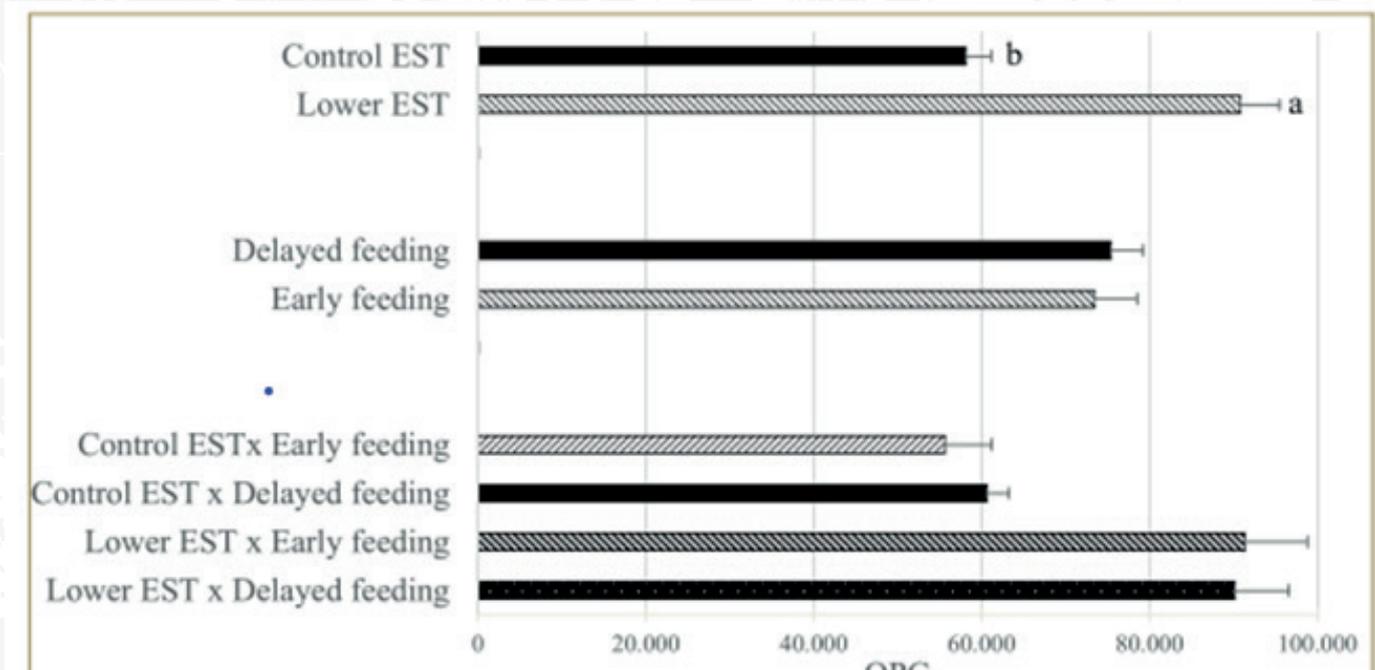


Figura 2. Número de oocistos de *Eimeria* spp. por gramo de heces en pollos desafiados a los 21 días de edad. Efectos de la interacción temperatura de la cascara entre días 17 and 19.5 y acceso al alimento ($P < 0.05$). Los tratamientos incluían temperatura de la cáscara ($P < 0.05$) de 37.8 °C (Control) a 36.7 °C (Lower EST) y acceso inmediato al alimento después de la eclosión (Early feeding) o demora de 57 horas (Delayed feeding) ($P < 0.05$). Wijnen et al., 2021

Pododermatitis.

La pododermatitis es un problema de salud aviar común a todas las especies aviares. Nuestras investigaciones indicaron que condiciones de incubación alteran el desarrollo de la piel de la superficie plantar de las aves. Un grupo de investigación Holandés reportó en el 2012, que las incubadoras jugaban un papel importante en la variación observada en incidencia de pododermatitis en el campo después de las condiciones de la granja. Nuestra investigación en los últimos 10 años concluyó que condiciones de estrés por alta temperatura en la nacedora parecen disminuir el desarrollo de varias camadas de la piel, lo que parece ser un efecto negativo. Una incubación óptima ayuda a obtener pollos con mejor estructura de la piel a los 22 días de edad y estrés de incubación es un factor que aumenta la incidencia de pododermatitis o susceptibilidad a sufrirla cuando las condiciones de la cama están muy húmedas. Las aves expuestas a condiciones subóptimas también expresan citoquinas que estimulan la atracción de células a la piel del cojinete plantar y desarrollo de un proceso inflamatorio no específico que se puede ulcerar.

Tracto gastrointestinal.

Nuestros resultados de investigación y a nivel comercial indican que las temperaturas elevadas durante los últimos 4 días de incubación tienen efectos adversos sobre el crecimiento del embrión y el desarrollo del tracto gastrointestinal. Las elevadas temperaturas reducen la masa de los tejidos de la molleja, proventrículo, hígado, intestinos, y la actividad enzimática. Por ejemplo, nuestro grupo de investigación ha comprobado que el peso promedio de los pollitos se reduce en solo 5%, lo que indicaría entre 2 ó 3 gramos menos; pero el tamaño relativo al peso vivo del proventrículo, la molleja y del intestino se reduce en 13 y 16%, respectivamente (Leksrisompong et al., 2007; Wineland et al., 2006a, b). De la misma manera hemos observado que la actividad de la enzima maltasa disminuye drásticamente en pollitos provenientes de huevos sobrecalentados en comparación con pollitos que fueron incubados a temperaturas óptimas. Estos efectos tienen implicaciones en la capacidad digestiva de los pollos al nacimiento y probablemente en la incidencia de problemas intestinales y resistencia a parásitos.

Músculos.

La temperatura de incubación puede tener un efecto sobre el desarrollo temprano de los músculos. Esa influencia puede ser positiva cuando es un estímulo de temperatura entre 9 y 12 días de incubación solo por 6 horas o menos y no más de un grado centígrado. Pero es más común observar el efecto negativo cuando hay estrés calórico de un grado o más en los últimos 3 o 4 días de incubación. Algunas investigaciones indican que temperaturas un poco más altas de lo recomendadas durante los días 9 y 12 de incubación por 2 a 6 horas/día incrementan el número de fibras en la pierna y pechuga y consecuentemente el total de carne producida al momento de sacrificio. Las temperaturas altas (39.6°C/6h/día) entre el 10 y hasta el día 18 pueden inducir mejor adaptación a altas temperaturas en los pollos entre la 3 y 6 semana post-eclosión que manteniendo las temperaturas a 37.8°C (Yalçin et al., 2010). Los resultados de la investigación de Yalçin et al. (2010) indicaron que un aumento en la temperatura de incubación del día 10 al 18 durante 6 horas al día no afectó el peso de los pollitos y minimiza los efectos negativos del estrés por calor sobre el peso al sacrificio y el rendimiento de pechuga cuando los pollos fueron expuestos a ciclos diarios de temperatura elevada del día 21 a 42.

En contraste, nuestra investigación con pollos y patos, revisada recientemente en Oviedo-Rondón et al. (2021) indica que temperaturas de cáscara cercanas a 39 °C durante los últimos 3 o 4 días de incubación, y la hipoxia tienen un efecto negativo sobre los músculos del picaje, la pierna y la pechuga. Tanto el músculo del picaje, el cual es un músculo de permanencia transitoria y el músculo de la pierna, tienen importancia durante el proceso de eclosión y su degradación está correlacionada con mortalidad al momento de la eclosión.

El músculo de la pechuga no es utilizado en la eclosión, pero puede ser una fuente de sustrato de energía si el saco vitelino y las reservas de glucógeno de los músculos son limitadas. El músculo de la pechuga es generalmente más rico en glucógeno en pollos y pavos que los otros dos músculos, por lo cual también actúa como reserva de energía y como fuente de aminoácidos gluconeogénicos, en caso dado que se necesite glucosa. Pero después de catabolizar glucógeno, puede venir un catabolismo de proteínas que degrada las fibras musculares las cuales tienen muy baja replicación después del nacimiento y por lo tanto es muy importante mantenerlas para obtener buena producción de carne de pechuga en el pollo. En nuestros estudios hemos observado degradación de las fibras musculares en las pechugas de pollos sometidos a elevadas temperaturas durante la última fase de incubación, que puede afectar la calidad de la carne al sacrificio. Estos defectos después son observados como mayor incidencia de miopatías como mayor incidencia de músculo de madera en la carne de pollos sacrificados a los 49 a 56 días. Igualmente, las propiedades como el color, pH y el tamaño de las fibras se ven alteradas.

Desempeño productivo de los lotes

Todos los factores de incubación, pueden eventualmente afectar eventualmente la salud, el bienestar y el desempeño productivo de los lotes de aves. La temperatura parece ser el factor de incubación que más afecta a los embriones. En los proyectos de investigación que hemos conducido a nivel experimental o comercial estudiamos principalmente los efectos de perfiles de temperatura en los cuales no se obtiene la temperatura adecuada de la cáscara (37.8°C, 100°F) durante los primeros 3 días de incubación y existen temperaturas de la cáscara superiores a 38.5°C (101.3°F) durante los últimos 3 días de incubación. Estas condiciones se dan frecuentemente cuando no se precalienta los huevos antes de entrar a la máquina, se utilizan máquinas de carga múltiple, y principalmente se mantiene una temperatura constante de nacedora entre 98.0°F y 97.5°F hasta la eclosión. Es decir, estas condiciones todavía se observan frecuentemente en condiciones comerciales.

Este tratamiento de incubación subóptima generalmente lo comparamos con temperaturas de incubación en los que mantenemos la temperatura de la cáscara de los huevos cercana a 100°F durante los 21 días de incubación o comparamos también con casos en donde solo se mantiene la temperatura de la nacedora constante y los huevos se sobrecalientan durante este período. En todas las ocasiones en donde hemos evaluado estos efectos hemos observado reducciones en el desempeño de los grupos de aves independientemente de la línea genética o de tratamientos realizados en las reproductoras o después en la granja.

El estrés que algunos embriones pueden estar expuestos durante la incubación se refleja en el tamaño del embrión, la organogénesis, el desarrollo fisiológico, la capacidad de eclosión y por lo tanto se refleja en el desempeño del pollito (Decuypere y Michels, 1992; Yalçın y Siegel, 2003; Tazawa et al., 2004; Oviedo-Rondón et al., 2009; Molenaar et al., 2011). A manera de ejemplos en las Tablas 1 y 2 se presentan resultados de ganancia de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia experimentos recientes con pollos Cobb. En los dos experimentos se evidencia el efecto deletéreo de los perfiles de temperatura subóptimos en el desempeño de los pollos durante las dos primeras semanas de vida y este efecto continúa siendo significativo hasta casi el final del ciclo productivo.

Tabla 1. Efecto de dos perfiles de temperatura durante la incubación en el desempeño de pollos de engorde Cobb 500 durante las dos primeras semanas de vida. Experimento 1.

Perfil de temperatura durante incubación	Ganancia de peso 1-14 días, g			Consumo de alimento, g	Conversión alimenticia, g:g
	Hembras	Machos	Mixtos		
Optima (100°F temp. cascara) ¹	453 ^a	474 ^a	459 ^a	583 ^a	1.27 ^a
Baja (primeros 3 d)- Alta (3 d final) ²	429 ^b	461 ^b	435 ^b	559 ^b	1.30 ^b
Error estándar	4	7	6	6	0.01
Fuente de variación	----- Valores de probabilidad -----				
Perfil de temperatura durante incubación	<0.001	0.033	<0.001	<0.001	<0.001

¹ Temperatura adecuada de la cáscara (37.8°C, 100°F) durante los 21 días de incubación.

² Temperatura de la cáscara baja (37.4°C, 99.5°F) durante los primeros 3 días de incubación y temperaturas de la cáscara superiores a 38.5°C (101.3°F) durante los últimos 3 días de incubación obtenidas al mantener la temperatura de la nacedora constante entre 98.0°F y 97.5°F.

Tabla 2. Efecto de tres perfiles de temperatura durante la incubación en el desempeño de pollos de engorde Cobb 500 durante las dos primeras semanas de vida. Experimento 2.

Perfil de temperatura durante incubación	Ganancia de peso 1-14 días, g			Consumo de alimento, g	Conversión alimenticia, g:g
	Hembras	Machos	Mixtos		
Optima (100°F temp. cascara) ¹	458 ^{ab}	464 ^a	459 ^{ab}	576	1.13
Optima – Alta (3 d final) ²	464 ^a	465 ^a	463 ^a	584	1.14
Baja (primeros 3 d)- Alta (3 d final) ³	452 ^b	451 ^b	451 ^b	574	1.14
Error estándar	2	4	3	6	0.01
Fuente de variación	----- Valores de probabilidad -----				
Perfil de temperatura durante incubación	0.0360	0.0170	0.0144	0.1818	0.2706

¹ Temperatura adecuada de la cáscara (37.8°C, 100°F) durante los 21 días de incubación.

² Temperatura adecuada de la cáscara (37.8°C, 100°F) durante 18 días de incubación y temperaturas de la cáscara superiores a 38.5°C (101.3°F) durante los últimos 3 días de incubación obtenidas al mantener la temperatura de la nacedora constante entre 98.0°F y 97.5°F.

³ Temperatura de la cáscara baja (37.4°C, 99.5°F) durante los primeros 3 días de incubación y temperaturas de la cáscara superiores a 38.5°C (101.3°F) durante los últimos 3 días de incubación obtenidas al mantener la temperatura de la nacedora constante entre 98.0°F y 97.5°F.

Conclusiones

Las incubadoras juegan un papel fundamental en mantener la salud y el bienestar animal de las parvadas. Para las auditorías de bienestar animal se debe prestar atención en las condiciones ambientales del cuarto de procesamiento de los pollitos y en los vehículos de transporte a la granja de los mismos. Las condiciones de temperatura y ventilación especialmente durante la fase inicial y final de la incubación tienen efectos permanentes en el desarrollo del embrión que afectan todo su crecimiento post-eclosión y pueden afectar la inmunidad, el desarrollo de huesos, músculos tendones, piel, sistema inmunitario, entre otros. Estos efectos pueden ser observados en la salud, y bienestar animal de las aves de corral. Estos incluyen aumento en la mortalidad de primera semana, problemas de patas, de columna y locomoción. Igualmente, muertes súbita y ascitis, problemas infecciosos, baja respuesta a las vacunas aplicadas en la incubadora, mayor prevalencia de *E. coli*, Salmonelosis, y coccidias pueden ser relacionados con incubación subóptima y estrés durante la incubación. La óptima incubación puede ayudar a reducir problemas como miopatías y problemas de calidad de la carne, problemas de salud intestinal y pododermatitis. Todos estos impactos en desarrollo tienen un impacto en la productividad de los lotes que se pueden observar en la vida post-eclosión en menor crecimiento y eventualmente consumo y conversión alimenticia también pueden ser afectados.

Referencias

- Borst, L. B., Suyemoto, M. M., Sarsour, A. H., Harris, M. C., Martin, M. P., Strickland, J. D., Oviedo, E. O. and H. J. Barnes. 2017. Pathogenesis of enterococcal spondylitis caused by *Enterococcus cecorum* in broiler chickens, *Vet. Pathol.* 54(1): 61-73. doi:10.1177/0300985816658098.
- Branum, S. R., H. Tazawa, and W. W. Burggren. 2016. Phenotypic developmental plasticity induced by preincubation egg storage in chicken embryos (*Gallus gallus domesticus*), *Physiol Rep.*, 4, e12712. doi:10.14814/phy2.12712.
- Chen, L. R., M. M. Suyemoto, A. H. Sarsour, H. A. Cordova, E. O. Oviedo-Rondón, H. J. Barnes, and L. B. Borst. 2018. Prevalence and severity of osteochondrosis of the free thoracic vertebra in three modern broiler strains and the Athens Canadian Random Bred control broiler, *Avian Pat.* 47(2): 152-160. doi:10.1080/03079457.2017.1388499.
- Christensen, V. L., M. J. Wineland, J. L. Grimes, E. O. Oviedo, P. S. Mozdziak, D. T. Ort, and K. M. Mann. 2007. Effect of incubator temperature and oxygen concentration at the plateau stage in oxygen consumption on turkey embryo muscle growth and development, *Int. J. Poult. Sci.* 6: 406-412. doi:10.3923/ijps.2007.406.412.
- Da Costa, M. J., E. O. Oviedo-Rondón, M. Wineland, and D. Jeffrey. 2016. Pathogeny of fatigued walking condition in pekin ducks. *Avian Dis.*, 60(4): 731-738. doi:10.1637/11292-100315-RegR.
- Eusebio-Balcazar, P., E. O. Oviedo-Rondón, M. J. Wineland, M. Pérez Serrano, and J. Brake. 2014. Effects of broiler breeder-feeding programme and feeder space change at photostimulation using maize-or wheat-based diets on eggshell properties and progeny bone development. *Br. Poult. Sci.*, 55(3): 380-390. doi:10.1080/00071668.2014.921665.
- Güz, B. C., R. Molenaar, I. C. De Jong, B. Kemp, M. Van Krimpen, and H. Van den Brand. 2021. Effects of green light emitting diode light during incubation and dietary organic macro and trace minerals during rearing on tibia characteristics of broiler chickens at slaughter age, *Poult. Sci.* 100(2): 707-720. doi:10.1016/j.psj.2020.11.042.
- Leksrisompong, N., H. Romero-Sanchez, P. W. Plumstead, K. E. Brannan, and J. Brake. 2007. Broiler incubation. 1. Effect of elevated temperature during late incubation on body weight and organs of chicks. *Poult. Sci.* 86: 2685-2691. doi:10.3382/ps.2007-00170.

- Molenaar, R., R. Hulet, R. Meijerhof, C. M. Maatjens, B. Kemp, and H. Van den Brand. 2011b. High eggshell temperatures during incubation decrease growth performance and increase the incidence of ascites in broiler chickens, *Poult. Sci.*, 90: 624–632. doi:10.3382/ps.2010-00970.
- Møller, A. P., G. S. Sanotra, and K. S. Vestergaard. 1999. Developmental instability and light regime in chickens (*Gallus gallus*). *Appl. Anim. Behav.* 62(1): 57-71. doi:10.1016/S0168-1591(98)00213-5.
- Oviedo-Rondón E. O. 2022 Optimizing the health of broilers. In: *Optimizing poultry flock health*. Ed. Sjaak de Wit. Burleigh Dodds Science Publishing Limited. eBook ISBN 9781003286356.
- Oviedo-Rondón E. O. 2023. Poultry chick embryo development and skeletal growth. In: *Embryo development and hatchery practice in poultry production*. Ed. Nick French. Burleigh Dodds Science Publishing Limited. ISBN-10:1801462526, ISBN-13:978-1801462525.
- Oviedo-Rondón E. O., S. G. Velleman, and M. J. Wineland. 2021. The role of incubation conditions in the onset of avian myopathies. In: *Avian Muscle Development and Growth Mechanisms: Association with Muscle Myopathies and Meat Quality*. Eds. Sandra G. Velleman and Massimiliano Petracci. Lausanne: Frontiers Media SA. doi: 10.3389/978-2-88966-314-9.
- Oviedo-Rondón, E. O. and M. J. Wineland. 2011. Incubation distress easily leads to splayed legs. *World's Poultry*. <http://www.https://www.poultryworld.net/poultry/incubation-distress-easily-leads-to-splayed-legs/> (accessed 6 January, 2023).
- Oviedo-Rondón, E. O., J. Small, M. J. Wineland, V. L. Christensen, J. L. Grimes, S. V. L. Funderburk, D. T. Ort, and K. M. Mann. 2008a. Effects of incubator temperature and oxygen concentration during the plateau stage of oxygen consumption on turkey embryo long bone development. *Poult. Sci.*, 87: 1464-1470. doi:10.3382/ps.2007-00470.
- Oviedo-Rondón, E. O., J. Small, M. J. Wineland, V. L. Christensen, P. S. Mozdziak, M. D. Koci, S. V. L. Funderburk, D. T. Ort, and K. M. Mann. 2008b. Broiler embryo bone development is influenced by incubator temperature, oxygen concentration and eggshell conductance at the plateau stage in oxygen consumption, *Br. Poult. Sci.*, 49: 666-676. doi:10.1080/00071660802433149.
- Oviedo-Rondón, E. O., S. G. Velleman, and M. J. Wineland. 2020. The role of incubation conditions in the onset of avian myopathies, *Front. Physiol.*, 11: 545045. doi:10.3389/fphys.2020.545045.
- Oviedo-Rondón, E. O., M. J. Wineland, S. Funderburk, J. Small, H. Cutchin, and K. M. Mann. 2009^a. Incubation conditions affect leg health in large, high-yield broilers, *J. Appl. Poultry Res.* 18: 640-646. doi:10.3382/japr.2008-00127.
- Oviedo-Rondón, E. O., M. J. Wineland, J. Small, H. Cutchin, A. McElroy, A. Barri, and S. Martin. 2009^b. Effect of incubation temperatures and chick transportation conditions on bone development and leg health, *J. Appl. Poultry Res.* 18: 671-678. doi:10.3382/japr.2008-00135.
- van der Pol, C. W., I. A. M. van Roover-Reijrink, C. M. Maatjens, I. Van den Anker, B. Kemp, and H. Van den Brand. 2014. Effect of eggshell temperature throughout incubation on broiler hatchling leg bone development, *Poult. Sci.* 93(11): 2878-2883. doi:10.3382/ps.2014-04210.
- van der Pol, C. W., I. A. van Roover-Reijrink, G. Aalbers, B. Kemp, and H. van den Brand, H. 2017. Incubation lighting schedules and their interaction with matched or mismatched post hatch lighting schedules: Effects on broiler bone development and leg health at slaughter age, *Res. Vet. Sci.* 114: 416-422. doi:10.1016/j.rvsc.2017.07.013.
- van der Pol, C. W., I. A. van Roover-Reijrink, S. W. Gussekloo, S. Kranenbarg, K. M. Leon-Kloosterziel, M. H. van Eijk-Priester, M. Zeman, B. Kemp, and H. van den Brand. 2019a. Effects of lighting schedule during incubation of broiler chicken embryos on leg bone development at hatch and related physiological characteristics, *Plos one* 14(8): p.e0221083. doi:10.1371/journal.pone.0221083.

van der Pol, C. W., I. A. van Rooyert-Reijrink, C. M. Maatjens, S. W. Gussekloo, S. Kranenbarg, J. Wijnen, R. P. Pieters, H. Schipper, B. Kemp, and H. van den Brand. 2019b. Light-dark rhythms during incubation of broiler chicken embryos and their effects on embryonic and post hatch leg bone development. *PLoS One* 14(1): p.e0210886. doi:10.1371/journal.pone.0210886.

Wijnen, H. J., H. Van den Brand, A. Lammers, I. A. M. van Rooyert-Reijrink, C. W. Van der Pol, B. Kemp, and R. Molenaar. 2020. Effects of eggshell temperature pattern during incubation on primary immune organ development and broiler immune response in later life. *Poult. Sci.* 99(12): 6619-6629. doi:10.1016/j.psj.2019.10.02.

Wijnen, H. J., C. W. van der Pol, A. Papanikolaou, A. Lammers, B. Kemp, H. van den Brand, V. Perricone, M. G. Matthijs, and R. Molenaar. 2022a. Broiler resilience to colibacillosis is affected by incubation temperature and post-hatch feeding strategy, *Poult. Sci.*, 101(10): 102092. doi:10.1016/j.psj.2022.102092.

Wijnen, H. J., C. W. van der Pol, I. A. van Rooyert-Reijrink, J. De Smet, A. Lammers, B. Kemp, H. van den Brand, and R. Molenaar. 2021. Low incubation temperature during late incubation and early feeding affect broiler resilience to necrotic enteritis in later life. *Frontiers in Veterinary Science* 1393. doi.org/10.3389/fvets.2021.784869

Wineland, M. J., V. L. Christensen, I. Yildrum, B. D. Fairchild, D. T. Ort, and K. M. Mann. 2006a. Incubator temperature and oxygen concentration at the plateau stage in oxygen consumption affects intestinal maturation of broiler chicks. *Int. J. Poultry Sci.*, 5: 229-240. doi:10.3923/ijps.2006.229.240.

Wineland, M. J., V. L. Christensen, I. Yildrum, B. D. Fairchild, D. T. Ort, and K. M. Mann. 2006b. Incubator environment interacts with genetic line of broiler at the plateau stage to affect embryo plasma thyroxine and triiodothyronine concentrations, *Int. J. Poultry Sci.* 5: 714-722. doi:10.3923/ijps.2006.714.722.

Yalçın, S. and E.O. Oviedo-Rondón. 2023. Editorial: Avian Incubation Conditions: Role in embryo development, physiology, and adaptation to the post-hatch environment. *Frontiers in Physiology: Section Avian Physiology.* 14:1-2 doi.org/10.3389/fphys.2023.1130982

Yalçın, S., H. B. Molayoglu, M. Baka, O. Genin, and M. Pines. 2007. Effect of temperature during the incubation period on tibial growth plate chondrocyte differentiation and the incidence of tibial dyschondroplasia. *Poult. Sci.* 86(8): 1772-1783. doi:10.1093/ps/86.8.1772.

Yalçın, S., S. Özkan, and T. Shah. 2022. Incubation temperature and lighting: Effect on embryonic development, post-hatch growth, and adaptive response. *Front. Physiol.* 873. doi:10.3389/fphys.2022.899977.