



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

“EFECTO DEL ESTRÉS Y DESEMPEÑO PRODUCTIVO EN  
PAVOS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE  
ALOJAMIENTO”

TESIS

Que para obtener el título de  
Médica Veterinaria Zootecnista

P R E S E N T A:

Cabello Durán July Marlene Guadalupe

Asesora: Dra. Elein Hernández Trujillo

Coasesora: Dra. Patricia Mora Medina.

Cuatitlán Izcalli, Estado de México, 2022.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
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.

**Efecto del estrés y desempeño productivo en pavos bajo diferentes condiciones de alojamiento**

Que presenta la pasante: **July Marlene Guadalupe Cabello Durán**  
Con número de cuenta: **313070226** 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 10 de junio de 2022.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Dr. Juan Carlos Del Río García	
<b>VOCAL</b>	M.V.Z. Francisco Javier Cervantes Aguilar	
<b>SECRETARIO</b>	Dra. Elein Hernández Trujillo	
<b>1er. SUPLENTE</b>	M.V.Z. Yuliana Katya Hernández Tenorio	
<b>2do. SUPLENTE</b>	M. en M.V.Z. María de Jesús Nava Ramírez	

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

## ...Agradecimientos...

A mi familia por ser el sustento y apoyo, por alimentar mi esfuerzo y por enseñarme a recompensar con amor y cariño, por la mucha o poca paciencia, por ser pilar y tope en mi vida, mil gracias por lo que han hecho hasta hoy.

A mi universidad, FES Cuautitlán por permitirme cumplir mi sueño y brindarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para el proceso de esta investigación, a mi asesora la doctora Elein Hernández Trujillo, por su infinita paciencia y todas las oportunidades brindadas, la confianza y sobre todo por el enorme mundo que me permitió comprender de la veterinaria.

Un especial y extenso agradecimiento a las mejores personas que he conocido en este mundo, mis amigas y apoyo moral y psicológico de este ser desastroso, Mariana, por ser tu misma; Gina, por enseñarme a quererme tal cual soy; Dafne, por escucharme y ser mi pretexto de distraerme, Jessy, porque aún lejos has sido esa alma centrada en mi mente que me habla con calma.

Un muy extenso agradecimiento a la mejor amiga que he tenido jamás, quien me enseñó a ser lo que verdaderamente deseo en la vida, por ser la primera que conoce a mi verdadero yo y pensar que está bien ser así, por ser el mejor calmante en mi vida y sobre todo, por hacerme arriesgar las cosas y cambiar un plan de vida que no me hacía feliz por lo que realmente me gusta, por sonreírme cuando lo necesito... ¿necesito ponerte todo? Mil gracias, Rebeca, maw y japapa.

A mis dos superhéroes que no conozco, pero quienes han inspirado la pasión en mis trabajos, artistas en sus ramas, fuente de mi alegría e inspiración, quienes no me han dejado bajar el listón de la excelencia: Yuzuru y Dimash, dedicados a inspirar a la distancia con sus acciones, muchas gracias mis niños preciosos.

***You can let it go, you can throw a party full of every one you know.***

***You can start a family who will always show you love,***

***You don't have to be sorry...***

***for leavin' and growin' up.***

*Matilda - H.S.*

## Resumen.

La Industria avícola, presenta la mayor tasa de crecimiento dentro de las actividades agrícolas, pecuarias y pesqueras (UNA,2021). Sin embargo, existe poca normativa acerca de las buenas prácticas pecuarias y bienestar a nivel nacional basadas en evidencias científicas. Se define bienestar como “el estado físico y mental de un animal en relación con las condiciones en las que vive y muere” (OIE,2022).

Se ha demostrado que las altas densidades en aves generan cambios ambientales que impactan en la salud de las aves y su rendimiento (Bessei et.al., 2006; Esteves et al. , 2017; Bartz et al ,2020; Dawkins et al, 2004), sin embargo, las recomendaciones científicas y estándares comerciales internacionales del espacio vital y densidad animal para la producción de pavos difieren significativamente entre sí (Erasmus et al, 2017), de igual forma en la literatura no existe una referencia específica sobre efecto sobre el aumento de edad, y la correlación con el estado de salud (Lindenwald et al., 2021) pero está demostrado que el estrés tiene consecuencias directas y negativas para el bienestar del pavo y lo afecta aún más a través de efectos perjudiciales sobre la respuesta inmunitaria (Plazas et al ,2018). Como parte de esta respuesta fisiológica ante el estrés, en aves se ha utilizado como indicador de estrés crónico la relación Heterófilo -Linfocito (H:L) (Scanes et al, 2016). Es importante mencionar que la respuesta al estrés tiene efectos duraderos en la respuesta inmune y dependerá de si es crónica o aguda los cambios asociados (Struthers et al, 2016), , entre los que podemos encontrar aumento en el peso del hígado, bazo, tejido adiposo e intestino (Scanes et.al., 2016). Por ello el presente proyecto tuvo el fin de evaluar los efectos durante un ciclo de engorda de pavos Nicholas con el uso de diferentes densidades animales, así como el uso del enriquecimiento ambiental (pelotas, perchas y pacas de alfalfa).

Se utilizaron 354 pavos, los cuales se agruparon en grupos de alta y baja densidad (n=37 vs. n=22; respectivamente), se realizó toma de muestra las 8,10, 12 y 14 semanas de edad para realizar frotis sanguíneos que se tiñeron posteriormente para obtener la relación H:L. A las 14 semanas se seleccionaron 5 animales de los cuales se pesó y midió hígado y bazo para ver si hubo diferencias significativas respecto al tratamiento y condiciones de alojamiento.

En general se encontraron diferencias en la relación H:L en pavos a las 8, 10 , 12 y 14 semanas de edad bajo condiciones diferentes de densidad y la presencia o no de enriquecimiento. Respecto a los índices productivos, se encontraron diferencias entre semanas y también entre tratamientos por densidad y la presencia de enriquecimiento. Contrario a lo que sucedió en la morfometría de órganos (hígado y bazo) donde no se encontraron diferencias en peso (g), solo una diferencia estadística en el ancho del hígado.

En conclusión, el tratamiento con baja densidad y enriquecimiento presentó mejores resultados en cuanto a parámetros productivos y una respuesta adaptativa mejor al estrés reflejada en su relación H:L.

## Contenido

Resumen.....	I
Índice de tablas. ....	IV
Índice de Figuras. ....	V
1.- Introducción.....	1
1.1 Situación actual y perspectiva de la avicultura. ....	1
1.2 Meleagricultura en México. ....	2
1.3 Bienestar animal en pavos ..... 3	3
1.4 Impacto de la densidad en el bienestar en pavos..... 5	5
1.5 Estrés en aves..... 7	7
1.5.1 Relación Heterófilo-Linfocito (H:L)..... 10	10
1.5.2 Importancia de órganos linfoides e hígado en el estrés. .... 16	16
2.- Justificación..... 17	17
3.- Hipótesis..... 17	17
4.- Objetivos. .... 17	17
4.1.-Objetivo general..... 17	17
4.2.-Objetivos específicos. .... 17	17
5.- Material y métodos..... 17	17
5.1.-Financiamiento y aprobación bioética de uso de animales..... 17	17
5.2.-Características generales de la producción pecuaria. .... 18	18
5.3.-Diseño experimental y procedimiento. .... 18	18
5.4.-Metodología de toma y procesamiento de muestras. .... 19	19
5.4.1.- Muestra sanguínea para relación H:L. .... 19	19
5.4.2.- Parámetros productivos..... 20	20
5.4.3.- Morfometría de órganos linfoides. .... 20	20
5.5 Pruebas estadísticas. .... 20	20
6.- Resultados..... 20	20
6.1 Relación Heterófilo-Linfocito. .... 20	20
6.2 Parámetros productivos..... 22	22
6.3.- Morfometría de órganos linfoides. .... 25	25
7.- Discusión ..... 26	26
7.1 Relación H:L..... 26	26

7.2 Parámetros productivos .....	28
7.3 Relación morfométrica.....	29
8.- Conclusiones .....	29
9.- Financiamiento.....	30
10.- Referencias.....	30

## Índice de tablas.

<b>Tabla 1. Producción nacional de principales productos pecuarios en 2022.</b> .....	1
<b>Tabla 2.- Producción y consumo de Pavo.</b> .....	3
<b>Tabla 3- Parámetros esperados para líneas Nicholas.</b> .....	3
Tabla 4.- Normas y pautas generales de densidad de población para pavos de carne. ....	5
Tabla 5.- Promedios de relación H:L en la producción de pavos comerciales. ....	12
Tabla 6.- Relación Heterófilo-linfocito en pavos de línea comercial Nicholas en 4 edades (8,10,12,14 semanas) según tipo de población (alta y baja) con y sin enriquecimiento ambiental (Promedio $\pm$ DE) .....	21
Tabla 7.- Pesos (Kg) de pavos de línea comercial Nicholas en 4 edades (8,10,12,14 semanas) según tipo de población (alta y baja) con y sin enriquecimiento ambiental (Promedio $\pm$ DE). ....	22
Tabla 8.- Ganancia de peso (Kg) de los pavos de línea comercial Nicholas en 4 edades (8,10,12,14 semanas) según tipo de población (alta y baja) con y sin enriquecimiento ambiental (Promedio $\pm$ DE). ....	23
Tabla 9.- Conversión alimenticia (kg) en pavos de línea comercial Nicholas en 4 edades (8,10,12,14 semanas) según tipo de población (alta y baja) con y sin enriquecimiento ambiental (Promedio $\pm$ DE). ....	24
Tabla 10.-Rechazo de alimento (kg) de los pavos de línea comercial Nicholas en 4 edades (8,10,12,14 semanas) según tipo de población (alta y baja) con y sin enriquecimiento ambiental (Promedio $\pm$ DE). ....	24
Tabla 11.- Alimento consumido (kg) de los pavos de línea comercial Nicholas en 4 edades (8,10,12,14 semanas) según tipo de población (alta y baja) con y sin enriquecimiento ambiental (Promedio $\pm$ DE). ....	25
Tabla 12.- Pesos (g) y medidas (cm) de órganos <i>post mortem</i> en pavos de línea comercial Nicholas en 4 edades (8,10,12,14 semanas) según tipo de población (alta y baja) con y sin enriquecimiento ambiental (Promedio $\pm$ DE). ....	25



## Índice de Figuras

Figura 1.- Efectos de la alta densidad de población de aves sobre la salud, el rendimiento y el bienestar de las aves. ....	7
Figura 2.- Organización del eje hipotálamo-hipófisis-adrenocortical (HPA). ....	8
<b>Figura 3.- Grupos de tratamientos formados durante el experimento. ....</b>	<b>19</b>
Figura 4.- Heterófilos y linfocitos vistos al microscopio 100x. ....	20

## 1.- Introducción

### 1.1 Situación actual y perspectiva de la avicultura.

La avicultura es la rama de la ganadería que trata de la cría, producción y reproducción de las aves domésticas con fines económicos, científicos o recreativos[1]. Los avances tecnológicos en la genética animal, la nutrición, el manejo, la sanidad y el equipo tecnológico usado en la producción han permitido que la industria de la producción de aves haya incrementado su productividad y competitividad en las últimas décadas [2].

Uno de estos aspectos se observa en el incremento en el consumo de carne de ave en México. Este fenómeno se debe a causas diversas como:

- a) Puntos de venta más cerca del consumidor
- b) La confianza en la calidad de la carne con base en su frescura.
- c) Incremento de establecimientos de comida rápida.
- d) Producto de alta calidad a precio accesible.
- e) La tendencia de consumir carnes magras.
- f) La versatilidad del producto para realizar varios platillos[2].

La industria avícola, presenta la mayor tasa de crecimiento dentro de las actividades agrícolas, pecuarias y pesqueras y constituye un sector fundamental de la producción de alimentos y un importante elemento dentro de la dieta de una gran parte la población del país[1]. Durante 2019 la industria avícola continuó siendo la actividad pecuaria más dinámica del país, actualmente representa 63.3% de la producción pecuaria en México, donde 6 de cada 10 kg son alimentos avícolas como pollo, huevo y pavo [3]. Esta misma constante se observó en el año 2022, tal como se muestra en la tabla 1.

En 2020, la pandemia generada por el virus SARS-CoV2 ralentizó ligeramente el crecimiento de la industria avícola mexicana que, a pesar de lo anterior, registró un crecimiento de 1.7% con respecto a lo obtenido en el año 2019. Para el año 2020, la avicultura produjo 6.5 millones de toneladas con un valor total mayor a los 187 mil millones de pesos [4]. Para el 2022 se tiene programada una producción de casi 18 toneladas a lo largo del año (Tabla 1).

**Tabla 1. Producción nacional de principales productos pecuarios en 2022.**

Producto/especie	Programado (TON)	Enero 2022 (TON)	Febrero 2022 (TON)	Total (TON)
<b>Carne en canal</b>	7,830,308	611,150	618,231	1,229,381
<b>BOVINO</b>	2,175,530	171,606	172,525	2,032,808
<b>AVE</b>	3,792,273	293,079	296,828	1,229,381

<b>PAVO</b>	<b>17,816</b>	<b>1271</b>	<b>1375</b>	<b>2,646</b>
<b>PORCINO</b>	1,736,636	136,677	139,065	275,742
<b>HUEVO PARA PLATO</b>	3,124,635	245,972	246,487	492,458

(SIAP,2021) [5]

### *1.2 Meleagricultura en México.*

Uno de los productos avícolas que ha incrementado las preferencias en el consumidor es el pavo. La carne de pavo forma parte de las carnes blancas, en adición a la de pollo, pescado y conejo, que se caracterizan por tener poca grasa y colesterol, aporta una gran cantidad de proteínas, vitaminas y minerales al organismo. Actualmente, las tendencias del consumo de carnes están siendo determinadas por la globalización, debido a la liberalización de precios y mercados, los cambios en las preferencias de los consumidores y la distribución del capital que se destina a la alimentación [6].

El pavo es de origen americano, en comparación con las demás aves domésticas o de corral que fueron traídas por los españoles durante la conquista [7]. Inicialmente, los pavos se criaron selectivamente por rasgos como el color y el patrón de las plumas, pero luego se criaron para la producción de carne, considerando además la conformación del cuerpo y el emplumado blanco, lo que resultó en la mayoría de los pavos domésticos comerciales con plumas blancas en la década de 1960 [8]. Actualmente, sólo el 10 % del consumo nacional de pavo es producido en México, el 84 % es importado de Estados Unidos, el 4.5 % de Brasil y el 1.5% de Chile [7]. [8]. Actualmente, sólo el 10 % del consumo nacional de pavo es producido en México, el 84 % es importado de Estados Unidos, el 4.5 % de Brasil y el 1.5% de Chile [7] .

La producción de carne de pavo en 2018, se localizó en los siguientes estados: Yucatán (18%) Estado de México (15%), Puebla (15%), Chihuahua (9%), Veracruz (8%), Chiapas (5%), Hidalgo (5%), Tabasco (5%), Guerrero (5%), Campeche (3%), Oaxaca (3%) y en otros estados tan solo el 5%. La producción de pavo registra una Tasa de Crecimiento Media Anual de 1.4%, entre 1994 a 2017, lo que representa 38% de crecimiento en dicho periodo. El consumo de pavo nacional es de apenas 0.8 kg per cápita, mientras que el consumo aparente el cual incluye importaciones es de 1.4 kg [1], es visible que el consumo en el país es muy bajo, debido a que por lo general se limita a la época navideña y de fin de año, dado que es un producto de menor producción, con poca atención, y sobre todo estacional [6]; 6 de cada 10 mexicanos, incluyen en su dieta alimentos avícolas como pollo, huevo y pavo [1].

**Tabla 2.- Producción y consumo de Pavo.**

Año	2020	2021*
<b>Importación (TONS)</b>	155 339	158, 122
<b>Producción Nacional (TONS)</b>	7490	7491
<b>Consumo Per-capita (Kg)</b>	1.29	1.30

[4]

Una de las líneas que se utiliza para la producción de carne de pavo es la línea o estirpe Nicholas. Esta es considerada como una línea pesada para producción de carne, siendo la más común en México ya que representa el 100% de la población de pavos en sistemas intensivos, tiene una buena conversión alimenticia y precocidad en el crecimiento. En la tabla 3 se muestran algunos de los parámetros productivos entre hembras y machos, tales como la ganancia diaria de peso y su conversión alimenticia[4].

**Tabla 3- Parámetros esperados para líneas Nicholas.**

Nicholas Select										
Edad (semanas)	Peso (kg)		Ganancia diaria (g)		Consumo de alimento (kg)				Conversión	
	M	H	M	H	Semanal		Acumulada		M	H
<b>6</b>	2.97	2.49	71	51	1.36	1.22	3.88	3.63	1.3	1.46
<b>8</b>	5.14	4.32	92	65	2.01	1.69	7.26	6.78	1.41	1.57
<b>10</b>	7.67	6.33	113	78	2.71	2.10	11.92	10.77	1.55	1.7
<b>12</b>	10.53	8.31	129	88	3.33	2.38	17.84	15.42	1.69	1.86
<b>14</b>	13.58	10.07	142	96	3.83	2.51	24.92	20.44	1.84	2.03

M: machos H:Hembras [9]

### 1.3 Bienestar animal en pavos

Uno de los factores que se deben cuidar durante la producción intensiva de las aves es garantizar sus necesidades físicas y mentales, ligadas al bienestar animal. A lo largo de su rutina diaria, los animales se encuentran en un estado de equilibrio fisiológico, un estado definido como homeostasis. Cualquier elemento que perturbe la homeostasis se define como un factor de estrés [10]. En el ámbito de la producción animal existe una serie de prácticas de manejo e interacciones humano-animal que se requieren para mejorar la eficiencia de los animales domésticos, tales como la manipulación, estrategias nutricionales, medicina preventiva, técnicas quirúrgicas, empleo de corrales y jaulas, así como mecanismos y medios de transporte, entre otros y que podrían perturbar el equilibrio homeostático de las aves, comprometiendo su bienestar [11].

Se define bienestar animal como “el estado físico y mental de un animal en relación con las condiciones en las que vive y muere”[12] es decir, tanto el estado fisiológico, así como los cambios

mentales que se generan en las unidades avícolas, son relevantes para entender cómo ejerce efecto los factores que rodean a las aves, tales como las instalaciones, el microclima o las relaciones humano animal, entre otros.

En este sentido, en general, se considera que los principales problemas de bienestar de los pavos son de naturaleza multifactorial y se ven afectados por factores estresantes de tipo ambiental y de manejo, además de estar asociados con la selección genética para aumentar el peso corporal en periodos reducidos de tiempo [7].

Las aves que están estresadas reaccionan con una gran variedad de mecanismos a través de la respuesta bioquímica de varios órganos y tejidos. Estos eventos se muestran mediante un cambio en el comportamiento y el desempeño productivo del ave, que a menudo son el foco al evaluar la salud y el bienestar de los animales [13]. En las aves de corral, los indicadores clásicos que se han utilizado en la granja para evaluar el bienestar de los animales se pueden dividir en tres grupos principales:

- Evaluaciones basadas en recursos que incluyen, parámetros que describen la influencia del sistema de alojamiento.
- Mediciones basadas en las prácticas de gestión en el bienestar animal.
- Indicadores basados en los animales como el comportamiento, la salud y los parámetros fisiológicos

[14]

Los factores estresores más importantes en la producción avícola se deben a los recursos e incluyen la temperatura, la luz, la humedad, la altitud (presiones parciales y la presión del aire de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>), la velocidad del viento (flujo de aire), la calidad del aire y el agua, las radiaciones de energía solar y la densidad de población (espacio de piso) [15]. Muchos de los problemas de bienestar en la industria del pavo se han relacionado con tasas de crecimiento más rápidas y pesos corporales incrementados. Los efectos en las aves considerados como problemas de bienestar incluyen picotazos re-dirigidos a otras aves, dermatitis de las almohadillas de las patas, anomalías en las patas y el esqueleto, así como restricción de alimento [7]. Los animales con pobre bienestar tienden a sufrir inmunodepresión, disminución de la eficiencia productiva y cambios en el comportamiento. [7,11]

El estrés del entorno puede reducirse mediante un manejo optimizado, régimen de alimentación y condiciones de alojamiento, incluida la implementación de enriquecimiento ambiental (EA) [16]. El EA se define como la estimulación del cerebro mediante la mejora del entorno social o físico de un individuo o animal [17]. Para que un cambio en el medio ambiente de un animal se considere enriquecimiento ambiental, debe ser biológicamente relevante, poseer un significado funcional para el animal y resultar en una mejora física y mental y no simplemente en un cambio en el ambiente del animal [8]. Sin embargo, el efecto del aumento de la edad de los pavos sobre el uso

de elementos de enriquecimiento y sobre el repertorio conductual, así como su correlación con los parámetros de salud, ha sido poco estudiado. [16]

#### 1.4 Impacto de la densidad en el bienestar en pavos.

La producción intensiva de las aves, en donde la selección para una rápida tasa de crecimiento y los procedimientos de alimentación y manejo que apoyan el crecimiento acelerado, han dado lugar a varios problemas de bienestar en las líneas modernas de aves de engorde [17]. Derivado de ello, una cantidad relativamente grande de trabajos científicos se han centrado en los efectos de la densidad de población en pavos de engorde, en parte motivado por su gran impacto económico en la rentabilidad y los rendimientos [19] pero las recomendaciones científicas y estándares comerciales internacionales del espacio vital y densidad animal (i.e., número de animales o peso (Kg) recomendado por m<sup>2</sup>) para la producción de pavos difieren significativamente entre sí (Tabla 4)[20]. Estas diferencias pueden tener implicaciones en el bienestar y en la eficiencia productiva de las aves. Cabe señalar que los pavos sólo pueden mostrar su potencial genético de crecimiento y rendimiento de carne, bajo las mejores condiciones ambientales [21].

Tabla 4.- Normas y pautas generales de densidad de población para pavos de carne.

FUENTE	CATEGORÍA / DESCRIPCIÓN	DENSIDAD MÁXIMA DE POBLACIÓN	
		Kg/m <sup>2</sup>	Lb/ft <sup>2</sup>
Federación Nacional del Pavo	"Medida estándar"	73.2	15
"Guía agrícola" guía de la Sociedad Federal de Ciencia Animal	<0.3kg	11.2 (0.026m <sup>2</sup> /ave)	2.3
	0.3 – 2.0 kg	5.9-35.6 (0.058m <sup>2</sup> /ave)	1.2-7.3
	2.0 – 3.0 kg	23.9-35.6 (0.081m <sup>2</sup> /ave)	4.9-7.3
	3.0 – 6.0 kg	21.5-43.0 (0.14 m <sup>2</sup> /ave)	4.4-8.8
	6.0 – 8.0 kg	32.2-43.0 (0.19 m <sup>2</sup> /ave)	6.6-8.8
	8.0 – 12.0 kg	28.8-43.8 (0.27 m <sup>2</sup> /ave)	5.9-8.8
	12.0 – 16.0 kg	33.7-45.4 (0.35 m <sup>2</sup> /ave)	6.9-9.3
	16.0 – 20.0 kg	41.0-51.3 (0.39 m <sup>2</sup> /ave)	6.9-10.5
Códigos de práctica animal canadiense	Pollos de engorda: hasta 6.2kg	45	9.2
	Gallinas de 6.2 a 10.8 kg	45	9.2
	Pavos ligeros: 10.8 a 13.3kg	55	11.3
	Pavos pesados: > 13.3kg	60	12.3
Asociación Mundial de Animales (Global animal partnership, 2011 )	"Step 1"	10	48.8
	"Step 2"	7.5	36.6
	"Step 3"	6.5	31.7
	"Step 4 & 5"	6	29.3

<b>Certified Humane</b>	Máximo para pollitos, gallinas y pavos ligeros y pesados	7.5	36.6
<b>National Chicken Council (NCC, 2005)</b>	Pollitos ligeros (<4.5 lb.)	0.07	6.5
	Ave "roscicera"	Verano	8.5
		Invierno	7.4
<b>Comisión Europea</b>	Medida estándar	30 (0.73m <sup>2</sup> /Ave)	-
<b>Instituto del Mercado de Alimentos y el Consejo Nacional de Cadenas de Restaurantes (The Food Market Institute and National Council of Chain Restaurants – FMI-NCCR, 2003)</b>	Medida estándar	0.73 m <sup>2</sup> / ave	6

(Modificado de: Erasmus, 2017) [20], [22]

Por lo tanto, la densidad de población es un factor estresante que compromete el bienestar de las aves. La densidad de población se describe como la cantidad de espacio asignado por animal o por unidad de peso del animal y puede influir en varios rasgos de producción [23]; se presenta en centímetro cuadrado (cm<sup>2</sup>), pie cuadrado (ft<sup>2</sup>), decímetro cuadrado (dm<sup>2</sup>) o metros cuadrados (m<sup>2</sup>) / ave y en kilogramo (kg) por metro cuadrado kg / m<sup>2</sup> [15].

Las densidades más altas aumentan el impacto en el medio ambiente del alojamiento a través del aumento de la respiración y de la producción de excretas, aumentando el CO<sub>2</sub> atmosférico y el nitrógeno disponible para la síntesis microbiana de amoníaco, así como la humedad de la cama que a su vez modifica la temperatura ambiental. Estos cambios en el microambiente del ave impactan su salud y el rendimiento [18, 19, 23, 24]. Asimismo, se ha descubierto que la densidad de población afecta el comportamiento de las aves, por ejemplo, hay un incremento en las conductas de picoteo, la movilidad de las aves y se ha encontrado que la puntuación de marcha disminuye[25]. También se observan cambios en los indicadores productivos tales como tasas de crecimiento y eficiencia alimenticia; y en lo relativo a los aspectos relacionados con la salud, como la salud de las piernas (lesiones de la almohadilla en patas), la incidencia de aerosaculitis [8, 19, 24], aumento de la frecuencia de discondroplasia tibial [19] e incluso se sugiere que la composición de la canal también se ve afectada por la densidad de población (Figura 1) [20]

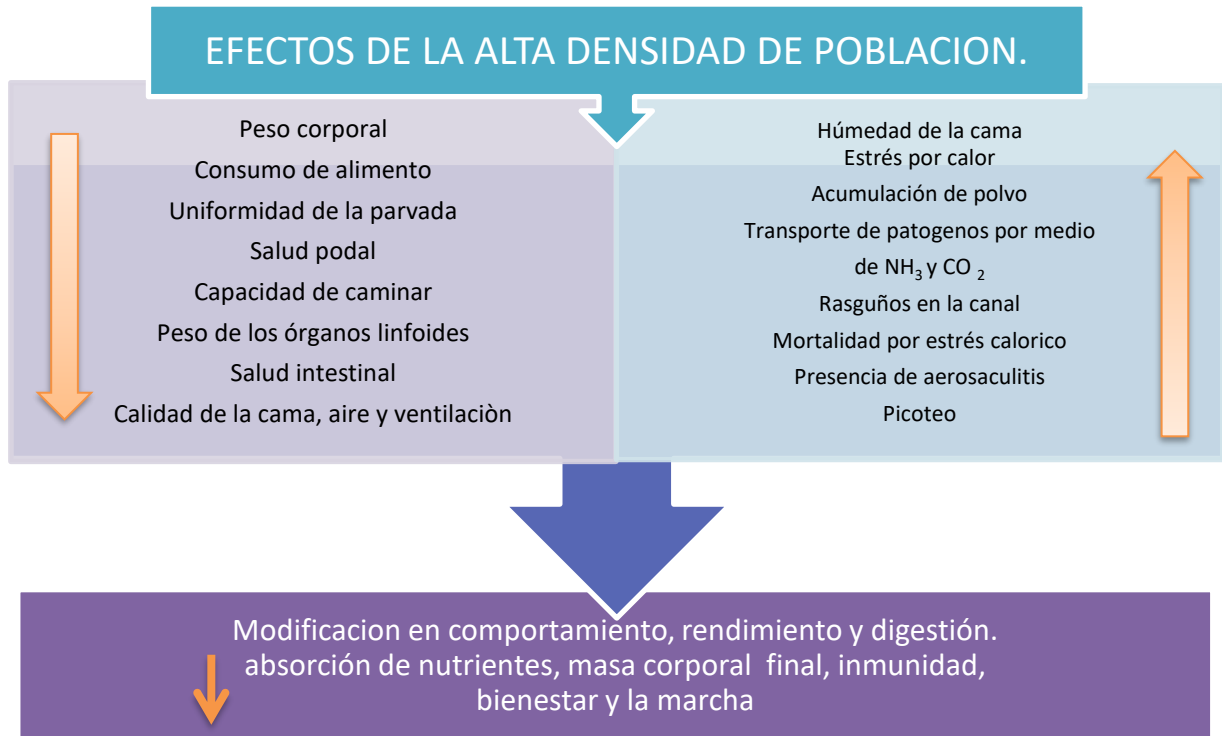


Figura 1.- Efectos de la alta densidad de población de aves sobre la salud, el rendimiento y el bienestar de las aves. [8], [15], [19]

Por lo tanto, la cantidad de espacio disponible para un animal y cómo ese animal usa el espacio se ve afectada por la cantidad de animales que comparten ese espacio. De ahí que se considere una asociación entre el espacio, el tamaño del grupo y la densidad de población [8].

Actualmente los protocolos de evaluación del bienestar animal proporcionan las bases para la verificación legal a nivel de granja con el fin de promover y garantizar altos estándares de bienestar animal [14]. En México, el marco legal que rige la engorda de pavo es mínima y se relaciona con más con la producción y sanidad pecuaria, tal es el caso de la Ley Federal de Sanidad Animal, la Ley Federal de desarrollo Rural Sustentable, la Ley de Organizaciones ganaderas y sus respectivos reglamentos que con el bienestar animal.

### 1.5 Estrés en aves.

Como se ha mencionado, uno de los factores que compromete el bienestar de las aves es el estrés. El estrés es una respuesta inespecífica del organismo animal ante condiciones ambientales adversas que produce ajustes fisiológicos y metabólicos para mantener la homeostasis, genera efectos sobre el sistema nervioso central, el sistema neuroendocrino y el sistema inmune [11].

En las aves de corral, como en otros vertebrados, las respuestas al estrés están mediadas principalmente por la activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HPA) del sistema nervioso simpático [13]. El eje hipotalámico-hipofisario consiste en liberar e inhibir hormonas producidas por el hipotálamo que controlan la producción de hormonas hipofisarias al actuar a través de receptores en tipos de células específicos dentro de la hipófisis anterior [26].



El hipotálamo funciona como un procesador central que responde tanto a estímulos ambientales externos (p. ej., temperatura) como a señales fisiológicas internas (p. ej., niveles de hormonas y metabolitos), integra estas señales y modula los procesos fisiológicos [13], el cual consta de la hormona liberadora de corticotropina (CRH) junto con arginina vasotocina (AVT, un congénere de la arginina vasopresina de los mamíferos) del hipotálamo que promueve la liberación de hormona adrenocorticotrópica (ACTH) y el factor liberador de corticotropina (CRF) [22, 27] de la hipófisis anterior que, a su vez, estimula la producción y liberación de corticosterona (CORT) de las células adrenocorticales (Figura 2) [28]

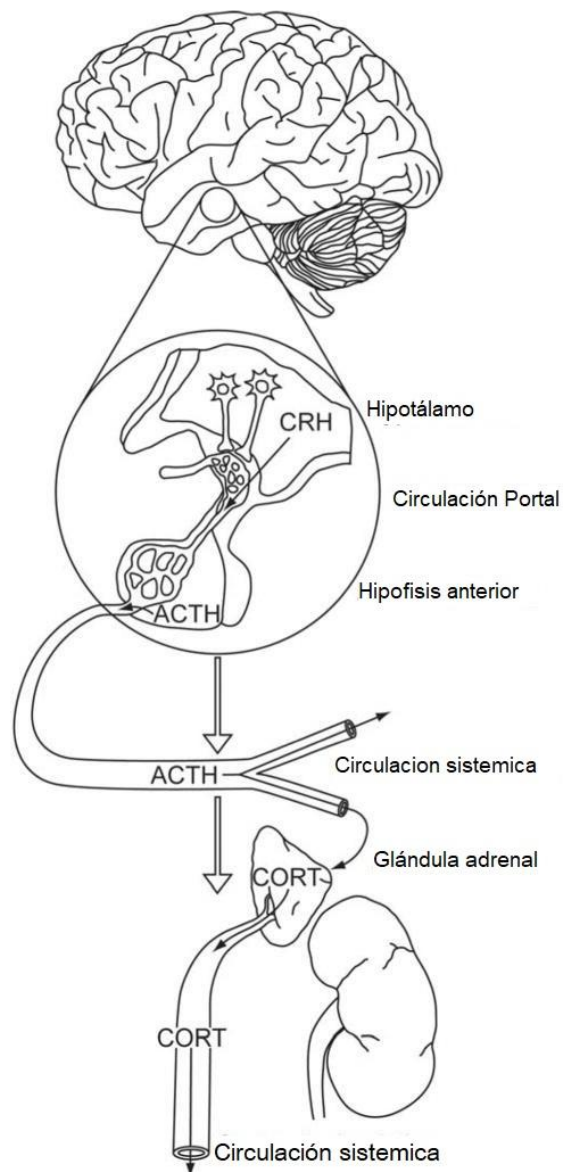


Figura 2.- Organización del eje hipotálamo-hipofisis-adrenocortical (HPA).

Las respuestas al estrés del eje HPA son iniciadas por neuronas de la hormona liberadora de corticotropina (CRH) en el núcleo paraventricular del hipotálamo (PVN). Los factores de estrés provocan la liberación de CRH en los vasos portales hipofisarios, que transportan el péptido a la hipófisis anterior para permitir el acceso a los corticotrofos. Los corticotrofos estimulados luego liberan hormona adrenocorticotrófica (ACTH) en la circulación sistémica, por lo que promueve la síntesis y secreción de glucocorticoides (principalmente corticosterona en aves) en la corteza suprarrenal. Luego, los glucocorticoides se secretan en la circulación sistémica y pueden acceder a receptores afines en prácticamente todos los sistemas de órganos, incluido el cerebro [25, 27]

Si el ave se encuentra bajo estrés crónico, la energía se dirige a mantener la respuesta al estrés en lugar de dirigir los nutrientes y la energía al crecimiento, lo que resulta en un mayor gasto energético y una disminución de la eficiencia alimentaria [23].

El estrés tiene consecuencias directas y negativas para el bienestar del pavo y lo afecta aún más a través de efectos perjudiciales sobre la respuesta inmunitaria, lo que lleva a una mayor susceptibilidad a las infecciones bacterianas [7, 11]. De ahí que es importante tomar conciencia sobre el bienestar de las aves de corral y que estos aspectos sean incluidos en la legislación concomitante [10, 13], ya que al diseñar y ejecutar estrategias que incrementen la capacidad de los animales para mitigar los efectos fisiológicos del estrés mejoran su desempeño productivo. Para ello se ha hecho necesario determinar la respuesta de las aves de corral al estrés, con un daño mínimo, la máxima confiabilidad y factible de ejecutar [10, 11, 13].

Como parte de esta respuesta fisiológica ante el estrés, en aves se han evaluado, de manera común: la acumulación de concentraciones de la hormona adrenocortical, corticosterona (CORT) y la relación Heterófilo: linfocito (H: L) [30].

En las aves de corral, el principal glucocorticoide adrenal es corticosterona (CORT) [13], [22], [30]. Se produce algo de cortisol, aunque a un nivel muy bajo. Las concentraciones plasmáticas de CORT son elevadas por factores estresantes debido al aumento de la secreción de hormona adrenocorticotrófica (ACTH) y hormona liberadora de corticotropina [26], sin embargo, el valor de estas respuestas para determinar un estado de estrés ha sido cuestionado en varios casos, ya que estos parámetros aumentan durante el proceso de manipulación de las aves y muestreo de sangre independientemente del estado general de estrés [10]

Por su parte, la concentración de corticosterona en el plasma sanguíneo se usa ampliamente como medida del estrés ambiental en las aves [30]. La corticosterona plasmática elevada es un indicador aceptado de la condición de estrés en las aves; sin embargo, los estudios no incluyen datos sobre las concentraciones plasmáticas de CORT en condiciones basales o sin estrés de la misma edad y población de pollos [30], por lo que se hace difícil determinar el valor estándar basal de las aves.

También se han utilizado otros parámetros sanguíneos y cardiovasculares como el hematocrito, las concentraciones de glucosa en sangre, la proteína total, o constantes fisiológicas como la frecuencia

cardíaca o la presión arterial. Sin embargo, el valor de estas respuestas para determinar un estado de estrés se ha cuestionado en varios casos, ya que estos parámetros aumentan durante el proceso de manipulación de aves y muestreo de sangre independientemente del estado general de estrés [10].

Wein, et. al (2017), evaluaron la expresión de genes proinflamatorios (lisozima, IL-1 $\beta$ , IL-6 y HSP-70) encontrando que era posible usar estas mediciones en aves en respuesta a un estrés agudo más que al estrés crónico.

### 1.5.1 Relación Heterófilo-Linfocito (H:L)

Dhabhar et al. (1996) señalaron desde la década de 1940 que los perfiles de leucocitos que se desvían de los parámetros normales se pueden utilizar de forma rutinaria para indicar respuestas al estrés hormonal de mamíferos, antes de que los métodos para evaluar directamente los glucocorticoides plasmáticos estuvieran disponibles. Específicamente, los cambios provocados por el estrés o el tratamiento con glucocorticoides son el aumento del número de heterófilos (heterofilia) y disminución en el número de linfocitos (linfopenia o linfocitopenia) [28]. Múltiples factores de estrés aumentan tanto la relación H:L, como las concentraciones circulantes de CORT. [30]

La aplicación de la proporción de H:L para evaluar el estrés tiene su origen en una serie de artículos publicados durante la década de los ochenta, [32] mientras que el interés actual deriva del efecto en un estado de estrés en la relación H: L que puede atribuirse, al menos parcialmente, a los efectos del aumento de la tensión CORT [30] Se ha demostrado previamente que la densidad de población aumenta la relación H:L en pollos de engorde a los 49 días de edad.

Davison y Rowell (1983) describieron como la cortisona de la dieta podría inducir linfocitopenia y granulocitosis y, por lo tanto, afectar la proporción granulocitos: linfocitos. Sugirieron que la proporción granulocitos:linfocitos podría servir como una medida conveniente de la hiperactividad adrenal-corticoide [33]. A su vez, Gross y Siegel (1983) afirmaron que el número de células heterófilas por unidad de sangre aumenta y el número de linfocitos disminuye en las aves sometidas a estrés, pero la proporción de estos tipos de células es menos variable y por lo tanto, es una mejor medida que el número de células individuales. Su conclusión fue que la relación H:L y los niveles plasmáticos de corticosterona estaban altamente correlacionados cuando el ave estaba en un ambiente de bajo estrés, pero pobremente correlacionados cuando se colocaba en un ambiente de alto estrés; su conclusión fue que la relación H:L era un mejor marcador de estrés que la corticosterona plasmática, porque era un buen reflejo de los cambios fisiológicos. [34]

Sin embargo, los efectos de la densidad de población sobre los corticosteroides y la proporción H:L en pollos de engorde no son consistentes ejemplo de ello son los hallazgos de Buijs et al., (2009) quienes no encontraron diferencias en los niveles de corticosteroides entre 6 y 56 kg / m<sup>2</sup> [20].

De igual manera, Cotter et.al., (2015), demostró que el uso de la relación H:L como marcador hematológico solitario para evaluar el estrés en pollos no es confiable, ya que puede cambiar debido a varias razones comunes, como infecciones bacterianas / fúngicas [29].

En este mismo sentido, Beaulac, et al., (2019), encontraron en su estudio una reducción de peso que podía deberse a la reasignación de recursos de procesos como el crecimiento hacia la respuesta del estrés y el aumento de la respuesta inmune; sin embargo, la relación H:L no se vio afectada en aves mayores de 12 a 16 semanas [23].

Al respecto de la variabilidad en las condiciones, en la tabla 5, se muestran diferentes situaciones en las que los estudios científicos fueron desarrollados para evaluar la relación H:L en función de la densidad de las aves [34].

Tabla 5.- Promedios de relación H:L en la producción de pavos comerciales.

Especie	Edad	Rel. H.L				Tratamiento	Referencia	
Pavos	Hasta los 20 días	Edad (d)	Tratamiento por pico		Tratamiento por genero		Se manejaron 2 tratamientos, un grupo despicado con equipo infrarrojo y un grupo sin despicar.	Struthers,2022
			infrarrojo	Control	Macho	Hembra		
		1	0.39	0.46	0.47	0.39		
		5	0.36	0.46	0.43	0.39		
		10	0.52	0.41	0.52	0.41		
		15	0.35	0.36	0.35	0.35		
	20	0.58	0.76	0.71	0.63			
Pavos machos	16 semanas	Momento de la muestra			Radio H:L		Crianza en granja comercial bajo condiciones abiertas en 4 diferentes granjas (3 al suroeste de Missouri y 1 al sudoeste de Kansas). Toma de muestras en distintos tiempos del proceso de matanza, con dos repeticiones (estudio 1 y 2 )	Scanes, 2019
					Estudio 1	Estudio 2		
		De mañana (en granja)			-	1.094±1.101		
		De noche (en granja)			0.916 ± 0.05	1.342±0.110		
		Inmediatamente después del grillete			1.040 ± 0.07	1.862±0.149		
		30 s de grillete			1.080 ± 0.09	1.505±0.142		
		90 s de grillete			0.99 ± 0.09	1.573±0.151		
		120 s de grillete			0.864±0.04	1.437±0.091		
240 s de grillete			0.886±0.06	1.772±0.147				
Pavos	4, 12 y 16 semanas	Semanas	Radio H:L				Pavos sometidos a una crianza bajo diferentes densidades animales (30kg/m <sup>2</sup> , 40 Kg/m <sup>2</sup> )	Beaulac, 2018
			Densidad (kg/m2)					
			30 kg	40kg	50kg	60kg		
		S. 4	0.60	0.77	0.75	0.79		
		S. 12	0.93	0.89	1.10	1.01		
S. 16	0.86	0.76	0.85	0.90				
Pavos	3 semanas	TRATAMIENTO	Control	500 g/ TON de extracto de levadura	1000g/TON de extracto de levadura	Dos grupos de pavos, el control se ha criado convencionalmente, el grupo “estrés” se	Huff, 2010	
		Control	1.5±0.2	4.3±1.1	3.6±0.5			

		<b>Estrés</b>	3.6 ± 0.5	3.7±1.1	5.1±1	inoculo con 60 UFC de <i>E. coli</i> a la semana de edad y a la 3ª semana se expusieron a estrés de 12 horas sin agua y alimento y un viaje de 3 horas			
<b>Pavos</b>	<b>14 semanas</b>	<b>VARIABLE EVALUADA</b>				Tres líneas genéticas sometidas a un desafío de <i>E. coli</i> inoculada bajo distintos tratamientos estresores como transporte (por 12horas) y dexametasona	Huff,2005		
		Línea genética			Tratamiento evaluado				
		Egg	Fast	Comm	control			TS	Dex
		1.2	2.2	2.7	1.06			2.3	2.75
		TS= estrés en transporte Dex= tratamiento con dexametasona Fast= línea de pavos de crecimiento acelerado Huevo= Crianza para producción de Huevo. Comm= Línea comercial de engorda de pavo							
<b>Pavos</b>	84 días	<b>Pavos iniciación (0 a 56 días)</b>				Pavos sometidos a tratamientos con aflatoxinas desde 0 hasta 84 días de vida a distintas dosis.	Lala, 2015		
			Aflatoxinas	Peso Final (g)	C.A.			H:L	
		Sin tratamiento	0	2864	2.40			1	
			60	2458	2.64			1.05	
			110	2175	2.93			0.98	
		Molecular	0	2951	2.32			0.95	
			60	2787	2.40			0.89	
			110	2484	2.66			0.88	
		Nanopartículas	0	2987	2.20			0.78	
			60	2806	2.32			0.92	
			120	2748	2.35	0.86			
		<b>Pavos en engorda (57 a 84 días)</b>							
			<b>Aflatoxinas</b>	<b>Peso final (g)</b>	<b>C.A.</b>	<b>H:L</b>			
		Sin tratamiento	0	7437	4.57	0.70			

			60	6517	4.85	0.87		
			110	6124	4.87	0.96		
		Molecular	0	7944	4.21	0.76		
			60	7626	4.22	0.74		
			120	7068	4.38	0.80		
		Nano	0	8236	3.84	0.72		
			60	8019	3.99	0.66		
			110	7762	4.01	0.89		
<b>Gallinas ponedoras</b>	Crianza: 16 sem Postura: 70 sem	Valor medio de crianza		Valor medio de postura			Gallinas evaluadas bajo distintas densidades y criterios de bienestar entre los cuales se usó relación H:L previo al paso a galpón de postura y previo a terminar la postura.	Nicol,2005
		0.55 ± 0.31		1.67 ± 0.75				
<b>Gallinas Lohmann (Huevo blanco)</b>	77 semanas		H-L 1 (H. totales) x (L pequeños)	H-L 2 (H. Totales) x (L totales)		Crianza convencional (CC) y en aviarios (AV) y jaulas enriquecidas (EN)	Cotter, 2015	
		Edad	18 sem.					
		AV	$\bar{x} = 0.25 \pm 0.73$	$\bar{x} = 0.24 \pm 0.73$				
		CC	$\bar{x} = 0.16 \pm 0.14$	$\bar{x} = 0.14 \pm 0.10$				
		Edad	77 semanas					
		CC	$\bar{x} = 0.44 \pm 0.41$	$\bar{x} = 0.34 \pm 0.22$				
		AV	$\bar{x} = 0.33 \pm 0.22$	$\bar{x} = 0.29 \pm 0.18$				
		EN	$\bar{x} = 0.91 \pm 1.58$	$\bar{x} = 0.46 \pm 0.35$				
<b>Aves Leghorn blancas</b>	14 semanas (edad del experimento)	<b>CORT en pienso</b>	<b>1 macho y 1 hembra por jaula</b>	<b>5 machos y 5 hembras por jaula</b>		Se dio corticosterona en pienso (de 5 a 80 ppm) disuelto en 56ml de etanol mezclado con 2kg de pienso un día antes de la toma de muestra	Gross & Siegel, 1983	
		0	0.36±0.06	0.43±0.26				
		5	0.48±0.01	0.78±0.29				
		10	0.56±0.08	0.78±0.29				
		15	*	1.10±0.24				
		20	0.96±0.10	1.14±0.22				

	25	*	1.33±0.13		
	30	1.85±0.16	1.58±0.26		
	40	2.11±0.13	1.92±0.38		
	60	3.48±0.20	*		
	80	8.93±0.21	*		
	*Valores no reportados				

[25], [32], [34], [36], [37]



### 1.5.2 Importancia de órganos linfoides e hígado en el estrés.

Se ha demostrado que las primeras experiencias en la crianza de aves alteran el desarrollo de la respuesta del eje HPA al estrés y tienen efectos duraderos en la respuesta inmunitaria. Este efecto nos lleva a cuestionar si las respuestas conductuales y psicológicas demostradas en los modelos de estrés de mamíferos son aplicables a los pavos [37]. El eje HPA y su activación son una respuesta fisiológica al estrés; sin embargo, los presuntos beneficios de una activación aguda contrastan con la activación crónica[27]. Los glucocorticoides ejercen una serie de efectos a nivel sistémico, incluidos los siguientes cambios:

- Disminución del crecimiento
- Aumento del peso del hígado, intestino y tejido adiposo
- Cambios en el metabolismo de proteínas, lípidos y proteínas.
- Mayor comportamiento de miedo con inmovilidad tónica elevada y picoteo de plumas.
- Sistema inmunológico deprimido con H: L muy elevado.
- Funcionamiento gastrointestinal deprimido.

[30]

Las alteraciones morfo-funcionales también han sido utilizadas para evaluar el estado de estrés, por ejemplo, el hígado es un órgano importante que mantiene la homeostasis nutricional, produce proteínas circulatorias y coordina las transiciones relacionadas con las adaptaciones en el metabolismo de los carbohidratos, los lípidos y las proteínas[39], por tanto, es razonable suponer que el hígado responderá al estrés debido a su papel central en el mantenimiento del metabolismo general del organismo [40]

Jastrebski et.al., (2017) demostraron que el hígado tiene un papel importante en la respuesta por estrés calórico después de una semana de exposición de los animales, manteniendo la homeostasis y previniendo el daño del estrés oxidativo. [40]

El tejido linfóide que interviene en la respuesta inmune celular y humoral, también han sido evaluados en animales con estrés, manifestando cambios, dentro de los cuales se han evaluado el bazo, timo y bolsa cloacal (bolsa de Fabricio). El bazo desempeña un papel importante en la regulación de la inmunidad celular y humoral. Cuando se produce la inmunosupresión ocasionada por el estrés, los genes relacionados con el sistema inmunitario en los tejidos del bazo se ven significativamente afectados [41].

Asimismo, en la inmunidad humoral, por estrés se puede reducir significativamente el peso del timo, el bazo y la bolsa de las aves de corral, disminuir los niveles de anticuerpos totales, IgM, IgA, IgY e IgG, y debilitar la respuesta inmunitaria a antígenos extraños [41].

A pesar de su relevancia en el metabolismo del organismo, la literatura es escasa en cuanto a cambios morfo-fisiológicos en estos órganos en aves, con relación al estrés [38], [43]

## 2.- Justificación.

Existe un creciente interés por el bienestar animal en el área pecuaria por parte del consumidor y productor. La producción avícola es la producción pecuaria más importante a nivel nacional debido a su valor económico y continuo crecimiento. No obstante, hay una carencia de información sobre el impacto de ciertas prácticas pecuarias en el bienestar y salud avícola en diferentes edades. De igual manera, es necesario conocer los efectos de estas prácticas pecuarias como la densidad de población en otras especies avícolas como es el pavo (*Meleagris gallopavo*) que es la tercera fuente de proteína animal avícola.

## 3.- Hipótesis.

El uso de diferentes densidades animales y condiciones de alojamiento en producciones de pavos comerciales (*Meleagris gallopavo*) es un factor estresante que causará cambios negativos morfofuncionales y en las variables productivas.

## 4.- Objetivos.

### 4.1.-Objetivo general.

- ❖ Comparar el uso de indicadores fisiológicos de estrés con parámetros de producción en pavos de engorda bajo diferentes condiciones de alojamiento.

### 4.2.-Objetivos específicos.

- Identificar cambios en parámetros productivos y fisiológicos en pavos bajo diferentes condiciones de alojamiento a las 8, 10, 12 y 14 semanas de vida.
- Vincular el uso de la relación H:L como indicador de estrés en aves bajo distintas condiciones de alojamiento.
- Evaluar la relación H:L en pavos alojados en una densidad poblacional alta y baja, así como con la presencia de elementos de enriquecimiento ambiental como indicador de estrés crónico a las 8, 10, 12 y 14 semanas de vida.
- Evaluar cambios morfométricos en hígado y bazo en pavos alojados en una densidad poblacional alta y baja, así como con la presencia de elementos de enriquecimiento ambiental como indicador de estrés crónico a las 8, 10, 12 y 14 semanas de vida.
- Evaluar los parámetros productivos en pavos alojados en una densidad poblacional alta y baja, así como con la presencia de elementos de enriquecimiento ambiental a las 8, 10, 12 y 14 semanas de vida.

## 5.- Material y métodos.

### 5.1.-Financiamiento y aprobación bioética de uso de animales.

El estudio contó con el apoyo financiero de proyectos PAPIIT IA207421 y PIAPI 2024. El estudio se aprobó por el CICUAE-FESC, clave de registro C21\_08.

### *5.2.-Características generales de la producción pecuaria.*

El estudio se realizó en el Centro de Enseñanza Agropecuaria (CEA) de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC) de la UNAM ubicada en Teoloyucan Km 2.5, San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, Edo de México, que se encuentra a 2,252 metros sobre el nivel del mar. Se monitorearon 354 pavos de raza Nicholas durante 8 semanas (6 a 14 semanas de edad). Al término del proyecto, las canales de pavo fueron destinadas para su comercialización.

La caseta cuenta con un sistema de ventilación natural regulada por la apertura de cortinas por la mañana (9am) y el cierre de estas a las 6pm aproximadamente,

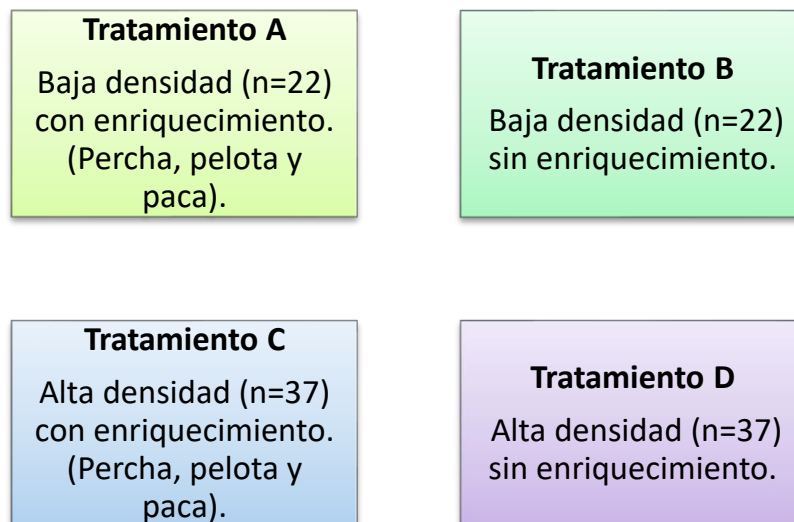
### *5.3.-Diseño experimental y procedimiento.*

Al momento de su arribo a las instalaciones las aves tenían una edad de 4 semanas, fueron seleccionadas y distribuidas aleatoriamente a su grupo experimental designado; se alojaron en corrales prefabricados con lona blanca de 9 m<sup>2</sup>. La alimentación proporcionada durante su ciclo productivo fue con alimento concentrado comercial para pavos de engorda que se ofreció en charolas dos veces al día. La cantidad de alimento proporcionada se ajustó al peso y edad de los animales de la siguiente forma:

- **Recepción (semanas 4 a 7):** alimento concentrado en harina con 26% de proteína, energía metabolizable (EM) de 2800 Kcal.
- **Engorda (semanas 8 a 11):** alimento concentrado en harina con 22% de proteína, energía metabolizable (EM) de 3000 Kcal.
- **finalización (semanas 12 a 14):** alimento concentrado en harina con 19% de proteína, energía metabolizable (EM) de 3400-3600 Kcal.

El agua fue proporcionada ad libitum a través de bebederos de campana. La cama de viruta en todos los corrales era de aproximadamente 5 cm de grosor y se cambió cada semana o antes si era necesario para evitar humedad superior a 35%.

Las aves se alojaron de manera aleatoria en un grupo de densidad animal baja (B=30Kg/m<sup>2</sup>;n=22) o alta (A= 60Kg/m<sup>2</sup>; n= 37). A su vez cada grupo contenía 2 subgrupos (C: control; EA: enriquecimiento ambiental: Percha, Pelota y Paja en todos los tratamientos con enriquecimiento), contando con un estudio factorial de 2 x 2 con cuatro subgrupos experimentales.



**Figura 3.- Grupos de tratamientos formados durante el experimento.**

En el interior del alojamiento, se registraron las siguientes condiciones ambientales: temperatura ambiental, humedad relativa, luminosidad, concentración de amoníaco (ppm), mediante un termómetro con sensor externo, luxómetro, y medidor de amoníaco, respectivamente. Dichas mediciones se realizaron 3 veces al día ( 10am, 1 pm y 4 pm) todos los días.

#### *5.4.-Metodología de toma y procesamiento de muestras.*

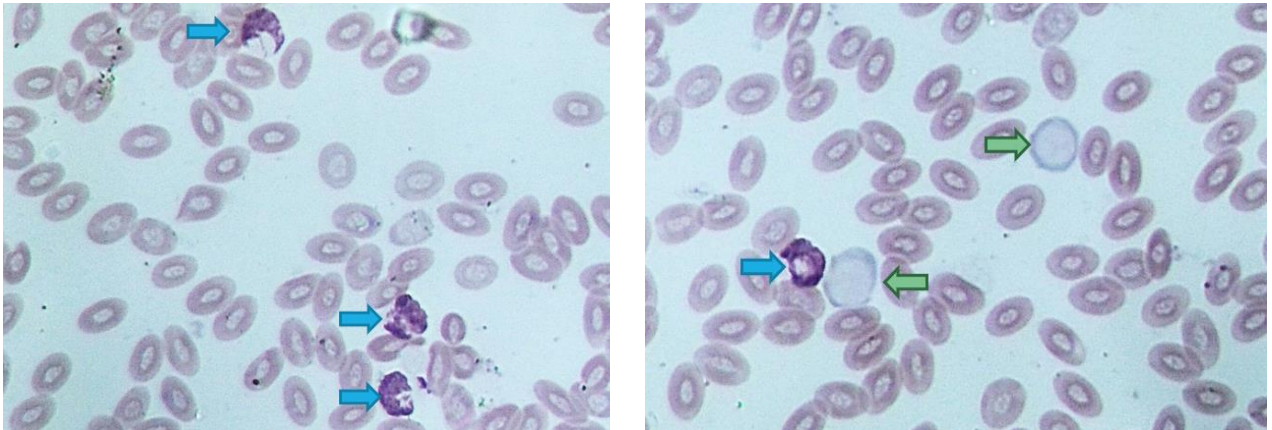
##### **5.4.1.- Muestra sanguínea para relación H:L.**

De un total de 10 aves por grupo, de manera individual, se colectó una gota de sangre de la vena safena mediante punción con lanceta en las semanas 8, 10, 12 y 14 de edad. La gota se colocó directamente en portaobjetos para realizar frotis sanguíneos para su posterior revisión. Semanalmente, los animales fueron pesados individualmente y se analizó la ganancia semanal de peso con relación a la cantidad de alimento administrado.

La matanza comercial de las aves se realizó en el taller de carnes de la FESC para el abasto, de acuerdo con lo señalado en la NOM-033-SAG/ZOO-2014 [32]. Se tomó el peso y medidas de diversos órganos, entre ellos hígado y bazo.

Las laminillas con el frotis sanguíneo fueron conservadas en una caja portalaminillas para su conservación y posteriormente fueron teñidas con una tinción Diff-Quick en laboratorio y su posterior análisis con microscopio óptico a 100x realizando un conteo de 100 células (neutrófilos/linfocitos) en 10 laminillas escogidas consecutivamente del mismo animal semana a semana (Figura 4). [25], [34], [37], [43]

Figura 4.- Heterófilo (azul) vistos al microscopio a 100x en un campo, a la derecha heterófilos (Azul) y linfocitos (verde).



#### 5.4.2.- Parámetros productivos.

Semanalmente los animales fueron pesados individualmente para obtener las variables de peso de las aves (kg), ganancia de peso por semana (kg) y la conversión alimenticia (kg), con relación a la cantidad de alimento suministrado. Así como el rechazo de alimento (kg) y de alimento consumido (kg) por las aves.

#### 5.4.3.- Morfometría de órganos linfoides.

Para la evaluación de esta variable, todas las aves fueron destinadas para el abasto (n=354), por lo tanto, la matanza se realizó a las 14 semanas de edad en el taller de carnes de la FESC, de acuerdo con lo señalado en la NOM-033-SAG/ZOO-2014 [32]. Durante el proceso de evisceración, se extrajo el hígado y el bazo y se registró el peso y el tamaño de dichos órganos.

### 5.5 Pruebas estadísticas.

De cada grupo se tomaron n= 22 animales. Se consideró un 95% de confianza, y una confianza de intervalos de 2.0 con una varianza esperada de varianza de 8.0 entre grupos.

La varianza esperada se estimó con base en los resultados reportados de diferencia de peso y calificación de cambios conductuales en estudios previos.

El análisis estadístico se realizó con el programa Microsoft Excel 2019 para evaluar las variables categóricas de los diferentes tratamientos mediante una ANOVA identificando las significancias entre medias mediante la prueba de Tukey.

## 6.- Resultados

### 6.1 Relación Heterófilo-Linfocito.

Los resultados obtenidos en cuanto a la evaluación de la relación H:L (tabla 6) se presenta con la diferencia entre tratamientos y por semana.

Con base en los resultados, se observaron diferencias significativas tanto a lo largo de los tratamientos, así como entre los tratamientos mismos por semana. En los tratamientos A, C, D hubo diferencias estadísticamente significativas a lo largo del tiempo ( $P=0.00001$ ,  $P=0.0003$ ,  $P=0.000009$ ; respectivamente en comparación con el tratamiento B en este último, no se observó una diferencia significativa en la relación H:L a lo largo del experimento ( $P=0.4$ ). En el tratamiento A hubo un incremento significativo en la relación H:L en la semana 8 comparado con las semanas 10 y 12, volviendo a disminuir en la semana 14 de vida; mientras en el tratamiento C reflejó una disminución en las semanas 10 y 12 comparado con las semanas 8 y 14. Finalmente el tratamiento D mostró una disminución gradual de la relación H:L desde la semana 8 a la 14 de edad.

Se observaron diferencias significativas en todas las semanas al comparar los tratamientos entre sí por semana. En relación con la comparación por tratamientos por su densidad animal: los tratamientos A y C mostraron relaciones similares de H:L entre sí ( $0.36 \pm 0.15$  y  $0.57 \pm 0.18$ ; respectivamente), pero diferentes a las de los grupos B y D ( $0.64 \pm 0.21$  y  $0.70 \pm 0.14$ ; respectivamente) ( $P=0.0006$ ). Contrario a lo sucedido en la semana 8, la semana 10, 12 y 14 tuvo diferencias significativas entre los tratamientos A y C (semana 10:  $P=0.015$ ; semana 12:  $0.007$ ; semana 14:  $0.00001$ ; respectivamente) Mientras que los tratamientos B y D solo tienen diferencias significativas entre sí en la semana 14 ( $0.68 \pm 0.16$  vs.  $0.41 \pm 0.11$   $P=0.00001$ ; respectivamente).

Con relación al enriquecimiento contra los grupos control, el tratamiento A y B mostraron diferencias solo en las semanas 8 y 14 ( $P=0.0006$   $P=0.$ , mientras los grupos C y D solo en la semana 14 de vida ( $P=0.00001$ ))

**Tabla 6.- Relación Heterófilo-linfocito en pavos de línea comercial Nicholas en 4 edades (8,10,12,14 semanas) según tipo de población (alta y baja) con y sin enriquecimiento ambiental (Promedio  $\pm$  DE)**

TRATAMIENTO	SEMANA DE TRATAMIENTO				Valor de P por semana por tratamiento
	SEMANA 8	SEMANA 10	SEMANA 12	SEMANA 14	
TRATAMIENTO A (BD + EA)	$0.36 \pm 0.15$ <sub>x,a</sub>	$0.71 \pm 0.19$ <sup>x,b</sup>	$0.70 \pm 0.13$ <sub>x,b</sub>	$0.46 \pm 0.16$ <sup>x,a</sup>	0.00001
TRATAMIENTO B (BD)	$0.64 \pm 0.21$ <sup>y</sup>	$0.54 \pm 0.17$ <sup>x</sup>	$0.57 \pm 0.19$ <sup>x</sup>	$0.68 \pm 0.16$ <sup>y</sup>	0.4
TRATAMIENTO C (AD+ EA)	$0.57 \pm 0.18$ <sub>x,y,a</sub>	$0.46 \pm 0.14$ <sup>y,b</sup>	$0.46 \pm 0.15$ <sub>y,b</sub>	$0.75 \pm 0.16$ <sup>y,a</sup>	0.0003
TRATAMIENTO D (AD)	$0.70 \pm 0.14$ <sub>y,a</sub>	$0.58 \pm 0.13$ <sub>y,a,b</sub>	$0.53 \pm 0.11$ <sub>x,b,c</sub>	$0.41 \pm 0.11$ <sup>x,c</sup>	0.00009
Valor de P entre tratamientos por semana	0.0006	0.01	0.007	0.00001	

BD= Baja densidad, AD= Alta densidad, EA= enriquecimiento ambiental (Percha, pelota y paca)

Los superíndices a,b,c indican diferencias significativas en el tratamiento a lo largo del tiempo.

Los superíndices x,y indican una diferencia entre tratamientos por semana.

## 6.2 Parámetros productivos.

Respecto a la ganancia de peso (tabla 7), si bien no se encontró diferencia estadísticamente significativa al comparar los tratamientos A, B, C y D por semana de vida ( $p>0.05$ ), en el promedio final de las semanas evaluadas, se aprecia una tendencia a incrementar el peso entre el tratamiento A y C con respecto al B y D siendo el tratamiento B (baja densidad con enriquecimiento) el grupo que obtuvo el menor peso promedio; los tratamientos A y C tienen un promedio cercano a pesar de la diferencia de carga animal en el tratamiento C y son los tratamientos de mayor peso en promedio y a las 14 semanas.

Cabe señalar que, sin importar el tratamiento, se observó un incremento constante en el peso de los pavos por semana de vida ( $p<0.05$ ).

**Tabla 7.- Pesos (Kg) de pavos de línea comercial Nicholas en 4 edades (8,10,12,14 semanas) según tipo de población (alta y baja) con y sin enriquecimiento ambiental (Promedio  $\pm$  DE).**

SEMANA DE TRATAMIENTO						
TRATAMIENTO	SEMANA 8 (Kg)	SEMANA 10 (Kg)	SEMANA 12 (Kg)	SEMANA 14 (Kg)	Promedio por tratamiento (kg)	Valor de p por edad
TRATAMIENTO A (BD + EA)	4.42 $\pm$ 0.67 <sup>a</sup>	6.36 $\pm$ 0.86 <sup>b</sup>	9.16 $\pm$ 1.29 <sup>c</sup>	11.39 $\pm$ 1.86 <sup>d</sup>	7.83 $\pm$ 3.07	0.0003
TRATAMIENTO B (BD)	4.26 $\pm$ 0.45 <sup>a</sup>	6.22 $\pm$ 0.65 <sup>b</sup>	8.82 $\pm$ 8.82 <sup>c</sup>	10.71 $\pm$ 1.36 <sup>d</sup>	7.50 $\pm$ 2.84	0.00001
TRATAMIENTO C (AD+ EA)	4.25 $\pm$ 0.51 <sup>a</sup>	6.55 $\pm$ 0.90 <sup>b</sup>	9.20 $\pm$ 1.55 <sup>c</sup>	11.38 $\pm$ 1.95 <sup>d</sup>	7.84 $\pm$ 4.42	0.0001
TRATAMIENTO D (AD)	4.49 $\pm$ 0.64 <sup>a</sup>	6.50 $\pm$ 0.95 <sup>b</sup>	8.86 $\pm$ 1.48 <sup>c</sup>	11.10 $\pm$ 1.88 <sup>d</sup>	7.74 $\pm$ 2.86	0.0004
Promedio por semana (kg $\pm$ DE)	4.36 $\pm$ 0.12	6.41 $\pm$ 0.15	9.01 $\pm$ 0.20	11.14 $\pm$ 0.32		
VALOR DE P	0.27	0.49	0.62	0.51		

BD= Baja densidad, AD= Alta densidad, EA= enriquecimiento ambiental (Percha, pelota y paca)

Los superíndices a,b,c,d indican diferencias significativas en el tratamiento a lo largo del tiempo.

Para la ganancia de peso (tabla 8) respecto al tratamiento a lo largo del tiempo, el tratamiento A ( $P=0.06$ ) y el D ( $p=0.103$ ) no presentaron diferencias significativas para ninguna de las semanas evaluadas.

En cuanto a las semanas evaluadas, se puede observar que, la semana 12 no presentó diferencias estadísticas entre el peso de los pavos por tratamiento evaluado ( $P=0.07$ ); sin embargo, se observó incremento altamente significativo en la ganancia de peso de las aves para las semanas 8, 10 y 14 ( $p<0.001$ ). De igual forma, se encontró el mayor promedio de ganancia de peso de los pavos en la

semana 12 ( $1.26 \pm 0.15$ ; kg), en comparación con las semanas 8, 10 y 14. Los tratamientos A y D presentan un decremento en la semana 14 ( $1.32 \pm 0.81$  y  $1.04 \pm 0.55$ ; respectivamente)

Por otro lado, cuando se comparan los tratamientos en los que se agregó el enriquecimiento, el tratamiento A no mostró diferencias significativas; sin embargo, hay un patrón de (semana 10, semana 14) y subir (semana 10) contra el C que tiene un aumento constante en las semanas; mientras el tratamiento D tiene una baja solo en la semana 14.

**Tabla 8.- Ganancia de peso (Kg) de los pavos de línea comercial Nicholas en 4 edades (8,10,12,14 semanas) según tipo de población (alta y baja) con y sin enriquecimiento ambiental (Promedio  $\pm$  DE).**

TRATAMIENTO	SEMANA DE TRATAMIENTO				Promedio por tratamiento (kg)	Valor de p por tratamiento
	SEMANA 8 (Kg)	SEMANA 10 (Kg)	SEMANA 12 (Kg)	SEMANA 14 (Kg)		
TRATAMIENTO A (BD + EA)	$1.19 \pm 0.36$ <sup>x,a</sup>	$0.97 \pm 0.42$ <sup>x,a</sup>	$1.32 \pm 0.51$ <sup>x,a</sup>	$1.28 \pm 0.48$ <sup>x,y,a</sup>	$1.19 \pm 0.16$	0.06
TRATAMIENTO B (BD)	$0.92 \pm 0.26$ <sup>y,a</sup>	$0.75 \pm 0.16$ <sup>x,y,a</sup>	$1.28 \pm 0.24$ <sup>x,b</sup>	$1.32 \pm 0.81$ <sup>x,b</sup>	$1.07 \pm 0.28$	0.0003
TRATAMIENTO C (AD+ EA)	$0.71 \pm 0.19$ <sup>z,a</sup>	$1.07 \pm 0.25$ <sup>x,z,b</sup>	$1.28 \pm 0.66$ <sup>x,c</sup>	$1.35 \pm 0.41$ <sup>y,b</sup>	$1.10 \pm 0.29$	0.00001
TRATAMIENTO D (AD)	$0.85 \pm 0.23$ <sup>y,z,a</sup>	$1 \pm 0.36$ <sup>x,z,a</sup>	$1.31 \pm 0.35$ <sup>x,a</sup>	$0.95 \pm 0.65$ <sup>y,a</sup>	$0.96 \pm 0.09$	0.102
Promedio por semana (kg $\pm$ DE)	$0.88 \pm 0.30$	$0.95 \pm 0.14$	$1.26 \pm 0.15$	$1.09 \pm 0.16$		
Valor de P por semana	0.00001	0.002	0.07	0.001		

BD= Baja densidad, AD= Alta densidad, EA= enriquecimiento ambiental (Percha, pelota y paca)

Los superíndices a,b,c indican diferencias significativas en el tratamiento a lo largo del tiempo.

Los superíndices x,y indican una diferencia entre tratamientos por semana.

La conversión alimenticia (tabla 9) presentó diferencias significativas en todos los tratamientos en cada semana, pero no a lo largo del tiempo, el tratamiento B no presentó diferencias a lo largo del tiempo ( $P=0.06$ ), a diferencia de los tratamientos A, C, y D ( $P=0.00001$ ). Al comparar los tratamientos entre sí, en la semana 8 se observó una menor conversión alimenticia en especial en el tratamiento A ( $2.18 \pm 0.05$ ) que fue aumentando con el tiempo hasta la semana 14 ( $2.99 \pm 0.04$ ). El tratamiento A mostró el promedio más bajo de los cuatro tratamientos ( $2.31 \pm 0.49$  vs.  $2.46 \pm 0.16$ ,  $2.50 \pm 0.36$ ,  $2.77 \pm 0.63$  Tratamiento A vs. Tratamiento B, C y D) en promedio a lo largo del experimento.

En el tratamiento D (grupo de alta densidad animal) se observó una mayor conversión alimenticia en la semana 14 comparado con las semanas previas y en comparación con el grupo B (de menor densidad animal). Contrario al tratamiento D que presentó una baja de la semana 12 a la 12 ( $3.08 \pm$



0.55 a 2.77  $\pm$ 0.63). Los tratamientos A y B fueron los que tuvieron mejor conversión alimenticia promedio por tratamiento a lo largo del experimento.

**Tabla 9.- Conversión alimenticia (kg) en pavos de línea comercial Nicholas en 4 edades (8,10,12,14 semanas) según tipo de población (alta y baja) con y sin enriquecimiento ambiental (Promedio  $\pm$  DE).**

TRATAMIENTO	SEMANA DE TRATAMIENTO				Promedio por tratamiento	Valor de P
	SEMANA 8	SEMANA 10	SEMANA 12	SEMANA 14		
TRATAMIENTO A (BD + EA)	1.71 $\pm$ 0.42 <sup>a,x</sup>	2.25 $\pm$ 0.61 <sup>b,x</sup>	2.40 $\pm$ 0.60 <sup>b,x</sup>	2.89 $\pm$ 0.63 <sup>c,x</sup>	2.31 $\pm$ 0.49	0.0000 1
TRATAMIENTO B (BD)	2.01 $\pm$ 0.41 <sup>x</sup>	2.48 $\pm$ 0.39 <sup>y</sup>	2.44 $\pm$ 0.71 <sup>x</sup>	2.65 $\pm$ 0.63 <sup>x</sup>	2.46 $\pm$ 0.16	0.06
TRATAMIENTO C (AD+ EA)	2.07 $\pm$ 0.44 <sup>a,y</sup>	2.55 $\pm$ 0.39 <sup>b,x</sup>	2.41 $\pm$ 0.45 <sup>b,x</sup>	2.95 $\pm$ 0.53 <sup>b,x</sup>	2.50 $\pm$ 0.36	0.0000 1
TRATAMIENTO D (AD)	2.03 $\pm$ 0.44 <sup>a,x</sup>	2.53 $\pm$ 0.63 <sup>a,x</sup>	3.08 $\pm$ 0.55 <sup>a,y</sup>	2.77 $\pm$ 0.63 <sup>b,y</sup>	2.77 $\pm$ 0.63	0.0000 1
Promedio por semana (kg $\pm$ de)	2.18 $\pm$ 0.05	2.74 $\pm$ 0.11	2.58 $\pm$ 0.15	2.99 $\pm$ 0.04		
Valor de p por semana	0.001	0.0001	0.0002	0.00006		

BD= Baja densidad, AD= Alta densidad, EA= enriquecimiento ambiental (Percha, pelota y paca)

Los superíndices a,b,c indican diferencias significativas en el tratamiento a lo largo del tiempo.

Los superíndices x,y indican una diferencia entre tratamientos por semana.

El rechazo de alimento (tabla 10) fue disminuyendo gradualmente conforme fueron creciendo los animales en todos los tratamientos experimentales; mientras que los grupos A y B presentaron a manera de tendencia los grupos con mayor desperdicio de alimento (2.9  $\pm$ 3.2 y 3.9  $\pm$  3.5; respectivamente). De manera inversa al rechazo del alimento, se observó una tendencia de aumento de consumo de alimento (tabla 10) en todos los grupos, siendo mayor el promedio a lo largo del experimento el grupo A y el B con el menor promedio de consumo.

**Tabla 10.-Rechazo de alimento (kg) de los pavos de línea comercial Nicholas en 4 edades (8,10,12,14 semanas) según tipo de población (alta y baja) con y sin enriquecimiento ambiental (Promedio  $\pm$  DE).**

TRATAMIENTO	SEMANA DE TRATAMIENTO				Promedio por tratamiento (Kg $\pm$ DE)	Valor de P
	SEMANA 8	SEMANA 10	SEMANA 12	SEMANA 14		
TRATAMIENTO A (BD + EA)	7.64	2.07	0.90	1.08	2.9 $\pm$ 3.2	0.04
TRATAMIENTO B (BD)	9.04	3.25	1.41	1.95	3.9 $\pm$ 3.5	

TRATAMIENTO C (AD+ EA)	4.17	0.19	0.09	0.09	1.1 ± 2
TRATAMIENTO D (AD)	0.09	0.37	0.87	0.00	0.3 ± 0.4
Promedio por semana (kg ± DE)	5.2 ± 4	1.5 ± 1.5	0.8 ± 0.5	0.8 ± 0.9	

BD= Baja densidad, AD= Alta densidad, EA= enriquecimiento ambiental (Percha, pelota y paca)

**Tabla 11.- Alimento consumido (kg) de los pavos de línea comercial Nicholas en 4 edades (8,10,12,14 semanas) según tipo de población (alta y baja) con y sin enriquecimiento ambiental (Promedio ± DE).**

TRATAMIENTO	SEMANA DE TRATAMIENTO				PROMEDIO POR TRATAMIENTO	Valor de P
	SEMANA 8	SEMANA 10	SEMANA 12	SEMANA 14		
TRATAMIENTO A (BD + EA)	2.02	2.48	3.28	3.83	2.90	0.00001
TRATAMIENTO B (BD)	1.75	2.39	2.86	3.46	2.62	
TRATAMIENTO C (AD+ EA)	1.76	2.79	3.32	3.70	2.89	
TRATAMIENTO D (AD)	1.74	2.61	3.30	3.66	2.83	
Promedio por semana (kg ± DE)	1.82 ± 0.13	2.57 ± 0.17	3.19 ± 0.22	3.66 ± 0.15		

BD= Baja densidad, AD= Alta densidad, EA= enriquecimiento ambiental (Percha, pelota y paca)

### 6.3.- Morfometría de órganos linfoides.

La evaluación morfométrica de bazo e hígado en los tratamientos (tabla 11) A, B, C Y D no demostró diferencias significativas en ninguno de los tratamientos, excepto en el ancho del hígado donde el tratamiento A mostro tener un menor ancho comparado con el tratamiento D (9.8±1.25 vs 12±1.83; respectivamente).

**Tabla 12.- Pesos (g) y medidas (cm) de órganos *post mortem* en pavos de línea comercial Nicholas en 4 edades (8,10,12,14 semanas) según tipo de población (alta y baja) con y sin enriquecimiento ambiental (Promedio ± DE).**

TRATAMIENTO	SEMANA DE TRATAMIENTO					
	LARGO DEL BAZO (cm)	ANCHO DEL BAZO (cm)	PESO DEL BAZO (g)	LARGO DEL HIGADO (cm)	ANCHO DEL HIGADO (cm)	PESO DEL HIGADO (g)

TRATAMIENTO						
A (BD + EA)	3.7±0.44		5.5 ± 2.88		9.8±1.25 <sup>x</sup>	139.2 ± 14.10
		2.04±0.08		10.3± 1.20		
TRATAMIENTO	2.83±1.38	2.16±0.28	7.6 ± 0.01		11.43±0.8	120.4 ± 11.22
B (BD)				11.5±1.65	3 <sup>x,y</sup>	
TRATAMIENTO	2.75±0.64	2.5±1	5.32 ± 0.03		11.6±1.14	150.4 ± 27.44
C (AD+ EA)				11.2±1.78	<sup>x,y</sup>	
TRATAMIENTO			9.57 ± 0.04			148.6 ± 16.89
D (AD)	4.1±0.22	2.8±1.25		12.1±0.82	12±1.83 <sup>y</sup>	
VALOR DE P	0.67	0.18	0.13	0.1	0.04	0.29

BD= Baja densidad, AD= Alta densidad, EA= enriquecimiento ambiental (Percha, pelota y paca)

Los superíndices x,y indican una diferencia entre tratamientos por semana.

## 7.- Discusión

En general, se encontraron diferencias entre todos los grupos respecto a la relación H:L y los índices productivos. Respecto a la morfometría, nuestras condiciones de alojamiento y densidad no parecieron modificar a los órganos linfoides en pavos a las 14 semanas de edad.

### 7.1 Relación H:L

En la literatura no existe una referencia específica sobre el rango de H:L [37]. Sin embargo, Bealuac (2018) describe un incremento lineal en pavos de engorda criados con enriquecimiento de las semanas 4 a la 12 donde mientras mayor es la densidad, mayor es la relación H/L hasta la semana 16, es decir, hubo un impacto significativo de la densidad en los pavos solamente en la semana 14. En nuestros resultados, en el tratamiento A se observa una tendencia de incremento de valor en la relación H:L desde la semana 8 hasta la semana 12. A partir de la semana 12 se vio un decremento hasta la semana 14. Esto es contrario a la tendencia que presentó el tratamiento B y C, los cuales presentan un rango más elevado en la semana 8 comparado con el tratamiento A; posteriormente, se observa una baja en las semanas 10 y 12, mientras que en la semana 14 vuelve a subir la relación H:L. No obstante, el tratamiento D tiene una tendencia de decremento a lo largo del tiempo.

Dichos hallazgos de tendencias de incremento seguido de decremento en la relación H:L en el tratamiento A es similar a la reportada por Bealuac et al., 2018 en una densidad animal similar y con uso de enriquecimiento. Sin embargo, es importante mencionar que el valor numérico de la relación H.L es diferente y es probablemente asociado a factores ambientales, nutricionales, o manejo [43]. No obstante, el tratamiento C que es una densidad animal mayor y con enriquecimiento, no presentó un comportamiento similar en la relación H:L al grupo A o el descrito por Bealuac et al., 2018.

Esto nos indicaría que los pavos del tratamiento A presentaron una respuesta al estrés hasta las 12 semanas ya que las alteraciones en el número de heterófilos y linfocitos circulantes se han asociado con una función inmunológica disminuida y también pueden ser un indicador de estrés. [34], [37], [43]

Mientras que lo reportado por Huff et. al., 2005 con las líneas genéticas de crecimiento rápido y la línea comercial a las 16 semanas de vida son valores de relación H:L elevados a comparación de los valores que obtuvimos en nuestros tratamientos B y D a la semana 14. Sin embargo, el factor estresante es diferente en estos dos estudios, ya que Huff et.al.,2008 aplico dexametasona e inoculo *E. coli* como estresor y el factor estresante en nuestro estudio fue la densidad animal y el uso de enriquecimiento, es decir, es probable que los resultados de Huff et.al.,2005 hayan presentado un valor de la relación H:L elevado comparado con el nuestro debido a la severidad del factor estresante utilizado en dicho estudio. De igual manera, es difícil comparar los resultados de Huff, et.al., 2003 con nuestros hallazgos ya que dicho estudio reportado indico una menor relación de H:L a las 8 semanas en pavos criados con enriquecimiento comparado con nuestro estudio. Mientras que nuestro estudio se realizó con una densidad animal similar a las 8 semanas, pero el tipo de enriquecimiento utilizado en estos estudios es muy diferente. Huff et.al., 2003 utilizó enriquecimiento ambiental basado en juegos infantiles humanos hechos de plástico mientras que nuestro estudio utilizo recursos naturales fácilmente encontrados en una granja animal (pacas de alfalfa y perchas de madera). Es decir, la comparación entre los resultados publicados y los nuestros se ve limitada debido a la gran diversidad de recursos que se pueden utilizar como enriquecimiento ambiental en los animales.

Los hallazgos del presente estudio indican una variabilidad en tendencias de comportamiento en la relación H:L dependiente de la densidad animal y tipo de enriquecimiento. Sin embargo, hay escasa literatura que reporte una trayectoria de los cambios a lo largo del tiempo de la relación H:L como la que se presentó en este estudio. Nicol et.al., 2005 reporta en gallinas de postura un incremento en la relación H:L asociado a la edad. En donde se reporta un incremento en la relación H:L al finalizar la etapa de crianza a las 16 semanas comparado con el final de la postura a las 70 semanas ( $0.55 \pm 0.31$  vs.  $1.67 \pm 0.71$ ; respectivamente). No obstante, se requiere precaución al extrapolar estos resultados experimentales de gallinas ponedoras a pavos ya que son especies diferentes y con fines zootécnicos diferentes [43].

Todos los tratamientos generaron una respuesta diferente al estrés, vemos una tendencia de incremento en la relación H:L en los tratamientos A y C que son los grupos de enriquecimiento ambiental, lo cual sugiere que el uso de enriquecimiento aumenta la relación H:L a lo largo del tiempo y esto se puede interpretar como un estrés asociado a la competencia por recursos de enriquecimiento [37]. Sin embargo en el tratamiento A hay una mejor respuesta adaptativa al ambiente para la semana 14, probablemente asociado también a la presencia del enriquecimiento ambiental. Esto es contrario a lo observado en el tratamiento B que no obtuvo diferencias estadísticas a lo largo del experimento. El tratamiento C tiene un aumento en la semana 14 asociable a la competencia de recursos generada por la densidad animal y la presencia del enriquecimiento, contrario al tratamiento D tiene una tendencia de decremento a lo largo de toda la engorda, lo que sugiere una respuesta adaptativa al ambiente más acelerada que el resto de los grupos y menos competencia al no haber presencia de enriquecimiento.

## 7.2 Parámetros productivos

Al analizar los registros finales en nuestros pesos y compararlos con las tablas Nicholas se demostró que nuestras aves presentaron un menor peso al esperado a lo largo del experimento. Los tratamientos con el peso más alto a la semana 14 son el A y C y por tanto los más cercanos a los pesos marcados en las tablas Nicholas (tratamiento A= 11.39, tratamiento C= 11.38 vs. 13.58; respectivamente). La baja de peso comparada con la literatura y los estándares comerciales de la línea genética [9], [44] puede deberse al manejo nutricional empleado en la unidad de producción. No obstante, las diferencias entre los grupos no fueron significativas a la semana 14. La tendencia a que el tratamiento B haya sido el de menor peso puede atribuirse a no tener enriquecimiento y poseer una menor densidad animal lo que ocasionó una menor ingesta de los recursos comparado con el tratamiento A y probablemente menor competencia por el alimento como sucedió en los tratamientos C y D.

El uso de enriquecimiento ambiental y sus implicaciones en los índices productivos han sido pobremente estudiados en la meleagricultura [16], Huff, et.al.2003 reportaron que no existe una diferencia significativa en pavos a las 8 semanas alojados con y sin enriquecimiento lo cual es similar a nuestro estudio. No obstante, nuestro estudio es el primero en evaluar el uso o no de enriquecimiento a lo largo de un ciclo de producción de engorda de pavos y demostró que no tiene implicaciones significativas en el peso final.

La conversión alimenticia, siempre fue mayor en todos los tratamientos, superando incluso a lo esperado en las tablas Nicholas [9]. Este hallazgo puede deberse al manejo nutricional empleado en la unidad de producción. El tratamiento A fue de los grupos con el peso final más alto y cercano a lo esperado en los estándares de producción. De igual manera su conversión alimenticia fue de las más eficientes entre los 4 grupos a las 14 semanas. Lo cual nos podría indicar que el uso de enriquecimiento y esta densidad sería la recomendable para pavos de producción de engorda, mientras que los tratamientos C y D también obtuvieron pesos elevados, pero conversiones alimenticias variables, el tratamiento D su conversión fue aumentando gradualmente mientras que el C tuvo un incremento significativo entre la semana 12 y 14 lo cual es necesario evaluar a detalle con estudios de etología y confirmar si hubo una mayor competencia por alimento asociado por dominancia. Este aumento de conversión alimenticia en la semana 12 y 14 en el tratamiento C se puede asociar al incremento de la relación H:L lo que sugiere que fue un factor estresante. No obstante, no se encontró una relevancia fisiológica entre los cambios en los tratamientos A, B y D en cuanto a la conversión alimenticia y los cambios de la relación H:L.

Al evaluar el consumo de alimento aumento cada semana como era esperado debido al crecimiento de los animales. Cabe resaltar que hubo algunas semanas y tratamientos que el consumo se vio disminuido. Al comparar el tratamiento A vs. B y C vs. D se puede observar una ligera tendencia de mayor consumo en los tratamientos con enriquecimiento lo cual se interpretó como una mayor estimulación por consumo asociada al enriquecimiento sin importar la densidad animal.

El rechazo de alimento fue disminuyendo de manera gradual a lo largo del experimento debido al incremento del consumo de alimento. El tratamiento B fue quien presento una mayor cantidad de rechazo de alimento comparado con el resto de los grupos a lo largo del experimento, lo cual se asoció a la baja densidad y falta de enriquecimiento que no genero una competencia por recursos. Caso contrario a lo observado en el tratamiento C y D, estos tratamientos presentaron el menor rechazo de alimento asociado probablemente a la alta densidad que genero una competencia por recursos independiente del enriquecimiento.

### *7.3 Relación morfométrica*

Respecto a las mediciones realizadas en los órganos, nuestros resultados no presentan diferencias estadísticas significativas bajo ningún tratamiento. Esto es similar a lo reportado por Huff et.al., 2003 en pavos criados con enriquecimiento, donde los autores no reportaron diferencias entre las aves con o sin enriquecimiento [38]. Lo cual es contrario a lo reportado por Nicol et.al, 2005 que demostraron diferencias estadísticas en los pesos de hígado y bazo en gallinas de postura alojadas en diferentes densidades animales. No obstante, cuando los valores de la parvada en crianza se analizaron con los valores del fin de postura, el efecto significativo del tratamiento sobre el peso del hígado ya no fue evidente por lo que los autores sugieren realizar más estudios para dilucidar cómo las condiciones de crianza influyen en el peso de los órganos [36]. Sin embargo, Nicol, et.al, 2005 también señalaron que se debe tener cuidado al interpretar esta información en gallinas de postura ya que no se han examinado las interacciones detalladas entre el estrés fisiológico y el peso de los órganos en avicultura [36].

Es decir, en nuestro estudio el alojamiento no tuvo impacto en el tamaño de los órganos ya sea por la densidad animal y/o el uso de enriquecimiento ambiental. A pesar de observar cambios fisiológicos en la relación H:L este parece no tener un impacto sobre algunos órganos como el hígado y bazo. Lo cual se puede confirmar con las semejanzas de medias de pesos finales de los pavos a las 14 semanas.

## **8.- Conclusiones**

Se observaron cambios fisiológicos y productivos dependientes del uso de enriquecimiento ambiental y la densidad animal. El tratamiento con baja densidad y enriquecimiento, presento una mejor respuesta adaptativa al estrés y mejores parámetros de producción comparado con los otros grupos mientras que el grupo de baja densidad y sin enriquecimiento no tiene cambios fisiológicos asociados al estrés y presento resultados menores a los esperados, mientras que los grupos de alta densidad presentaron resultados productivos similares a lo esperado, pero con una respuesta adaptativa al estrés diferente. El grupo de alta densidad con enriquecimiento generó un incremento de estrés en las últimas semanas, mientras que el grupo de alta densidad sin enriquecimiento presento una mejor respuesta adaptativa basado en el indicador de estrés crónico a lo largo del experimento.

## 9.- Financiamiento.

Este proyecto fue posible gracias 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” al cual agradezco su apoyo incondicional para la presente investigación.

## 10.- Referencias.

- [1] C. Centro de estudios para el desarrollo rural sustentable y la soberanía alimentaria, “CEDERSSA 2019 ‘La importancia de la industria avícola en México,’” vol. 14, 2019.
- [2] F. Soto Perez, E. Figueroa Hernandez, J. A. Garcia Salazar, and L. Godinez Montoya, “Soto, P.F. La avicultura en México, retos y perspectivas,” *Ciencias sociales: economía y humanidades*, pp. 293–300, 2014, Accessed: Mar. 13, 2022. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.11799/41258>
- [3] U. Unión Nacional de avicultores, “Situación de la Avicultura Mexicana: Expectativas 2021,” 2019.  
<https://una.org.mx/industria/#:~:text=Expectativas%202021&text=Se%20pronostica%20que%20la%20producci%C3%B3n,de%202.9%20millones%20de%20toneladas>. (accessed Mar. 13, 2022).
- [4] Union Nacional de Avicultores (UNA), *Compendio de indicadores economicos del sector avicola* . 2021.
- [5] S. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, “Avance mensual de la producción pecuaria 2021 ‘Resumen nacional,’” Jun. 2021.
- [6] M. A. Martínez-Damián, “Tropical and Subtropical Agroecosystems,” *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 19, no. 2, pp. 139–144, 2016, [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93946928012>
- [7] R. Santos-Ricalde and J. Segura-Correa, “La importancia de la cría de pavos (Meleagricultura) en Yucatán,” 2020.
- [8] M. A. Erasmus, “Welfare issues in turkey production,” *Advances in Poultry Welfare*, pp. 263–291, Jan. 2018, doi: 10.1016/B978-0-08-100915-4.00013-0.
- [9] “Converter Turkey - Antibiotic Free Turkeys - Feed Conversion - Hybrid.”  
<https://www.hybridturkeys.com/en/product/hybrid-converter/> (accessed Mar. 21, 2022).
- [10] Y. Wein, E. B. Shira, and A. Friedman, “Avoiding handling-induced stress in poultry: Use of uniform parameters to accurately determine physiological stress,” *Poultry Science*, vol. 96, no. 1, pp. 65–73, 2017, doi: 10.3382/ps/pew245.

- [11] R. A. S. Plazas, F. A. P. Hernández, D. Y. T. Piso, M. del R. P. Rubio, L. M. P. Sierra, and A. DiGiacinto, "Requirements for the measurement of invasive and non-invasive stress indicators in animal production," *Revista de Investigaciones Veterinarias del Peru*, vol. 29, no. 1, pp. 15–30, 2018, doi: 10.15381/rivep.v29i1.14195.
- [12] "Bienestar Animal - OIE - Organizacion Mundial de Sanidad Animal." <https://www.oie.int/es/que-hacemos/sanidad-y-bienestar-animal/bienestar-animal/> (accessed Apr. 11, 2022).
- [13] R. C. Beckford *et al.*, "Effects of heat stress on performance, blood chemistry, and hypothalamic and pituitary mRNA expression in broiler chickens," *Poultry Science*, vol. 99, no. 12, pp. 6317–6325, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.psj.2020.09.052.
- [14] V. Ferrante *et al.*, "Differences in prevalence of welfare indicators in male and female turkey flocks (*Meleagris gallopavo*)," *Poultry Science*, vol. 98, no. 4, pp. 1568–1574, Apr. 2019, doi: 10.3382/PS/PEY534.
- [15] R. M. Bilal *et al.*, "Thermal stress and high stocking densities in poultry farms: Potential effects and mitigation strategies," *Journal of Thermal Biology*, vol. 99. Elsevier Ltd, Jul. 01, 2021. doi: 10.1016/j.jtherbio.2021.102944.
- [16] R. Lindenwald, H. J. Schuberth, B. Spindler, and S. Rautenschlein, "Influence of environmental enrichment on circulating white blood cell counts and behavior of female turkeys," *Poultry Science*, vol. 100, no. 9, p. 101360, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.PSJ.2021.101360.
- [17] J. A. Piña, M. D. Namba, J. M. Leyrer-Jackson, G. Cabrera-Brown, and C. D. Gipson, "Social Influences on Nicotine-Related Behaviors," *International Review of Neurobiology*, vol. 140, pp. 1–32, Jan. 2018, doi: 10.1016/BS.IRN.2018.07.001.
- [18] W. Bessei, "Welfare of broilers: a review," *World's Poultry Science Journal*, vol. 62, no. 03, p. 455, Sep. 2006, doi: 10.1017/S0043933906001085.
- [19] I. Estevez, "Density Allowances for Broilers: Where to Set the Limits? DENSITY ALLOWANCES AND BROILER WELFARE," 2007.
- [20] M. A. Erasmus, "A review of the effects of stocking density on Turkey behavior, welfare, and productivity," *Poultry Science*, vol. 96, no. 8. Oxford University Press, pp. 2540–2545, Aug. 01, 2017. doi: 10.3382/ps/pex075.
- [21] S. Eratarlar and R. Akbay, "The Effects of Stocking Density on Some Blood Stress Parameters of Meat Turkeys," *International Journal of Agriculture and Wildlife Science (IJAWS)*, vol. 3, no. 2, Dec. 2017, doi: 10.24180/ijaws.321657.
- [22] M. S. Dawkins, "Stocking density: Can we judge how much space poultry need?," *Advances in Poultry Welfare*, pp. 227–242, Jan. 2018, doi: 10.1016/B978-0-08-100915-4.00011-7.



- [23] B. M. Bartz, K. A. Anderson, E. O. Oviedo-Rondón, K. Livingston, and J. L. Grimes, "Effects of stocking density on large white, commercial tom turkeys reared to 20 weeks of age: 1. growth and performance," *Poultry Science*, vol. 99, no. 11, pp. 5582–5586, Nov. 2020, doi: 10.1016/J.PSJ.2020.08.024.
- [24] M. S. Dawkins, C. A. Donnelly, and T. A. Jones, "Chicken welfare is influenced more by housing conditions than by stocking density," *Nature*, vol. 427, no. 6972, pp. 342–344, Jan. 2004, doi: 10.1038/nature02226.
- [25] K. Beaulac and K. Schwean-Lardner, "Assessing the effects of stocking density on Turkey tom health and welfare to 16 weeks of age," *Frontiers in Veterinary Science*, vol. 5, no. SEP, p. 213, Sep. 2018, doi: 10.3389/FVETS.2018.00213/BIBTEX.
- [26] L. E. Ellestad, J. Saliba, and T. E. Porter, "Ontogenic characterization of gene expression in the developing neuroendocrine system of the chick," *General and Comparative Endocrinology*, vol. 171, no. 1, pp. 82–93, Mar. 2011, doi: 10.1016/J.YGCEN.2010.12.006.
- [27] E. L. Rich and L. M. Romero, "Exposure to chronic stress downregulates corticosterone responses to acute stressors," *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, vol. 288, no. 6 57-6, pp. 1628–1636, Jun. 2005, doi: 10.1152/AJPREGU.00484.2004.
- [28] R. v. Carsia, "Adrenals," *Sturkie's Avian Physiology: Sixth Edition*, pp. 577–611, Jan. 2015, doi: 10.1016/B978-0-12-407160-5.00026-9.
- [29] J. P. Herman *et al.*, "Regulation of the hypothalamic-pituitary-adrenocortical stress response," *Compr Physiol*, vol. 6, no. 2, p. 603, Apr. 2016, doi: 10.1002/CPHY.C150015.
- [30] C. G. Scanes, "Biology of stress in poultry with emphasis on glucocorticoids and the heterophil to lymphocyte ratio," *Poultry Science*, vol. 95, no. 9, pp. 2208–2215, Sep. 2016, doi: 10.3382/ps/pew137.
- [31] A. K. Davis, D. L. Maney, and J. C. Maerz, "The use of leukocyte profiles to measure stress in vertebrates: A review for ecologists," *Functional Ecology*, vol. 22, no. 5, pp. 760–772, Oct. 2008, doi: 10.1111/j.1365-2435.2008.01467.x.
- [32] P. F. Cotter, "An examination of the utility of heterophil-lymphocyte ratios in assessing stress of caged hens," *Poultry Science*, vol. 94, no. 3, pp. 512–517, Nov. 2015, doi: 10.3382/ps/peu009.
- [33] T. Davison and J. G. Rowell, "Effects of corticosterone of peripheral lymphocyte and granulocyte populations in immature domestic fowl," *Res. Vet. Sci.*, vol. 34, 1983.
- [34] W. B. Gross and H. S. Siegel, "Evaluation of the Heterophil/Lymphocyte Ratio as a Measure of Stress in Chickens," 1983.

- [35] M. Erasmus, H. A. Dalton, S. Özkan, S. Noll, K. Schwan-Lardner, and K. Beaulac, "Article 213 Citation: Beaulac K and Schwan-Lardner K (2018) Assessing the Effects of Stocking Density on Turkey Tom Health and Welfare to 16 Weeks of," *Age. Front. Vet. Sci.*, vol. 5, p. 213, 2018, doi: 10.3389/fvets.2018.00213.
- [36] G. R. Huff, W. E. Huff, J. M. Balog, N. C. Rath, N. B. Anthony, and K. E. Nestor, "Stress response differences and disease susceptibility reflected by heterophil to lymphocyte ratio in turkeys selected for increased body weight," Arkansas, 2005. Accessed: Jun. 26, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1093/ps/84.5.709>
- [37] S. Struthers *et al.*, "The effect of infrared beak treatment on the welfare of turkeys reared to 12 weeks of age," *Poultry Science*, vol. 101, no. 4, p. 101728, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.PSJ.2022.101728.
- [38] G. R. Huff, W. E. Huff, J. M. Balog, and N. C. Rath, "The effects of behavior and environmental enrichment on disease resistance of turkeys.," *Brain, Behavior, and Immunity*, vol. 17, no. 5, pp. 339–349, Oct. 2003, doi: 10.1016/S0889-1591(03)00035-7.
- [39] J. S. Park, D. R. Kang, and K. S. Shim, "Proteomic changes in broiler liver by body weight differences under chronic heat stress," *Poultry Science*, vol. 101, no. 5, p. 101794, May 2022, doi: 10.1016/J.PSJ.2022.101794.
- [40] S. F. Jastrebski, S. J. Lamont, and C. J. Schmidt, "Chicken hepatic response to chronic heat stress using integrated transcriptome and metabolome analysis," *PLOS ONE*, vol. 12, no. 7, Jul. 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0181900.
- [41] Y. Guo *et al.*, "Transcriptomic Analysis of Spleen Revealed Mechanism of Dexamethasone-Induced Immune Suppression in Chicks," *Genes (Basel)*, vol. 11, no. 5, p. 513, May 2020, doi: 10.3390/genes11050513.
- [42] S. Chen, Y. Yong, and X. Ju, "Effect of heat stress on growth and production performance of livestock and poultry: Mechanism to prevention," *Journal of Thermal Biology*, vol. 99, p. 103019, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.JTHERBIO.2021.103019.
- [43] C. J. Nicol *et al.*, "Effects of stocking density, flock size and management on the welfare of laying hens in single-tier aviaries," *British Poultry Science*, vol. 47, no. 2, pp. 135–146, Apr. 2007, doi: 10.1080/00071660600610609.
- [44] K. Beaulac, H. L. Classen, S. Gomis, K. S. Sakamoto, T. G. Crowe, and K. Schwan-Lardner, "The effects of stocking density on turkey tom performance and environment to 16 weeks of age," *Poultry Science*, vol. 98, no. 7, pp. 2846–2857, Jul. 2019, doi: 10.3382/ps/pez087.