



Efecto de la suplementación dietaria con vitamina C sobre el rendimiento productivo, estrés y respuesta inmunitaria del pavo criado en un ambiente hipóxico natural

Effect of dietary supplementation with vitamin C on the productive performance, stress and immune response of turkey reared in a natural hypoxic environment

Manuel Paredes^{1,*} ; Armando Terrones¹ ; Cristian Hoban² ; Pedro Ortiz² 

¹ Departamento Académico de Ciencias Pecuarias, Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa 1050, Cajamarca, Peru.

² Laboratorio de Inmunología Veterinaria, Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa 1050, Cajamarca, Peru.

Received March 15, 2020. Accepted June 3, 2020.

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la adición de vitamina C en la dieta de pavos criados en un ambiente hipóxico natural (zona altoandina del Perú, 2750 msnm), sobre el rendimiento productivo, los valores hematológicos, el estado de estrés y la función inmune. Los pavos de engorde (Hybrid Converter) de un día de edad se asignaron a 5 grupos de 5 réplicas. Las aves de los 5 grupos fueron alimentadas con una dieta basal suplementada con 0 (grupo control), 500, 1000, 1500 y 2000 mg/kg de vitamina C durante 91 días. La vitamina C disminuyó los índices de heterófilos/linfocitos ($p < 0,05$). En comparación con el grupo control, la vitamina C a un nivel superior o igual a 1000 mg/kg disminuyó la mortalidad de las aves ($p < 0,05$), redujo el indicador de estrés ($p < 0,05$), aumentó el título de anticuerpos ($p < 0,05$), pero no mejoró los parámetros de crecimiento ($p > 0,05$). En consecuencia, la suplementación dietética con vitamina C podría regular el rendimiento productivo, al disminuir el nivel de mortalidad, promover la función inmune y mejorar el estado de estrés en pavos comerciales, criados en un ambiente hipóxico natural. Estos resultados alientan la producción de carne de pavo comercial en zonas hipóxicas.

Palabras clave: vitamina C; rendimiento productivo; función inmune; estrés; pavo de engorde.

Abstract

This research aimed to evaluate the effect of the addition of vitamin C in the diet of turkeys reared in a natural hypoxic environment (high Andean zone of Peru, 2750 masl), on productive performance, hematological values, stress status and immune function. One-day-old Hybrid Converter turkeys were assigned to 5 groups of 5 replicates. The birds of the 5 groups were fed a basal diet supplemented with 0 (control group), 500, 1000, 1500 and 2000 mg/kg of vitamin C for 91 days. Vitamin C decreased heterophile / lymphocyte levels ($p < 0.05$). Compared to the control group, vitamin C at a level greater than or equal to 1000 mg / kg decreased bird mortality ($p < 0.05$), reduced the stress indicator ($p < 0.05$), increased the antibody titer ($p < 0.05$), but did not improve growth parameters ($p > 0.05$). Consequently, dietary supplementation with vitamin C could regulate productive performance, by reducing the level of mortality, promoting immune function, and improving the state of stress in commercial turkeys, reared in a natural hypoxic environment. These results encourage commercial turkey meat production in hypoxic areas.

Keywords: vitamin C; performance; stress status; immune function; broiler turkey.

1. Introducción

La zona altoandina del Perú (ambiente hipóxico natural) tiene más de ocho millones de habitantes (INEI, 2018) agrupados en

más de un millón de familias; muchas de ellas consumen carne de pavo en fiestas navideñas, manteniendo la costumbre de consumirla a partir de aves criadas en la misma

Cite this article:

Paredes, M.; Terrones, A.; Hoban, H.; Ortiz, P. 2020. Efecto de la suplementación dietaria con vitamina C sobre el rendimiento productivo, estrés y respuesta inmunitaria del pavo criado en un ambiente hipóxico natural. Scientia Agropecuaria 11(3): 357-364.

* Corresponding author
E-mail: mparedes@unc.edu.pe (M. Paredes).

zona y de especies criollas; sin embargo en los últimos años la oferta de pavos de líneas genéticas comerciales se ha incrementado y el poblador de las urbes andinas ha revertido sus preferencias por este tipo de pavo debido a su menor costo y mayor rendimiento en carne, pero relaciona la crianza del pavo en la misma zona con el buen sabor, lo cual tendría fundamento bioquímico debido a que el transporte del pavo durante varias horas desde la granja al centro de procesamiento produce niveles altos de corticosterona (Scanés *et al.*, 2020), además de hematomas que el ave sufre durante el traslado; por lo que el consumidor prefiere comprar aves vivas, a las que sacrifica tras una previa inspección de su aspecto corporal.

Hay tres factores de importancia que dificultan la crianza óptima del pavo de engorde: la genética, el clima frío y la menor oxigenación; al respecto, la intensa selección de aves de engorde para un rápido crecimiento y alto rendimiento de carne es un gran logro, pero ha conllevado a un aumento en la incidencia de síndromes metabólicos causados por la condición hipoxémica resultante de un desequilibrio entre el requerimiento y el suministro de oxígeno (Kalmar *et al.*, 2013). Estas aves en condiciones de temperaturas bajas y en zonas geográficas altas presentan problemas de hipertensión pulmonar y ascitis (Izadinia *et al.*, 2010). Aves criadas a gran altitud alcanzan pesos corporales más bajos que sus contrapartes de zonas a nivel del mar (Boerboom *et al.*, 2018; Druyan *et al.*, 2018), en donde hay una mínima incidencia de ascitis e hipertrofia ventricular derecha, recuentos inferiores de glóbulos rojos y valores bajos de hemoglobina (Balog *et al.*, 2000). También, las aves de engorde de rápido crecimiento presentan cardiomiopatías dilatadas sin presentar ascitis, diferenciándose estos casos por la elasticidad y densidad de la estructura vascular arterial, y el grosor de las fibras en la vena cava (Nain *et al.*, 2009). Estos casos de cardiomiopatías con o sin presencia asociada de ascitis suceden muy a menudo en los pavos de engorde criados en la sierra peruana.

La baja temperatura ambiental induce a la aparición de síndrome ascítico debido al incremento de la tasa metabólica y la necesidad de oxígeno (Daneshyar *et al.*, 2009). En estas condiciones de estrés ambiental se producen a nivel mitocondrial especies de oxígeno reactivo como iones de oxígeno, radicales libres y peróxidos que generan cambios en la forma, estructura y función de este organelo clave en el metabolismo, provocando estrés oxidativo (Macedo-Márquez, 2012).

Se conoce que la vitamina C (VC) es un antioxidante capaz de eliminar especies de oxígeno reactivo inducidas por baja temperatura ambiental, disminuyendo el estrés (Young *et al.*, 2003; Leskovec *et al.*, 2019; Saiz del Barrio *et al.*, 2020), que en pavos se refleja por el incremento de la relación heterófilos/linfocitos (Huff *et al.*, 2005; Scanés *et al.*, 2020). La VC evita la remodelación vascular pulmonar que provoca el síndrome ascítico en pollos de engorde (Zeng *et al.*, 2016). La suplementación de VC restablece la actividad de la xantina oxidasa que cumple la función de amortiguar los efectos del superóxido en pollos de engorde criados bajo hipoxia hipobárica (Bautista-Ortega *et al.*, 2014). Asimismo, la VC es un potente activador del sistema inmunológico (El-Senousey *et al.*, 2018), potenciando la actividad antioxidante de otros compuestos dietarios (Beyzi *et al.*, 2020) y mejorando el rendimiento productivo de especies en crecimiento al disminuir el estrés en ambientes expuestos a producción de amoníaco (Harsij *et al.*, 2020).

También, se debe tener en cuenta que para la formulación y elaboración de piensos del pavo de engorde no se recomienda incluir VC por cuanto lo sintetiza a partir de la glucosa, vía ácido glucorónico y lactona del ácido gulónico en presencia de la enzima L-gulonolactona oxidasa (Mc Donald *et al.*, 2010); a diferencia de las vitaminas liposolubles y las del complejo B que deben incluirse en cantidades específicas en la dieta del pavo mediante premezclas vitamínicas (FEDNA, 2018); por lo que la suplementación de VC en la dieta podría generar en el pavo de engorde sujeto a permanente selección y criado bajo condiciones ambientales de hipoxia, mejores resultados productivos en cuanto a crecimiento, disminución de estrés y respuesta inmunitaria contra las principales enfermedades que se presentan en esta especie.

El objetivo de este estudio fue determinar el mejor nivel de suplementación dietaria de vitamina C en el pavo de engorde criado en un ambiente hipóxico natural del valle de Cajamarca a 2750 msnm, a fin de mejorar el rendimiento productivo, disminuir estrés, y evaluar respuesta inmunitaria.

2. Materiales y métodos

Aves y Alojamiento

Un total de 500 pavos machos Hybrid Converter de un día de edad fueron obtenidos de una incubadora comercial (Corporación Gramogen, Lima, Perú), alojados en el galpón de aves de la Universidad Nacional de Cajamarca, en veinticinco corrales sobre

virutas de madera y asignados aleatoriamente a 5 tratamientos dietéticos, con 5 repeticiones por tratamiento y 20 aves por corral (2 m² cada uno). La densidad de población en la etapa inicial de cría fue de 10 aves / m². A partir de la tercera semana de edad los pavos fueron alojados a razón de 5 pavos/m² y en la fase de crecimiento y acabado 3 aves/m². Se proporcionó 24 horas de luz durante la primera semana y 16 horas de luz por día en las siguientes semanas. La temperatura en la zona de crianza fue de 36, 32, 28, 24 y 20 °C durante las cinco primeras semanas, respectivamente (Quintana, 2013), luego de lo cual los pavos se mantuvieron a temperatura ambiente. La temperatura fue medida con termómetros con función automática de memoria (Hacusa, China), colocados a 60 cm del piso en lados opuestos y central del galpón. Las temperaturas ambientales promediaron 18,1 ± 4,7 °C (media ± SD) y oscilaron entre 10 y 24 °C durante el estudio.

Vacunaciones

Las aves recibieron su primera vacunación en la incubadora contra Marek, Newcastle y Rinotraqueitis (TRT). En la granja los pavos fueron vacunados a los 7 días utilizando Newcastle B₁B₁ + Bronquitis Mass, a los 14 días con Poulvac TRT contra rinotraqueitis, a los 21 días con Viruela poxine y a los 35 días con Newcastle La Sota + Bronquitis Mass. Las vacunas aplicadas en granja fueron adquiridas de Distribuidora Montana SA,

Perú, administradas vía ocular a excepción de viruela que se aplicó por punción alar.

Dietas

Durante cada una de las 3 fases de alimentación, los pavos fueron alimentados *ad libitum* con dietas basales en los cinco tratamientos, formuladas de acuerdo a las recomendaciones nutricionales para el pavo de carne (FEDNA, 2018) y adaptadas considerando tres fases alimenticias: *arranque* de 0 a 42 días de edad con la energía de la fase de crecimiento 1, *crecimiento* de 42 a 70 días con las recomendaciones nutricionales y energéticas de la fase crecimiento 2, y *acabado* de 70 a 91 días con las recomendaciones nutricionales de la fase crecimiento 3 y energía sugerida para la fase de acabado 2 (Tabla 1).

Las dietas experimentales se elaboraron en una fábrica de piensos del distrito de Guadalupe, provincia de Pacasmayo, La Libertad, Perú, a 200 km de distancia del valle de Cajamarca bajo la supervisión directa de los investigadores del Departamento Académico de Ciencias Pecuarias, Universidad Nacional de Cajamarca. De acuerdo con el procedimiento experimental, las dietas basales (DB) en sus tres fases alimenticias se mezclaron según tratamiento (T), variando la dosis de suplementación de VC de la siguiente manera: T₁: DB + 0 mg/kg, T₂: DB + 500 mg/kg, T₃: DB + 1000 mg/kg, T₄: DB + 1500 mg/kg y T₅: DB + 2000 mg/kg.

Tabla 1

Ingredientes (g/kg, base tal como ofrecido) y contenido nutricional de las dietas basales según fases de alimentación del pavo comercial

	Arranque (0 - 42 días)	Crecimiento (42 - 70 días)	Acabado (70 - 91 días)
Maíz amarillo	360	410	410
Soya integral	180	180	260
Torta de soya	280	250	190
Harina de pescado	60	40	-
Polvillo de arroz	65	80	50
Aceite de soya	-	-	45
Carbonato de calcio	23	20	20
Fosfato dicálcico	22	10	15
Sal (NaCl)	3	3	3
DL metionina	2	2	2
Lisina HCl	1	1	1
Premix vitamínica-mineral ^a	1	1	1
Aditivos ^b	3	3	3
Total	1000,0	1000,0	1000,0
Contenido nutricional calculado			
EMA, Kcal/kg	2878	2962	3201
Proteína cruda, %	26,3	24,1	22,2
Fibra cruda, %	4,6	4,8	4,9
Lisina, %	1,8	1,46	1,26
Metionina, %	0,65	0,58	0,52
Triptófano, %	0,30	0,23	0,20
Ca, %	1,42	1,15	1,05
P disponible, %	0,73	0,58	0,52

^a Cada kg contiene: Vit. A 10 000 mil UI, Vit. D₃ 3 000 mil UI, Vit. E 12 000 UI, Vit. K₃ 2,5 g, tiamina 2 g, riboflavina 6 g, cianocobalamina 12 mg, ácido pantoténico 16 g, ácido fólico 21,5 g, niacina 120 mg, Mn 65 g, Zn 65 g, Fe 80 g, Cu 10 g, I 1 g, Se 200 mg. Producto comercializado como Proapack Pavos por Distribuidora Montana S.A. Perú.

^b La mezcla de aditivos contiene: Fungiban (ácido propiónico al 99,5%) 1 g, bacitrazinc (bacitracina zinc al 15%) 0,5 g, Toxibond (SiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, MgO, Na₂O, K₂O) 1 g, Uniban (Dinitro ortho toluamida al 25%) 0,5 g.

La fuente de VC utilizada en el experimento fue Ascorbil Oral, bolsa x 1 kg de ácido ascórbico, distribuido por Montana SA, Perú. El contenido de VC de las dietas basales fue determinado de acuerdo con cada tratamiento y luego se mezclaron según las dosis mencionadas anteriormente. La presentación de las dietas en sus tres fases fue tipo harina. Se midió el tamaño medio de partícula (TMP) con un equipo tamizador marca EML 200 digital plus N, teniendo el alimento de arranque un TMP entre 595 a 1190 μm , y las dietas de crecimiento y acabado un TMP entre 595 a 1680 μm , con una distribución de estos rangos de TMP del 80%.

Medición del Rendimiento Productivo

El peso corporal (PC), ganancia de peso corporal (GPC) y consumo de alimento fueron registrados y calculados sobre la base de las aves existentes en cada corral, a las seis, diez y trece semanas de edad (42, 70 y 91 días). Inicialmente se determinó el peso corporal (PI), luego se calculó la ganancia media diaria (GMD) de peso corporal por fase alimenticia, dividiendo la GPC por fase por los días de duración de la fase. La ingesta diaria de alimento (IDA) por ave se calculó sobre la base del consumo total de alimento de cada corral por cada fase alimenticia, dividida por el número de días de duración de la fase. La conversión alimenticia (CA) para el periodo y por cada fase alimenticia se calculó siguiendo el procedimiento indicado por [Che et al. \(2012\)](#) sobre la base de dividir la IDA (en gramos) por GMD (en kg), interpretándose el resultado como los gramos de alimento consumido por el animal para ganar 1 kg de peso corporal.

Para medir el PC inicialmente y el consumo de alimento se utilizó una balanza de precisión KERN EW 6000 1M (Alemania), de capacidad 6000 g y precisión de lectura 0,1 g. En fases de crecimiento y acabado se utilizó la balanza electrónica de plataforma TCS de capacidad 300 kg y precisión 50 g, distribuida por la empresa JR, Perú. También se registró la mortalidad de las aves y se analizó por necropsia las posibles causas de muerte; los datos fueron analizados según fases alimenticias y tratamientos.

Análisis hematológicos y cálculo del Índice Heterófilos/Linfocitos (IHL)

A las trece semanas de edad, quince pavos por tratamiento, considerando cinco repeticiones de tres aves cada una, fueron pesados y sometidos a punción de la vena braquial, colectándose 2 ml de sangre en tubos recubiertos con EDTA-Na para la determinación de los valores hematológicos: hematocrito (%), hemoglobina (g/100 ml), recuento de leucocitos por mm^3 , recuento de glóbulos

rojos (miles/ mm^3) y el diferencial leucocitario. El análisis se realizó en el Laboratorio Regional del Norte, Cajamarca, utilizando un analizador de hematología automatizado (Alfa Basic 16p, Boule Medical AB, Suecia) estandarizado para el análisis de sangre de pavo. El índice de heterófilos / linfocitos (IHL) se calculó dividiendo el porcentaje de heterófilos por el de linfocitos.

Determinación del título de anticuerpos

Los títulos de anticuerpos específicos contra Newcastle (NDV), bronquitis infecciosa (IBV), enfermedad infecciosa de bursa (IBDV) y pneumovirus aviar (APV) se determinaron a partir de suero de sangre de la vena braquial de 75 pavos, 15 aves por tratamiento, recolectado y almacenado a $-70\text{ }^\circ\text{C}$. Se midieron con el uso de kits ELISA comerciales diseñados para reaccionar de forma cruzada con los anticuerpos de pavo, siguiendo las instrucciones del fabricante (Synbiotics, EE. UU.).

Las etapas particulares del procedimiento ELISA se realizaron de acuerdo con el tipo de anticuerpos. Los anticuerpos específicos para NDV y IBV se detectaron luego que se agregaron diluciones de suero a placas de microtitulación previamente recubiertas con antígenos de las vacunas en tampón de bicarbonato a pH 9,6 después lavados para eliminar el exceso de anticuerpo no unido, seguidamente se añadieron inmunoglobulinas y luego los anticuerpos unidos se detectaron mediante la adición de tetrametilbenzidina. La unión del anticuerpo se expresa como unidades de absorbancia a 405 nm. El título de anticuerpos para IBDV se determinó usando cien microlitros de suero de cada ave y los resultados se leyeron a 650 nm. Los títulos de anticuerpos contra APV se midieron usando un método ELISA en el que las placas se recubrieron con un antígeno APV, que se purificó por ultra centrifugación. Los sueros de prueba y los sueros de referencia positivos y negativos se diluyeron antes de la prueba. Los resultados se expresan como títulos \log^2 . La escala de los títulos de anticuerpos \log^2 se obtuvo realizando diluciones en serie de sueros de pavo positivos y negativos, contándose con grupos de sueros de referencia negativos y positivos para usar con cada muestra de prueba. Los resultados de anticuerpos se presentan como un título de anticuerpos promedio \pm desviación estándar. La absorbancia del suero de referencia fue de 0,01 a 0,05.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron bajo un diseño completamente al azar por ANOVA, excepto la mortalidad que se analizó como un diseño

cuadrado latino 5 × 5 considerando las fases alimenticias (Arranque 0-21 y 21-42 días, Crecimiento 42- 56 y 56-70 días, y Acabado 70-91 días) y cinco dosis de VC. Para el análisis estadístico de los parámetros de rendimiento productivo, se consideró cinco repeticiones (n = 5) con 20 pavos cada réplica. El análisis de los parámetros sanguíneos se realizó en 75 aves que representan 5 repeticiones de 3 aves cada una distribuidas en los 5 tratamientos experimentales. Tratamientos diferentes fueron comparados mediante la prueba de rango múltiple de Tukey. Los datos se procesaron usando el procedimiento MIXED (SAS Institute, 2002).

3. Resultados y discusión

Rendimiento productivo

El peso corporal del pavo de engorde, GMD, IDA y la relación de CA no se vieron afectados por ninguno de los niveles de suplementación de VC (Tabla 2). Tampoco se observaron diferencias estadísticas ($p > 0,05$) en cuanto a rendimiento productivo en ninguna de las fases alimenticias.

Se coincide con Bou et al. (2006) quienes no encontraron diferencias en el rendimiento productivo de pollos de engorde suplementados con 110 mg/kg de ácido ascórbico en la dieta de 7 a 30 días de edad. El peso corporal del pavo evaluado en el presente estudio es también similar al que se reporta en otras investigaciones (Jankowski et al., 2019; Jankowski et al., 2019b; Zampiga et al., 2019) sin embargo, los indicadores de conversión alimenticia en condiciones hipóxicas de nuestro trabajo están por debajo de las conversiones alimenticias que se dan en pavos en condiciones normóxicas tal como lo reporta Drazbo et al. (2019) en aves inclusive con más edad al sacrificio.

Valores hematológicos e índice heterófilos / linfocitos

En la Tabla 3 se indica el recuento de eritrocitos, leucocitos, hemoglobina, hematocrito y IHL de los pavos de engorde de trece semanas de edad. Se encontraron diferencias estadísticas $p < 0,05$ en el IHL, a favor de los pavos que fueron suplementados con VC, a partir de dosis de 1000, 1500 y 2000 mg/kg.

Tabla 2
Rendimiento productivo de pavos de engorde machos durante trece semanas de crecimiento suplementados con vitamina C en la dieta¹

Fases de crecimiento	Vitamina C (mg/kg)					SEM	p-value
	0	500	1000	1500	2000		
<i>d 0-42</i>							
PI, g	58,8	58,6	58,3	58,1	58,5	0,12	0,894
GMD, g	41,3	41,4	43,0	42,9	43,0	0,39	0,356
PF, g	1795,0	1801,3	1871,9	1868,2	1870,9	17,71	0,205
IDA, g	81,3	80,9	80,6	81,2	80,8	0,13	0,736
CA, g/kg	1968	1954	1874	1893	1879	19,72	0,107
<i>d 42-70</i>							
GMD, g	155,1	156,8	155,3	155,1	154,9	0,34	0,429
PF, g	6150,1	6204,9	6220,2	6219,1	6209	12,9	0,905
IDA, g	378,6	375,2	374,8	376,7	380,4	1,1	0,872
CA, g/kg	2441	2393	2413	2428	2455	10,79	0,364
<i>d 70-91</i>							
GMD, g	199,2	194,3	196	194,3	199,8	1,18	0,328
PF, g	10330	10292	10340	10304	10418	22,1	0,759
IDA, g	520,3	518,2	509,3	522,4	525,1	2,69	0,684
CA, g/kg	2612	2667	2599	2688	2628	16,78	0,471
<i>d 0-91</i>							
GMD, g	112,4	112,1	112,9	112,5	113,6	0,26	0,924
IDA, g	274,1	272,3	270,1	273,9	275,5	0,92	0,865
CA, g/kg	2439	2429	2392	2435	2425	8,35	0,849

¹ Medias de cinco réplicas de 20 aves cada una.

PI: peso inicial; GMD: ganancia media diaria de peso; PF: peso final; IDA: ingesta diaria de alimento; CA: conversión alimenticia (g de alimento consumido por 1 kg de peso vivo ganado).

Tabla 3

Valores hematológicos e índice heterófilos/linfocitos (IHL) en pavos de engorde machos de trece semanas de edad suplementados con vitamina C en la dieta¹

	Vitamina C (mg/kg)					SEM	p-value
	0	500	1000	1500	2000		
Eritrocitos (miles/mm ³)	3030	3102	2729	2834	3102	75,65	0,082
Leucocitos (unidades/mm ³)	7220 ^a	7026 ^a	6080 ^b	6121 ^b	6172 ^b	246,9	0,047
Hemoglobina (g/100 ml)	11,78	11,38	11,18	11,09	11,19	0,12	0,184
Hematocrito (%)	35,8	34,2	34,0	33,9	34,2	0,35	0,241
<i>Diferencial Leucocitario</i>							
Eosinófilos (%)	4,0	3,8	3,4	3,8	3,7	0,09	0,071
Heterófilos (%)	59,2 ^a	58,1 ^a	55,8 ^b	55,9 ^b	56,1 ^b	0,69	0,029
Linfocitos (%)	36,0 ^b	36,5 ^b	40,2 ^a	39,7 ^a	39,5 ^a	0,88	0,037
IHL	1,69 ^a	1,59 ^a	1,39 ^b	1,40 ^b	1,42 ^b	0,06	0,019

^{a,b} Medias con letras diferentes en cada fila son diferentes ($p < 0,05$).

¹ Los resultados son medias de cinco réplicas de 3 aves cada una.

Tabla 4

Título de anticuerpos contra virus de la enfermedad de Newcastle (NDV), bronquitis infecciosa (IBV), enfermedad infecciosa de bursa (IBDV) y pneumovirus aviar (APV) en pavos de engorde machos de trece semanas de edad suplementados con vitamina C en la dieta

Vitamina C (mg/kg)	Título de anticuerpos ¹			
	NDV ²	IBV ³	IBDV ⁴	APV ⁵
0	164,6 ^c	793,0	583,6 ^c	3,5 ^c
500	1034,2 ^b	799,2	839,1 ^b	5,6 ^b
1000	2729,0 ^a	837,4	1020,6 ^a	7,2 ^a
1500	2689,3 ^a	845,6	1003,4 ^a	7,1 ^a
2000	2591,3 ^a	802,4	1131,0 ^a	7,2 ^a
SEM	50,3	9,6	22,4	0,2
<i>P-value</i>	0,001	0,148	0,027	0,016

^{a,b,c} Medias con letras diferentes en cada columna son diferentes ($p < 0,05$)

¹ Los anticuerpos se determinaron por ELISA. La absorbancia del suero de referencia fue de 0,01 a 0,05. Los resultados son medias de cinco réplicas de 3 aves cada una.

² Las vacunas aplicadas fueron a los 7 días (cepa B1B1) y 35 días de edad (cepa La Sota)

³ Las vacunas aplicadas fueron a los 7 días y 35 días de edad (cepa Mass)

⁴ No se aplicó ninguna vacuna

⁵ Las vacunas aplicadas fueron al día 1 y 14 de edad con Poulvac TRT-Rinotraqueitis.

Los valores de eritrocitos, hematocrito y hemoglobina no son afectados por la suplementación de VC en condiciones hipóxicas naturales tal como lo demostró también [Bautista-Ortega et al. \(2014\)](#) en pollos de engorde suplementados con 500 mg/kg de VC en el agua de bebida y bajo condiciones de hipoxia hipobárica. Por otro lado, es conocido que el principal regulador del sistema inmune está compuesto por los leucocitos; el aumento o disminución de un determinado tipo de leucocito, es indicador de enfermedad o estrés ([Maxwell y Robertson, 1998](#)); así las condiciones estresantes incrementan los heterófilos y disminuyen los linfocitos, por lo que el IHL es un indicador confiable de respuesta fisiológica de inmunosupresión y estrés ([Genovese et al., 2013](#)), existiendo mayor grado de estrés cuando mayor sea el IHL con una relación significativa entre el incremento del IHL y la existencia de síndrome metabólico ([Copca-Nieto et al., 2017](#)). En nuestro estudio cuando se suplementó vitamina C con 1000 mg/kg, el IHL disminuyó de 1,69 hasta 1,39 respecto del tratamiento control (sin suplementación de VC), tal efecto puede ser atribuido a la adición de la VC debido a que los pavos fueron sometidos a condiciones estresoras potenciales como la variación de la temperatura ambiental, menor disponibilidad de oxígeno atmosférico, alta producción de amoníaco en el galpón, cambios de corral previo a la comercialización, permanentes persecuciones para ser capturados en presencia del cliente durante tres a cuatro días que duró el periodo de venta, y privación de alimento y agua. Estas condiciones guardan relación con lo encontrado por [Huff et al. \(2005\)](#) en pavos de engorde de quince semanas de edad que luego incrementaron el IHL de 1,08 a 2,35 luego de ser sometidos a stress por transporte; similares resultados se dieron en pavos machos que alcanzaron el peso de mercado, trasladados

a nuevo corral, con un recorrido de más de 30 metros y luego de 15 minutos, incrementaron su corticosterona plasmática de 11,2 a 17,9 ng mL⁻¹ ([Scanes et al., 2019](#)), lo que equivale al incremento del IHL por guardar ambos indicadores relación ([Scanes et al., 2020](#)). Del mismo modo se coincide con la tendencia de los resultados en gallinas reproductoras sometidas a condiciones estresoras de iluminación, las que incrementaron el IHL de 0,36 a 1,13 ([Campos et al., 2007](#)).

Estado inmunitario y mortalidad de los pavos

En la [Tabla 4](#) se muestran los títulos de anticuerpos ELISA determinados para NDV, IBV, IBDV y APV en pavos de engorde de trece semanas de edad. (En la [Figura 1](#) se muestra la mortalidad por efecto de la suplementación de VC). Se observan diferencias estadísticas ($p < 0,05$) a favor de las muestras séricas obtenidas de pavos suplementados con VC a partir de 1000 mg/kg, a excepción de los anticuerpos de IBV. Del mismo modo se obtuvo menor mortalidad en pavos con la indicada suplementación de VC ($p < 0,05$).

En el presente estudio desarrollado, el título de anticuerpos contra las enfermedades del pavo de engorde (NDV, IBDV y APV) mejoró con la adición de VC a partir de 1000, 1500 y 2000 mg de VC/kg de alimento; aun cuando los desafíos inmunológicos por antígenos provenientes de vacunaciones habían pasado las once semanas, como es el caso de APV, nueve semanas para NDV y IBV y nunca se administró vacuna contra IBDV, lo que implica que los desafíos sanitarios estuvieron latentes debido a la inexistencia de un programa estricto de bioseguridad, simulando lo que ocurre en numerosas pequeñas granjas avícolas del Perú ([Germany et al., 2019](#)); por lo que queda demostrado el probable efecto positivo de la suplementación de VC dietaria en la dosis de 1000

mg/kg, al mejorarse de manera permanente el título de anticuerpos, reflejado en una menor mortalidad. De este hallazgo se reafirma que el manejo de aspectos nutricionales y alimentarios son determinantes para mejorar el estado inmunitario de las aves, tal como lo han demostrado Jankowski *et al.* (2019a) al suministrar a pavos comerciales diferentes niveles y ratios de aminoácidos, mejorando los niveles plasmáticos de inmunoglobulinas; y Jankowski *et al.* (2019b) quienes determinaron el efecto antagonico y sinérgico entre fuentes y dosis de micro-minerales en la dieta del pavo de engorde.

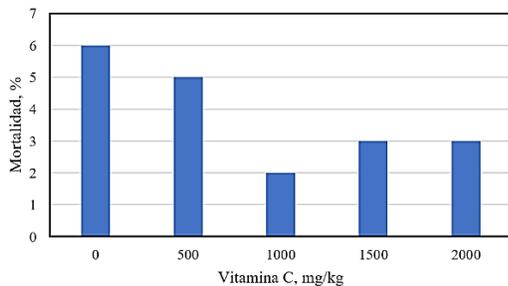


Figura 1. Mortalidad hasta las trece semanas de edad de pavos machos Hybrid Converter suplementados con diferentes dosis de vitamina C dietaria ($p < 0,05$).

Mortalidad

En la Figura 1 se muestra la mortalidad por efecto de la suplementación de VC. La mortalidad de los pavos se debió en un 74% a cardiomiopatías, ruptura aórtica y ascitis; considerando que, de los 19 pavos muertos en todo el experimento, 14 necropsias arrojaron como causas de muerte las indicadas inicialmente. Por fases alimenticias se encontró diferencias estadísticas ($p < 0,05$) entre el porcentaje de pavos muertos en las diferentes etapas, siendo de 2,5, 3,0 y 4,0% de bajas, en arranque, crecimiento y acabado, respectivamente. Se observó también la reducción de la mortalidad de los pavos en la fase de acabado cuando fueron suplementados con dosis altas de VC, siendo la mortalidad de 3, 2, 1, 1 y 1% para la suplementación con VC de 0, 500, 1000, 1500 y 2000 mg/kg de VC, respectivamente, congruente con un posible incremento de título de anticuerpos, lo cual coincide con lo encontrado por Gan *et al.* (2020), quienes suplementaron con 1000 mg/kg de VC dietario, reduciendo la mortalidad del pollo de engorde en condiciones de desafío sanitario. También se ha determinado que la VC tiene cierto efecto en la reducción de los comportamientos estereotípicos de aves de quince semanas de edad (Asensio *et al.*, 2020); aunque algunos investigadores no pudieron atribuir disminución de la mortalidad en aves por efecto de la VC (Saiz del Barrio *et al.*, 2020).

4. Conclusiones

La mejor dosis de suplementación de VC para el pavo macho Hybrid Converter criado bajo condiciones hipóxicas naturales de sierra peruana a 2750 msnm, fue la de 1000 mg/kg, reflejado en la reducción del indicador de estrés, mayor título de anticuerpos y disminución de la mortalidad. Información que puede alentar la producción de carne de pavo comercial en zonas geográficas hipóxicas; recomendándose evaluar también otros efectos benéficos de la vitamina C sobre la calidad de la carne de pavo y la reducción de la oxidación lipídica de la carne en refrigeración, que no fueron determinados en esta investigación.

ORCID

Manuel Paredes <https://orcid.org/0000-0002-4717-3393>
 Armando terrones <https://orcid.org/0000-0002-0123-0196>
 Cristian Hoban <https://orcid.org/0000-0002-4932-3164>
 Pedro Ortiz <https://orcid.org/0000-0001-8846-777X>

Referencias bibliográficas

- Asensio, X.; Abdelli, N.; Piedrafita, J.; *et al.* 2020. Effect of fibrous diet and vitamin C inclusion on uniformity, carcass traits, skeletal strength, and behavior of broiler breeder pullets. *Poultry Science* 99: 2633-2644.
- Bautista-Ortega, J.; Cortes-Cuevas, A.; Ellis, *et al.* 2014. Supplemental L-arginine and vitamins E and C preserve xanthine oxidase activity in the lung of broiler chickens grown under hypobaric hypoxia. *Poultry Science* 93: 979-988.
- Balog, J.M.; Anthony, N.B.; Cooper, M.A.; *et al.* 2000. Ascites Syndrome and Related Pathologies in Feed Restricted Broilers Raised in a Hypobaric Chamber. *Poultry Science* 79: 318-323.
- Beyzi, S.B.; Konca, Y.; Kaliber, M.; *et al.* 2020. Effects of thyme essential oil and A, C, and E vitamin combinations to diets on performance, egg quality, MDA, and 8-OHdG of laying hens under heat stress. *Journal of Applied Animal Research* 48(1): 126-132.
- Bou, R.; Grimpa, S.; Guardiola, F.; *et al.* 2006. Effects of Various Fat Sources, α -Tocopheryl Acetate, and Ascorbic Acid Supplements on Fatty Acid Composition and α -Tocopherol Content in Raw and Vacuum-Packed, Cooked Dark Chicken Meat. *Poultry Science* 85: 1472-1481.
- Boerboom, G.; van Kempen, T.; Navarro-Villa, A.; *et al.* 2018. Unraveling the cause of white striping in broilers using metabolomics. *Poultry Science* 97: 3977-3986.
- Campo, J.L.; Gil, M.G.; Dávila, S.G.; *et al.* 2007. Effect of Lighting Stress on Fluctuating Asymmetry, Heterophil-to-Lymphocyte Ratio, and Tonic Immobility Duration in Eleven Breeds of Chickens. *Poultry Science* 86: 37-45.
- Che, T.M.; Pérez, V.G.; Song, M.; *et al.* 2012. Effect of rice and other cereal grains on growth performance, pig removal, and antibiotic treatment of weaned pigs under commercial conditions. *Animal Science* 90: 4916-4924.
- Copca-Nieto, D.V.; Álvarez-López, J.A.; Santillán-Fragoso, W.J.; *et al.* 2017. Relación entre síndrome metabólico e índice neutrófilo/linfocito. *Medicina Interna de México* 33(2): 195-203.
- Daneshyar, M.; Kermanshahi, H.; Golian, A. 2009. Changes of biochemical parameters and enzyme activities in broiler chickens with cold induced ascites. *Poultry Science* 88: 106-110.

- Drazbo, A.; Kozłowski, K.; Ognik, K.; et al. 2019. The effect of raw and fermented rapeseed cake on growth performance, carcass traits, and breast meat quality in turkey. *Poultry Science* 98: 6161-6169.
- Druyan, S.; Levi, E.; Shinder, D.; et al. 2012. Reduced O₂ concentration during CAM development - Its effect on physiological parameters of broiler embryos. *Poultry Science* 91: 987-997.
- El-Senousey, H.K.; Chen, B.; Wang, J.Y.; et al. 2018. In ovo injection of ascorbic acid modulates antioxidant defense system and immune gene expression in newly hatched local Chinese yellow broiler chicks. *Poultry Science* 97: 425-429.
- FEDNA. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 2018. Necesidades nutricionales para avicultura. Disponible en: <http://www.fundacionfedna.org/node/75>
- Gan, L.; Fan, H.; Mahmood, T.; et al. 2020. Dietary supplementation with vitamin C ameliorates the adverse effects of *Salmonella* Enteritidis-challenge in broilers by shaping intestinal microbiota. *Poultry Science* (*In press*).
- Genovese, K.; Swaggerty, H.H.; Kogut, M.H. 2013. The avian heterophil. *Developmental & Comparative Immunology* 41(3): 334-340.
- Germany, L.; Rondón, J.; Durand, N.; et al. 2019. Caracterización de las medidas de bioseguridad de las granjas avícolas en la provincia de Coronel Portillo, Ucayali – Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 30(3): 1274-1282.
- Harsij, M.; Kanani, H.G.; Adine, H. 2020. Effects of antioxidant supplementation (nano-selenium, vitamin C and E) on growth performance, blood biochemistry, immune status and body composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under sub-lethal ammonia exposure. *Aquaculture* (*In press*).
- Huff, G.R.; Huff, W.E.; Balog, J.M.; et al. 2005. Stress Response Differences and Disease Susceptibility Reflected by Heterophil to Lymphocyte Ratio in Turkeys Selected for Increased Body Weight. *Poultry Science* 84: 709-717.
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). 2018. Perú: Crecimiento y distribución de la población, 2017. Primeros Resultados. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1530/libro.pdf
- Izadinia, M.; Nobakht, M.; Khajali, F.; et al. 2010. Pulmonary hypertension and ascites as affected by dietary protein source in broiler chickens reared in cool temperature at high altitudes. *Animal Feed Science and Technology* 155: 194-200.
- Jankowski, J.; Mikulski, D.; Mikulska, M.; et al. 2019a. The effect of different dietary ratios of arginine, methionine, and lysine on the performance, carcass traits, and immune status of turkeys. *Poultry Science*, *In press*.
- Jankowski, J.; Ognik, K.; Stepniowska, A.; et al. 2019b. The effect of the source and dose of manganese on the performance, digestibility and distribution of selected minerals, redox, and immune status of turkeys. *Poultry Science* 98: 1379-1389.
- Kalmar, I.D.; Vanrompay, D.; Janssens, G.P.J. 2013. Broiler ascites syndrome: Collateral damage from efficient feed to meat conversion. *The Veterinary Journal* 197: 169-174.
- Leskovec, J.; Levart, A.; Peric, L.; et al. 2019. Antioxidative effects of supplementing linseed oil-enriched diets with α -tocopherol, ascorbic acid, selenium, or their combination on carcass and meat quality in broilers. *Poultry Science* 98: 6733-6741.
- Macedo-Márquez, A. 2012. La producción de especies reactivas de oxígeno (EROs) en las mitocondrias de *Saccharomyces cerevisiae*. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 15(2): 97-103.
- Maxwell, M.H. 1993. Avian blood leucocyte responses to stress. *World's Poultry Science* 49: 34-43.
- Mc Donald, P.; Edwards, R.A.; Greenhalgh, J.F.D.; et al. 2010. *Animal Nutrition*. Seventh Edition. Pearson Editorial. London, England. 692 pp.
- Nain, S.; Wojnarowicz, C.; Laarveld, B.; et al. 2009. Vascular remodeling and its role in the pathogenesis of ascites in fast growing commercial broilers. *Research in Veterinary Science* 86: 479-484.
- Quintana, J.A. 2013. *Avitecnia: Manejo de las aves domésticas más comunes*. Cuarta edición. Editorial Trillas. México, D.F. México. 406 pp.
- SAS Institute. 2002. *SAS User's Guide*. Statistics. Version 9.2 ed. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Saiz del Barrio, A.; Mansilla, W.D.; Navarro-Villa, A.; et al. 2020. Effect of mineral and vitamin C mix on growth performance and blood corticosterone concentrations in heat-stressed broilers. *J. Appl. Poult. Res.* 29: 23-33.
- Scanes, C.G.; Hurst, K.; Thaxton, Y.; et al. 2020. Effect of transportation and shackling on plasma concentrations of corticosterone and heterophil to lymphocyte ratios in market weight male turkeys in a commercial operation. *Poultry Science* 99: 546-554.
- Scanes, C.G.; Hurst, K.; Thaxton, Y.; et al. 2019. Effects of putative stressors and adrenocorticotropic hormone on plasma concentrations of corticosterone in market-weight male turkeys. *Poultry Science* (*In press*).
- Young, J.F.; Stagsted, J.; Jensen, S.K.; et al. 2003. Ascorbic Acid, α -Tocopherol, and Oregano Supplements Reduce Stress-Induced Deterioration of Chicken Meat Quality. *Poultry Science* 82: 1343-1351.
- Zampiga, M.; Tavaniello, S.; Soglia, F.; et al. 2019. Comparison of 2 commercial turkey hybrids: productivity, occurrence of breast myopathies, and meat quality properties. *Poultry Science* 98: 2305-2315.
- Zeng, Q.F.; Yang, X.; Zheng, P.; et al. 2016. Effects of low ambient temperatures and dietary vitamin C supplementation on pulmonary vascular remodeling and hypoxic gene expression of 21-d-old broilers. *Journal of Integrative Agriculture* 15(1): 183-190.