



EFFECTO DE LOS PIGMENTOS NATURALES Y SINTÉTICOS EN EL CRECIMIENTO, PESO RELATIVO DE ALGUNOS ÓRGANOS Y CARACTERÍSTICAS CECALES DE POLLOS DE ENGORDE JÓVENES

EFFECT OF NATURAL AND SYNTHETIC PIGMENTS ON GROWTH PERFORMANCE, RELATIVE WEIGHT OF SOME ORGANS AND CECAL CHARACTERISTICS OF YOUNG BROILERS

✉ R. SÁNCHEZ DIPALMA¹, ✉ F. AMAYA GONZALEZ¹, ✉ R. RODRÍGUEZ BERTOT²,
✉ R. AROCHE GINARTE^{2,3}, ✉ Y. MARTÍNEZ⁴

¹Universidad de Zamorano, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras

²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Granma, Bayamo, Granma, Cuba

³Institute of Feed Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, China

⁴Faculty of Veterinary Medicine, University of Fondwa, Leogane, Haiti.

* Email: ceoyordan@hotmail.com

Para evaluar si la suplementación dietética con pigmentos (naturales y sintéticos) tenía un efecto promotor del crecimiento en pollos de engorde en la etapa temprana (0-10 días), se asignaron aleatoriamente 480 pollos machos Ross 308® de un día de edad a cuatro tratamientos (cuatro replicas y 30 aves). Los tratamientos experimentales consistieron en una dieta control y la suplementación con 1 % de *Bixa orellana*, 1 % de *Murraya koenigii* y 0.03 % de cantaxantina. Las dietas experimentales no afectaron ($P>0.05$) la viabilidad, sin embargo, la dieta con *Bixa orellana* incrementó ($P<0.05$) el peso vivo en comparación con los otros grupos experimentales, aunque este tratamiento no cambió ($P>0.05$) el consumo de alimento y el índice de conversión alimenticia en relación con la dieta control. Los tratamientos experimentales no modificaron el peso relativo de molleja, páncreas y corazón ($P>0.05$). Sin embargo, los grupos *Bixa orellana* y *Murraya koenigii* disminuyeron ($P<0.05$) el peso relativo del proventrículo y ciego y del hígado y la grasa abdominal, respectivamente. Además, el grupo de cantaxantina aumentó ($P<0.05$) el peso relativo de los órganos linfoides e intestino delgado ($P<0.05$). También, la dieta *Bixa orellana* disminuyó ($P<0.05$) el pH, coliformes totales, *Enterobacteriaceae* y *Escherichia coli* en el ciego en comparación con las otras dietas, y el grupo *Murraya koenigii* aumentó ($P<0.05$) la población de bacterias ácido-lácticas. Además, en este órgano (ciego), la cuantificación de levaduras disminuyó ($P<0.05$) debido a la cantaxantina y la población de hongos no cambiaron entre tratamientos ($P>0.05$). La suplementación dietética con *Bixa orellana* tiene un efecto promotor de crecimiento natural, así como un marcado efecto antimicrobiano contra las enterobacterias cecales comunes en pollos de engorde.

To evaluate whether dietary supplementation with pigments (natural and synthetic) had a growth-promoting effect in broilers at the early stage (0-10 days), 480 one-day-old Ross 308® male chickens were randomly assigned to four treatments (four replicates and 30 birds). The experimental treatment consisted of a control diet and the supplementation with 1 % of *Bixa orellana*, 1 % of *Murraya koenigii* and 0.03 % of canthaxanthin. The experimental diets did not affect ($P>0.05$) the viability, however, *Bixa orellana* diet increased ($P<0.05$) the body weight compared to the other experimental groups, although this treatment did not change ($P>0.05$) the feed intake and feed conversion ratio in relation to the control diet. The treatments did not modify the relative weight of the gizzard, pancreas, and heart ($P>0.05$). However, the *Bixa orellana* and *Murraya koenigii* groups decreased ($P<0.05$) the relative weight of the proventriculus and cecum and the liver and abdominal fat, respectively. Furthermore, the canthaxanthin group increased ($P<0.05$) the relative weight of lymphoid organs and small intestine ($P<0.05$). Moreover, *Bixa orellana* diet decreased ($P<0.05$) the pH, total coliforms, *Enterobacteriaceae* and *Escherichia coli* in the cecum compared to the other diets, and the *Murraya koenigii* group increased ($P<0.05$) the population of lactic acid bacteria. Also, in this organ (cecum), yeast quantification decreased ($P<0.05$) due to canthaxanthin and the fungal population did not change among treatments ($P>0.05$). Dietary supplementation with *Bixa orellana* has a natural growth-promoting effect, as well as a marked antimicrobial effect against common cecal *Enterobacteriaceae* of broilers.

Palabras clave: microbiología cecal, órgano, pigmento alimenticio, pollo de engorde, promotor de crecimiento

Keywords: broiler, cecal microbiology, feed pigment, growth promoter, organ

Recibido: 05 de junio de 2024

Aceptado: 30 de septiembre de 2024

Conflicto de intereses: No existe conflicto de intereses entre los autores

Declaración de contribución de autoría CRediT: R. Sánchez Di Palma: **Conceptualización, Investigación.** F. Amaya González: **Investigación.** R. Rodríguez Bertot: **Análisis de datos, Redacción documento-original.** R. Aroche Ginarte: **Análisis e interpretación de los resultados.** Y. Martínez: **Conceptualización, Investigación, Análisis de datos, Redacción documento-original**



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Introducción

En muchas regiones, la pigmentación de la piel de los pollos define su comercialización, ya que se asocia con un pollo criado en pastoreo o en libertad. Así, la industria avícola está enfocada en pigmentar los pollos de acuerdo con las características del consumidor, considerando la intensidad y el color (Barbut y Leishmann 2022). Se han utilizado muchas estrategias, como el uso dietético individual o mixto de pigmentos amarillos y rojo-anaranjados, ya sean naturales o sintéticos, que desde las primeras etapas de la vida pueden pigmentar el tarso o el pico (Xue et al. 2021). Una estrategia es la suplementación dietética con cantaxantina, que es un pigmento sintético carotenóide de la categoría de las xantofilas (Bera 2020). Este pigmento tiene un evidente efecto antioxidante *in vivo* (Elia et al. 2019). Estudios han relacionado este efecto con el desarrollo del embrión y su posterior crecimiento postnatal. El uso de este pigmento sintético tuvo resultados positivos en la incubabilidad y vitalidad del pollito nacido (Araújo et al. 2020).

La Unión Europea y otros países han limitado el uso de pigmentos sintéticos, por lo que los nutricionistas buscan pigmentos naturales para la producción animal (Pertiwi et al. 2022). Asimismo, algunos pigmentos naturales también tienen una función fitobiótica, ya que son ricos en metabolitos secundarios que, en bajas concentraciones, tienen una respuesta productiva positiva. Entre los pigmentos naturales propuestos inicialmente para gallinas ponedoras se encuentran *Bixa orellana* y *Murraya koenigii* (Franco y Gomez 2022). Experimentos previos indicaron que el uso de hasta 1.5 % de *Bixa orellana* en dietas para gallinas pigmentó intensamente el color de la yema y mejoró la altura del albumen y la unidad Haugh (Martínez et al. 2021a), así como un estudio en pollos de engorde, indicó mejoras en la eficiencia alimenticia y las porciones comestibles (Moncayo y Ramírez 2020), relacionadas con la alta concentración de bixina y norbixina en el polvo de semilla de este pigmento. Además, *Murraya koenigii* se ha utilizado diariamente en la alimentación humana como pigmento/condimento por su sabor y aroma (Tabashiri et al. 2022). Sin embargo, se han realizado pocos estudios para verificar su efecto en la pigmentación de la piel en aves de corral.

Por otro lado, el uso fitobiótico de 1 % de *Murraya koenigii* en dietas mejoró el peso corporal y la tasa de conversión alimenticia, sin afectar las porciones comestibles (Karnani et al. 2018). Otros estudios demostraron que la suplementación dietética con 1.0 % de *Murraya koenigii* redujo los lípidos nocivos del suero y la grasa abdominal, y aumentó la eficiencia alimenticia y el rendimiento de la pechuga en pollos de engorde (Sharma et al. 2021). Con respecto a los resultados anteriores, se planteó la hipótesis de si el uso de pigmentos naturales y sintéticos puede tener un efecto promotor del crecimiento, no antibiótico, en pollos de engorde jóvenes, asociado con la actividad inmune que median los órganos

linfoides y la actividad microbiana cecal, especialmente en esta etapa crítica de la vida (0-10 días) (Martínez et al. 2021b). Por lo tanto, el presente estudio se realizó para evaluar los efectos de la suplementación dietética de pigmentos naturales y sintéticos en el crecimiento, el peso relativo de algunos órganos y las características cecales de pollos de engorde jóvenes.

Materiales y Métodos

Declaración Ética: Este trabajo de investigación siguió las Guías para Animales de Experimentación (Número de Referencia: 7926) del Departamento de Ciencias y Producción Agropecuaria de la Universidad Zamorano, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

Animales, alojamiento, tratamientos y dietas: Un total de 480 pollos machos Ross 308®, desde su nacimiento hasta los 10 días de edad, se asignaron aleatoriamente a jaulas metabólicas (0.70 m de ancho x 1.0 m de largo y 14.29 aves/m²) en cuatro tratamientos (cuatro réplicas y 30 aves por réplica). Las dietas experimentales consistieron en una dieta control (CD), CD+1 % de achiote (*Bixa orellana*), CD+1 % de curry (*Murraya koenigii*) y CD+0.03% de cantaxantina. La temperatura y la iluminación se controlaron diariamente. Estudios previos (Moncayo y Ramírez 2020, Sharma et al. 2021, Bonamigo et al. 2022 y Franco y Gómez 2022) se tomaron como referencia para los niveles de inclusión de pigmentos en la dieta. Las dietas se formularon siguiendo los requerimientos de Ross 308 (tabla 1 y foto 1). Los pigmentos utilizados se adquirieron en la empresa "Alimento", Honduras. El alimento y el agua se ofrecieron *ad libitum* en comederos lineales y bebederos de tetina, respectivamente. Se midieron los pesos corporales inicial y final (PCI y PCF), así como el consumo de alimento (CA) para determinar el índice de conversión alimenticia (ICA).

Tabla 1. Ingredientes y aportes nutricionales de pollos de engorde (0-10 días)

Ingredientes (%)	Dieta control
Harina de maíz	59.16
Harina de soya	32.29
Premezcla mineral y vitamínica ¹	0.35
Cloruro de sodio	0.25
Bicarbonato de sodio	0.25
Aceite de palma africana	3.44
Colina	0.05
DL-Metionina	0.34
L-Treonina	0.16
L-Lisina	0.32
Carbonato de calcio	1.60
Fosfato monocalcico	1.54
Secuestrante de micotoxinas	0.20
Coccidiostatos	0.05

Ingredientes (%)	Dieta control
<i>Contribución nutricional calculada (%)</i>	
Energía metabolizable (MJ/kg)	12.44
Proteína cruda	22.00
Ca	0.90
P disponible	0.45
Lisina digestible	1.22
Metionina+Cistina digestible	0.91
Treonina digestible	0.83
Triptófano Digestible	0.20
Na	0.18
Cl	0.21

¹Cada kg contiene vitamina A 11 550 UI, vitamina D3 4 300 UI, vitamina E 27.5 UI, vitamina K3 3.85 mg, vitamina B1 2.75 mg, vitamina B2 9.9 mg, vitamina B6 3.85 mg, vitamina B12 22.0 mcg, niacina 49.5 mg, ácido pantoténico 15.4 mg, ácido fólico 1.38 mg, biotina 166 mcg; selenio 0.09 mg, yodo 0.18 mg, cobre 3.00 mg, hierro 36.0 mg, manganeso 54.0 mg, zinc 48.0 mg, cobalto 0.12 mg.

Peso relativo de órganos digestivos, viscerales e inmunes:

A los 10 días de edad, se seleccionaron aleatoriamente 80 pollos de engorde (20 pollos por réplica) por tratamiento para determinar los pesos relativos de los órganos. De cada pollo, se extrajeron las vísceras (hígado y corazón), los órganos inmunes (timo, bazo y bolsa de Fabricio), los órganos digestivos (proventrículo y molleja) y los intestinos (delgado y ciego). El peso relativo se determinó de acuerdo con el peso corporal de los pollos de engorde al momento del sacrificio (Aguilar *et al.* 2013).

Rasgos cecales: Se tomó el ciego izquierdo de 20 pollos de engorde por tratamiento (cinco muestras por réplica) y se determinó el pH utilizando un medidor de pH digital Oakton® modelo 700 (Oakton Instruments, Vermon Hills, IL, EE. UU.).

Antes de la prueba, el potenciómetro se calibró con tampones de pH a 1.68, 4.01, 7.00, 10.01 y 12.45 de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Además, se tomó el ciego derecho de cinco aves por tratamiento y se raspó la mucosa con un bisturí para el cultivo microbiológico. El contenido cecal de cada muestra se colocó en un tubo estéril; se registró el peso y se diluyó con agua de peptona tamponada (BPW, Liofilchem, Italia) en una proporción de 1:9 (p:v). El contenido cecal diluido se homogeneizó y se realizaron diluciones seriadas (1/10) a partir de él hasta la dilución 10⁵. Aliquotas de 0.1 mL de cada dilución se extendieron en la superficie de medios selectivos y diferenciales para el análisis microbiológico. Las placas de agar violeta rojo bilis glucosa para *Enterocateriaceae* y agar violeta rojo bilis lactosa MUG para recuentos de coliformes y *E. coli* (Liofilchem, Italia) se incubaron a 35 °C durante 24 h. Las levaduras y los hongos se determinaron con agar rosa de Bengala cloranfenicol (Liofilchem, Italia) incubado a 25 °C durante cinco días. Las bacterias del ácido láctico se enumeraron en agar Man Rogosa Sharpe (Liofilchem, Italia) suplementado con azul de metileno (0.016 g/1000 mL) a 37 °C con un pH de 5.6 durante 48 h en anaerobiosis (sistema Gas Pak, BBL, Cockeysville, EE. UU.) (Lan *et al.* 2017).

Todos los recuentos bacterianos se presentaron como Log UFC/g. La presencia de *Salmonella* en cada ciego se determinó mediante un enriquecimiento previo del ciego diluido en BPW a 35 °C durante 24 h, seguido de un enriquecimiento selectivo con caldo tetratonato (Liofilchem, Italia) y caldo Rappaport-Vassiliadis (Neogen Acumedia, Michigan) a 35 y 42 °C, respectivamente. Después del enriquecimiento selectivo, se sembró un asa de cada medio selectivo en la superficie de agar XLD, agar entérico Hektoen y agar sulfito de bismuto (Neogen Acumedia, Michigan).

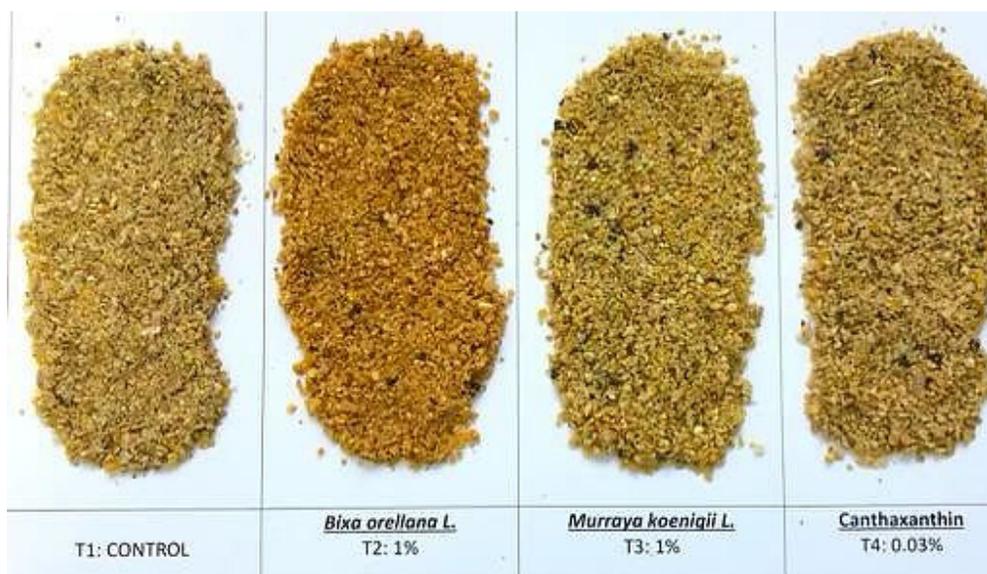


Foto 1. Alimento terminado después de la inclusión de pigmentos

Tabla 2. Efecto de la suplementación dietética de pigmentos naturales y sintéticos en el comportamiento del crecimiento de pollos de ceba jóvenes

Indicadores	Tratamientos experimentales				EEM±	Valor de P
	Control	<i>Bixa orellana</i>	<i>Murraya koenigii</i>	Cantaxantina		
PCI (g)	47.52	47.54	47.58	47.57	0.095	0.091
PCF (g)	258.48 ^b	270.00 ^a	203.16 ^c	206.08 ^c	6.314	0.001
CA (g)	198.15 ^{ab}	210.25 ^a	175.85 ^b	176.5 ^b	5.180	0.038
ICA	0.94 ^b	0.95 ^b	1.13 ^a	1.11 ^a	0.051	0.001
Viabilidad (%)	100.00	100.00	100.00	100.00		

^{abc} Las medias en la misma fila con superíndices diferentes difieren significativamente (P<0.05)

PCI: peso corporal inicial; PCF: peso corporal final; CA: consumo de alimento; ICA: índice de conversión alimenticia

Todas las placas selectivas se incubaron a 35 °C durante 24-48 h. Se seleccionaron colonias típicas y se confirmaron mediante una prueba bioquímica en agar triple azúcar hierro y agar lisina hierro (Liofilchem, Italia). La confirmación serológica se realizó con antisuero de *Salmonella* O poli A-I y antisuero Vi (BD Difco, MD) (Martínez et al. 2021b).

Análisis estadístico: Los datos se procesaron mediante la prueba ANOVA simple del programa SPSS 23.0 (SPSS Inc., IBM Corporation, New York, NY, USA) en un diseño completamente aleatorizado. Antes de realizar el análisis de varianza se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov y se utilizó la prueba de Bartlett para evaluar la uniformidad de la varianza, en los casos necesarios. Finalmente, se utilizó la prueba de rangos de Duncan para determinar las diferencias entre las medias (P<0.05).

Resultados y Discusión

Las dietas experimentales no modificaron (P>0.05) la viabilidad en los primeros 10 días de edad de los pollos de engorde (tabla 2). Sin embargo, la suplementación dietética con *Bixa orellana* incrementó (P<0.05) el peso corporal en comparación con los otros tratamientos. Además, las dietas con *Murraya koenigii* y cantaxantina disminuyeron el consumo de alimento, lo que provocó la mayor tasa de conversión alimenticia (tabla 2, P<0.05) en relación con los grupos control y *Bixa orellana*.

En este estudio, solo el polvo de semilla de *Bixa orellana* promovió el peso corporal, los demás ingredientes disminuyeron este indicador productivo (tabla 2). En este sentido, Moncayo y Ramírez (2020) reportaron que el uso de 1.5 % de achiote en la dieta mejoró la eficiencia alimenticia de pollos de engorde hasta los 28 días de edad, debido a la presencia de bixina y norbixina en el achiote, que tiene un efecto antioxidante *in vitro* e *in vivo* (Ashraf et al. 2023). Asimismo, Handayani et al. (2024) reportaron que al probar diferentes carotenoides como antioxidante, la norbixina fue la única que inhibió el deterioro oxidativo de los lípidos. También, García et al. (2012) mencionaron que la bixina y la norbixina en el achiote disminuyen la peroxidación

lipídica en la carne. En un estudio de Nathan et al. (2019) reportaron que la bixina y la norbixina, como principales componentes químicos del achiote, no presentan efectos cancerígenos y mutagénicos por métodos silico, además, los autores encontraron un marcado efecto bactericida contra enterobacterias. Al parecer, el efecto antioxidante y antimicrobiano del achiote benefició la productividad de las aves jóvenes (hasta 10 días de edad), considerando que los primeros días de edad es el momento más crítico para estos animales, que presentan baja actividad inmunológica, enzimática y antioxidante (Martínez et al. 2021b).

Tanto la cantaxantina como *Murraya koenigii* disminuyeron el consumo de alimento, lo que influyó negativamente en el peso corporal, aunque sin afectar la viabilidad de los pollos de engorde jóvenes (tabla 2). Varios estudios han demostrado el papel antioxidante de la cantaxantina en animales (Mathimaran et al. 2020). En este sentido, von Lintig et al. (2020) afirmaron que la cantaxantina ha demostrado actividad antioxidante en varios sistemas modelo *in vitro* e *in vivo*, lo que puede mejorar la actividad antioxidante endógena y reducir el estrés oxidativo celular. Bonamigo et al. (2022) demostraron que las dietas que contienen cantaxantina asociada con 25-OH-D3 mejoraron la productividad y el desarrollo óseo en pollos de engorde. Sin embargo, Araújo et al. (2020) no recomendaron el uso dietético de cantaxantina *in ovo* porque disminuyó la eficiencia alimenticia en pollos de engorde, a pesar de que este producto sintético aumentó los indicadores de eclosión y el estado oxidativo. Se necesitan más estudios para comprender el papel de la cantaxantina en la salud gastrointestinal y la capacidad antioxidante endógena en pollos de engorde jóvenes.

El efecto antioxidante de *Murraya koenigii* es conocido porque captura los radicales libres formados en el proceso de peroxidación lipídica (Bharathi et al. 2011). Das et al. (2011) comprobaron el efecto antioxidante de este producto natural al evaluar la formación de peróxidos lipídicos, ácidos grasos libres y sustancias del ácido tiobarbitúrico (TBARS) en la carne. Aunque los estudios con pollos de engorde

son escasos, [Bharathi et al. \(2011\)](#) reportaron que el uso de 0.1% de *Murraya koenigii* podría reducir la toxicidad del clorpirifos (insecticida organofosforado) en pollos de engorde. Al parecer, el uso de *Murraya koenigii* al 1.0 % tuvo un efecto opuesto en la respuesta de los animales ([tabla 2](#)), por lo que estudios futuros deben considerar niveles menores de inclusión en la dieta de pollos de engorde.

La [tabla 3](#) muestra el efecto de las dietas con pigmentos naturales y sintéticos en los cambios en el peso relativo de los órganos digestivos, viscerales e inmunes de pollos de engorde jóvenes. El grupo de cantaxantina incrementó ($P<0.05$) el peso relativo del timo y la bolsa de Fabricio en comparación con los otros tratamientos. Además, el peso relativo del bazo cambió significativamente ($P<0.05$) debido a este tratamiento (cantaxantina), lo que provocó diferencias con la dieta control y el grupo *Murraya koenigii*.

Además, el grupo *Bixa orellana* disminuyó ($P<0.05$) el peso relativo del proventrículo y ciego, aunque, este último órgano (ciego) no tuvo cambios significativos ($P>0.05$) con el grupo *Murraya koenigii*. Asimismo, este pigmento natural (*Murraya koenigii*) disminuyó ($P<0.05$) el peso relativo de la grasa abdominal y el hígado con respecto al control, tratamientos cantaxantina y *Bixa orellana*, respectivamente. El peso relativo de la molleja, páncreas y corazón no cambió debido a los tratamientos experimentales ($P>0.05$).

Por otro lado, la dieta con cantaxantina incrementó el peso relativo de los órganos linfoides primarios (bolsa de Fabricio y timo) y secundario (bazo) comparado con el control ([tabla 3](#)), aunque la eficiencia alimenticia disminuyó en pollos jóvenes. Otros estudios que desafiaron el lipopolisacárido encontraron un aumento en el índice morfométrico bursal en pollos de

engorde al utilizar luteína+cantaxantina ([Koutsos et al. 2003](#)). Por lo general, un mayor peso relativo de órganos inmunes como el timo, la bolsa de Fabricio y el bazo se relaciona con una mayor actividad inmunológica en etapas tempranas de pollos de engorde ([Guo et al. 2021](#)), debido a que los órganos linfoides primarios producen linfocitos B (bolsa de Fabricio) y T (timo) involucrados en la memoria y la defensa inmunológica, respectivamente ([Aguilar et al. 2013](#)). Sin embargo, en este experimento, parece que el peso relativo del timo, la bolsa de Fabricio y el bazo de pollos de engorde (10 días de edad) no es normal con el grupo de cantaxantina. En un estudio de [Martínez et al. \(2021b\)](#) sobre la alometría de órganos inmunes en pollos de engorde de hasta 10 días de edad, reportaron pesos medios relativos del timo, la bolsa de Fabricio y el bazo de 0.25, 0.18 y 0.11 %, respectivamente. Además, en aves aparentemente sanas, la hiperinmunidad conduce a un mayor costo energético para producir linfocitos y anticuerpos y para la actividad de macrófagos y mecanismos antiinflamatorios ([Pålsson-McDermott y O’Neill 2020](#)), esto podría justificar la disminución del CA y la ganancia de peso de los pollos con la dieta de cantaxantina ([tabla 2](#)).

Varios estudios con productos naturales ricos en metabolitos secundarios benéficos han reportado que el crecimiento anormal de los órganos linfoides y otros órganos digestivos resulta en una disminución de la respuesta productiva, con mayor énfasis en pollos de engorde jóvenes ([Aguilar et al. 2013](#) y [Moncayo y Ramírez 2020](#)). En este sentido, la cantaxantina como pigmento sintético modificó el peso relativo del intestino delgado ([tabla 3](#)), este órgano tiene una correlación estadística con los órganos inmunes en las aves ([Martínez et al. 2021b](#)). Probablemente esta dieta

Tabla 3. Efecto de la suplementación dietética de pigmentos naturales y sintéticos en el peso relativo de algunos órganos de pollos de engorde jóvenes

Indicadores (g/kg)	Tratamientos experimentales				EEM±	Valor de P
	Control	<i>Bixa orellana</i>	<i>Murraya koenigii</i>	Cantaxantina		
Proventrículo	1.04 ^a	0.90 ^b	0.97 ^a	0.98 ^a	0.035	0.048
Molleja	5.71	5.78	5.90	5.73	0.075	0.091
Páncreas	0.47	0.49	0.49	0.53	0.054	0.068
Hígado	3.03 ^b	3.22 ^{ab}	2.92 ^c	3.26 ^c	0.105	0.034
Bazo	0.06 ^b	0.10 ^{ab}	0.07 ^b	0.16 ^c	0.028	0.008
Timo	0.22 ^b	0.22 ^b	0.24 ^b	0.30 ^a	0.015	0.050
Bolsa de Fabricio	0.16 ^b	0.18 ^b	0.17 ^b	0.24 ^a	0.025	0.048
Corazón	0.67	0.60	0.60	0.62	0.037	0.059
Ciego	1.65 ^a	1.07 ^c	1.15 ^{bc}	1.44 ^b	0.156	0.034
Intestino delgado	9.83 ^b	10.10 ^{ab}	9.87 ^b	11.05 ^a	0.384	0.050
Grasa abdominal	0.36 ^c	0.33 ^{ab}	0.27 ^a	0.36 ^c	0.028	0.027

^{a,b,c} Las medias en la misma fila con superíndices diferentes difieren significativamente ($P<0.05$)

provocó procesos inflamatorios intestinales postprandiales, que aumentaron la producción de linfocitos T y B e influyeron en el peso relativo de estos órganos hematopoyéticos en pollos de engorde jóvenes (Madej et al. 2024) como ocurrió en este estudio (tabla 3). Además, el grupo *Murraya koenigii* disminuyó el peso relativo de la grasa abdominal (tabla 3). El aporte de alcaloides por la inclusión dietética de este pigmento natural podría reducir la incorporación de grasa en esta porción, similar a los resultados que reportaron Sharma et al. (2021).

Los aditivos propuestos en este estudio (mayor énfasis en *Bixa orellana*) disminuyeron el peso relativo del ciego (tabla 3), porción del intestino que es responsable de la salud intestinal, la fermentación de nutrientes y la modulación de la microbiota intestinal (Yadav y Jha 2019). Varios estudios han encontrado que algunos productos naturales tienen un efecto más evidente en el intestino delgado que en el ciego (Liu et al. 2021). Es válido señalar que los resultados del efecto de los ingredientes ricos en metabolitos secundarios en este órgano no son concluyentes, porque depende de la concentración y el tipo de metabolitos secundarios, la salud intestinal, la dieta, la edad y las condiciones experimentales. Vase-Khavari et al. (2019) informaron que el uso de 0.5 % del polvo de *Rhus coriaria*, *Heracleum persicum* y *Mentha piperita* aumentó el peso relativo del ciego. Sin embargo, Liu et al. (2021) no encontraron cambios en el peso relativo del ciego cuando utilizaron hasta 1 % de polvo de *Camellia sinensis*, aparentemente una disminución en el contenido cecal en pollos de engorde debido a que estos compuestos dietéticos en la microflora influyeron en los resultados de este estudio (tabla 3). Otros estudios encontraron que el uso de productos naturales con propiedades antimicrobianas disminuyó el contenido cecal y, a su vez, la carga de enterobacterias como *Salmonella* spp. y *Campylobacter* (Almuhayawi et al. 2023).

El efecto de los pigmentos naturales y sintéticos en las características cecales de pollos de engorde jóvenes se muestra en la tabla 4. Las dietas con los pigmentos disminuyeron el pH cecal, con mayor énfasis en el grupo con *Bixa Orellana*, lo que provocó una reducción ($P < 0.05$) de coliformes totales, *Enterobacteriaceae* y *E. coli* en relación con la dieta control y los otros grupos de pigmentos. Asimismo, no se encontró *Salmonella* spp. cecal en los pollos de engorde alimentados con los pigmentos propuestos (tabla 4). Por otra parte, el grupo *Murraya koenigii* incrementó ($P < 0.05$) la población de bacterias ácido lácticas y el grupo cantaxantina disminuyó ($P < 0.05$) la cuantificación de levaduras cecales en comparación con la dieta control. Además, las dietas experimentales no cambiaron ($P > 0.05$) la población de hongos cecales (tabla 4).

El efecto bacteriostático de los productos naturales y sintéticos utilizados en la industria avícola tiene un impacto directo en la salud intestinal y la respuesta productiva del huésped (Arena et al. 2020). La disminución del pH intestinal podría deberse a que el producto utilizado tuvo un pH ácido, al crecimiento de BAL cecales o a una disminución de la población bacteriana patógena, ya que el producto final de la fermentación bacteriana son ácidos grasos volátiles que emiten protones y reducen el pH (Scicutella et al. 2021). Así, Al-Tarazi y Alshawabkeh (2003) encontraron una disminución del pH cecal al incluir un pigmento fitobiótico en las dietas de pollos de engorde. En este sentido, Nathan et al. (2019) demostraron que *Bixa orellana* tiene un importante efecto bactericida contra bacterias oportunistas como *Salmonella* spp. y *E. coli*. Hasta donde se conoce, este es el primer estudio que demuestra el efecto bactericida de *Bixa orellana* en pollos de engorde, ya que este grupo experimental redujo notablemente los coliformes totales, *Enterobacteriaceae*, *E. coli* y *Salmonella* spp. en el ciego, aunque sin cambios en la población de bacterias ácido lácticas.

Tabla 4. Efecto de la suplementación dietética de pigmentos naturales y sintéticos en los caracteres cecales de pollos de engorde jóvenes.

Indicadores (Log UFC/g)	Tratamientos experimentales				EEM±	Valor de P
	Control	<i>Bixa orellana</i>	<i>Murraya koenigii</i>	Cantaxantina		
pH	6.79 ^a	5.99 ^c	6.17 ^b	6.22 ^b	0.159	0.034
Coliformes totales	6.14 ^c	6.00 ^d	6.63 ^a	6.36 ^b	0.333	0.050
<i>Enterobacteriaceae</i>	6.21 ^b	6.05 ^c	6.49 ^a	6.24 ^b	0.108	0.008
<i>E. coli</i>	6.14 ^c	6.04 ^d	6.45 ^a	6.33 ^b	0.127	0.043
<i>Salmonella</i> spp.	Presente	Ausente	Ausente	Ausente		
BAL totales	6.64 ^b	6.81 ^{ab}	8.56 ^c	8.43 ^{ab}	0.449	0.044
Levadura	2.84 ^a	2.49 ^{ab}	2.54 ^{ab}	2.26 ^b	0.149	0.016
Hongos	3.02	3.49	3.10	3.62	0.489	0.786

^{abc,d} Las medias en la misma fila con superíndices diferentes difieren significativamente ($P < 0.05$). BAL: bacterias ácido lácticas

Por otro lado, *Murraya koenigii* tiene una alta concentración de alcaloides carbazol (principalmente mahanimbina, murrayanol y mahanine), que en pequeñas concentraciones tienen un efecto microbiano contra *Staphylococcus epidermidis* (Handral *et al.* 2012). Curiosamente, el uso de 1 % de *Murraya koenigii* en dietas para pollos de engorde disminuyó el pH cecal debido al aumento de la población de BAL en esta porción intestinal, sin embargo, este grupo experimental exacerbó el crecimiento de coliformes totales, *Enterobacteriaceae* y *E. coli*. Al parecer, el exceso de estos metabolitos secundarios (alcaloides) provocó trastornos intestinales, confirmados por la disminución de la eficiencia productiva, sin exclusión competitiva cecal, lo que afecta el crecimiento selectivo de algunas bacterias patógenas y benéficas (tabla 4). Asimismo, no se encontraron estudios que hicieran referencia al efecto bactericida *in vitro* e *in vivo* de *Murraya koenigii* contra enterobacterias comunes como *E. coli* y *Salmonella* spp. Sin embargo, son necesarias más investigaciones para confirmar esta hipótesis.

El estudio encontró además que el pigmento sintético (cantaxantina) disminuyó el pH cecal y la población de levaduras cecales e incrementó la población de coliformes totales y *E. coli* en comparación con el grupo control (tabla 4). Por lo tanto, la mayor población de bacterias patógenas cecales podría haber influido en la disminución de la respuesta de las aves jóvenes en este tratamiento experimental (tabla 2). Además, la menor población de levaduras cecales podría provocar disbiosis microbiana, ya que la pared celular de la levadura sirve como sustancia nutritiva para las bacterias lácticas cecales (Hernández-Ramírez *et al.* 2021), que estimulan la respuesta inmune cuando se ven desafiadas por enterobacterias oportunistas (Bonato *et al.* 2020). Esta investigación demuestra que el pigmento sintético (cantaxantina) no tiene efecto antimicrobiano en las *Enterobacteriaceae* cecales comunes en pollos de engorde jóvenes.

Conclusiones

La suplementación dietética con 1 % de *Bixa orellana* como pigmento natural tuvo un efecto promotor del crecimiento y un evidente efecto antimicrobiano *in vivo* en pollos de engorde jóvenes, sin afectar el peso relativo de los órganos digestivos, viscerales e inmunes.

Referencias

Aguilar, Y., Yero, O., Liu, G., Ren, W., Bertot, R., Jiménez, F. & Nyachoti, C.M. 2013. Effect of dietary supplementation with *Anacardium occidentale* on growth performance and immune and visceral organ weights in replacement laying pullets. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 11: 1352-1357, ISSN: 1459-0263. <https://doi.org/10.1234/4.2013.4855>.

Almuhayawi, M.S., Alruhaili, M.H., Gattan, H.S., Alharbi, M.T., Naghabandi, M.K., Almehayawi, M.S. & Alagawany, M. 2023. Evaluation of antimicrobial effect of olive leaves powder and its role in improving the broiler productivity, carcass traits, blood metabolites, and caecal microbiota. *Poultry Science*, 102(11): 103054, ISSN: 1525-3171. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103054>.

Al-Tarazi, Y.H. & Alshwabkeh, K. 2003. Effect of dietary formic and propionic acids on Salmonella pullorum shedding and mortality in layer chicks after experimental infection. *Journal of Veterinary Medicine*, 50: 112-117, ISSN: 2314-6966. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0450.2003.00644.x>.

Araújo, I.C., Café, M.B., Mesquita, M.A., Caiado, B.N., Faria, A.M., Mello, H.H., Stringhini, J.H. & Leandro, N.S. 2020. Effect of a commercial product containing canthaxanthin for *in ovo* feeding to broiler embryos on hatchability, chick quality, oxidation status, and performance. *Poultry Science*, 99(11): 5598-5606, ISSN: 1525-3171. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.044>.

Arena, J.S., Merlo, C., Defagó, M.T. & Zygadlo, J.A. 2020. Insecticidal and antibacterial effects of some essential oils against the poultry pest *Alphitobius diaperinus* and its associated microorganisms. *Journal of Pesticide Science*, 93: 403-414, ISSN: 1349-0923. <https://doi.org/10.1007/s10340-019-01141-5>.

Ashraf, A., Ijaz, M.U., Muzammil, S., Nazir, M.M., Zafar, S., Zihad, S.N.K. & Nayak, A.K. 2023. The role of bixin as antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, and skin protecting natural product extracted from *Bixa orellana* L. *Fitoterapia*, 169: 105612, ISSN: 1873-6971. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2023.105612>.

Barbut, S. & Leishmanm, E.M. 2022. Quality and processability of modern poultry meat. *Animals*, 12(20): 2766, ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani12202766>.

Bera, S. 2020. Nutraceutical Aspect of canthaxanthin in animal feed technology. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(7): 3076-3084, ISSN: 2515-8260. <https://ejmcm.com/uploads/paper/749197d3a872d7e212c73e8792ac2572.pdf>.

Bharathi, P., Reddy, A.G., Reddy, A.R. & Alpharaj, M. 2011. A study of certain herbs against chlorpyrifos-induced changes in lipid and protein profile in poultry. *Toxicology International*, 18: 44-46, ISSN: 0976-5131. <https://doi.org/10.4103/0971-6580.75854>.

Bonamigo, D.V., Rosa, A.P., Paixão, S.J., Stefanello, F.S., Londero, A., Mariani, A.B. & Bittencourt, L.C. 2022. Performance, carcass yield and cuts of male broilers fed with canthaxanthin and 25-hydroxycholecalciferol in the diet. *Animal Feed Science and Technology*, 283: 115173, ISSN: 1873-2216. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115173>.

- Bonato, M., Borges, L.L., Ingberman, M., Fávoro, C., Mesa, D., Caron, L.F. & Beirão, B.C. 2020. Effects of yeast cell wall on immunity, microbiota, and intestinal integrity of Salmonella-infected broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 29: 545-558, ISSN: 1537-0437. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.03.002>.
- Das, A.K., Rajkumar, V. & Dwivedi, D.K. 2011. Antioxidant effect of curry leaf (*Murraya koenigii*) powder on quality of ground and cooked goat meat. *International Food Research Journal*, 18: 563-569, ISSN: 2231-7546. [http://www.ifrj.upm.edu.my/18%20\(02\)%202011/\(14\)%20IFRJ-2010-056.pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/18%20(02)%202011/(14)%20IFRJ-2010-056.pdf).
- Elia, A.C., Prearo, M., Dörr, A.J.M., Pacin, N., Magara, G., Brizio, P. & Abete, M.C. 2019. Effects of astaxanthin and canthaxanthin on oxidative stress biomarkers in rainbow trout. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 82(13): 760-768, ISSN: 2381-3504. <https://doi.org/10.1080/15287394.2019.1648346>.
- Franco, R.L. & Gómez, D.V. 2022. Efecto de diferentes pigmentos en la productividad y calidad del huevo de gallinas ponedoras. Tesis presentada en opción a Ingeniero Agrónomo. Universidad de Zamorano. 20 pp. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/3c53c325-02d9-458a-8baa-36959b89814f/content>.
- García, C.E.R., Bolognesi, V.J., Dias, J.D.F.G., Miguel, O.G. & Cost, C.K. 2012. Carotenoids bixin and norbixin from annatto (*Bixa orellana* L.) as antioxidants in meat products. *Ciência Rural*, 42: 1510-1518, ISSN: 1678-4596. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000800029>.
- Guo, Y., Balasubramanian, B., Zhao, Z.H. & Liu, W.C. 2021. Marine algal polysaccharides alleviate aflatoxin B1-induced bursa of Fabricius injury by regulating redox and apoptotic signaling pathway in broilers. *Poultry Science*, 100: 844-857, ISSN: 1525-3171. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.10.050>.
- Handayani, I., Septiana, A. T. & Sustriawan, B. 2024. Natural pigments and antioxidant properties of annatto extract at various pH of distilled water solvent and extraction times. *Food Research*, 8(2): 489-494, ISSN: 2550-2166. [http://dx.doi.org/10.26656/fr.2017.8\(2\).394](http://dx.doi.org/10.26656/fr.2017.8(2).394).
- Handral, H.K., Pandith, A. & Shruithi, S.D. 2012. A review on *Murraya koenigii*: multipotential medicinal plant. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 5: 5-14, ISSN: 2455-3891. <https://pharmainfo.in/jpsr/Documents/Volumes/vol11issue07/jpsr11071935.pdf>.
- Hernández-Ramírez, J.O., Merino-Guzmán, R., Téllez-Isaías, G., Vázquez-Durán, A. & Méndez-Albores, A. 2021. Mitigation of AFB1-related toxic damage to the intestinal epithelium in broiler chickens consumed a yeast cell wall fraction. *Frontiers in Veterinary Science*, 8: 677965, ISSN: 2297-1769. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.677965>.
- Karnani, M., Sharma, V., Choudhary, S., Sharma, S., Saini, S. & Pandey, A. 2018. Effect of curry (*Murraya koenigii*) leaf powder supplementation on performance of broilers chickens. *Indian Journal of Poultry Science*, 12(2): 2120-2122, ISSN: 0974-8180. <http://dx.doi.org/10.5958/0974-8180.2018.00058.2>.
- Koutsos, E.A., Calvert, C.C. & Klasing, K.C. 2003. The effect of an acute phase response on tissue carotenoid levels of growing chickens (*Gallus gallus domesticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 135(4): 635-646, ISSN: 1531-4332. [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(03\)00158-2](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(03)00158-2).
- Lan, R.X., Lee, S.I. & Kim, I.H. 2017. Effects of *Enterococcus faecium* SLB 120 on growth performance, blood parameters, relative organ weight, breast muscle meat quality, excreta microbiota shedding, and noxious gas emission in broilers. *Poultry Science*, 96: 3246-3253, ISSN: 1525-3171. <https://doi.org/10.3382/ps/pex101>.
- Liu, W., Rouzmehr, F., Wang, X. & Seidavi, A. 2021. Green tea dietary supplementation in broiler chickens: Effect on the development of chicken intestine. *Food Science & Nutrition*, 9(3): 1530-1541, ISSN: 2048-7177. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2126>.
- Madej, J.P., Graczyk, S., Bobrek, K., Bajzert, J. & Gaweł, A. 2024. Impact of early posthatch feeding on the immune system and selected hematological, biochemical, and hormonal parameters in broiler chickens. *Poultry Science*, 103(3): 103366, ISSN: 1525-3171. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103366>.
- Martínez, Y., Altamirano, E., Ortega, V., Paz, P. & Valdivié, M. 2021b. Effect of age on the immune and visceral organ weights and cecal traits in modern broilers. *Animals*, 11(3): 845-858, ISSN: 2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani11030845>.
- Martínez, Y., Orozco, C.E., Montellano, R.M., Valdivié, M. & Parrado, C.A. 2021a. Use of achiote (*Bixa orellana* L.) seed powder as pigment of the egg yolk of laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 30(2): 100154, ISSN: 1537-0437. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2021.100154>.
- Mathimaran, A., Kumar, A., Prajapati, G., Ampapathi, R.S., Bora, H.K. & Guha, R. 2020. Partially saturated canthaxanthin alleviates aging-associated oxidative stress in d-galactose administered male Wistar rats. *Biogerontology*, 22: 19-34, ISSN: 1573-6768. <https://doi.org/10.1007/s10522-020-09898-4>.
- Moncayo, T. & Ramírez, J.R. 2020. Efecto nutracéutico del achiote (*Bixa orellana*) sobre indicadores biológicos de pollos de engorde. Tesis presentada en opción a Ingeniero Agrónomo. Universidad de Zamorano. 48 pp. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6792>.
- Nathan, V.K., Rani, M.E., Rathinasamy, G. & Narayanan Dhiraviam, K. 2019. Antioxidant and antimicrobial potential of natural colouring pigment derived from *Bixa orellana* L. Seed Aril. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 89: 137-143, ISSN: 2250-1746. <https://doi.org/10.1007/s40011-017-0927-z>.

- Pålsson-McDermott, E.M. & O'Neill, L.A. 2020. Targeting immunometabolism as an anti-inflammatory strategy. *Cell Research*, 30(4): 300-314, ISSN: 1748-7838. <https://doi.org/10.1038/s41422-020-0291-z>.
- Pertiwi, H., Nur Mahendra, M.Y. & Kamaludeen, J. 2022. Astaxanthin as a potential antioxidant to improve health and production performance of broiler chicken. *Veterinary Medicine International*, 2022(1): 4919442, ISSN: 2042-0048. <https://doi.org/10.1155/2022/4919442>.
- Scicutella, F., Mannelli, F., Daghigho, M., Viti, C. & Buccioni, A. 2021. Polyphenols and organic acids as alternatives to antimicrobials in poultry rearing: a review. *Antibiotics*, 10(8): 1010, ISSN: 2079-6382. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10081010>.
- Sharma, D., Biswas, A., Deo, C. & Tyagi, P.K. 2021. Effect of dietary supplementation of curry leaves powder on growth performance, immunity, serum biochemical and carcass traits of broiler chickens. *Indian Journal of Poultry Science*, 8: 80-89, ISSN: 0974-8180. <http://dx.doi.org/10.5958/0974-8180.2021.00009.X>.
- Tabashiri, A., Qadirifard, M. S., Ghaderi, A., Rahmannia, M., Kiani, S., Sharafi, A. & Deravi, N. 2022. A decade anti-diabetic potential of murraya koenigii (curry leaf): A narrative review. *African Journal of Diabetes Medicine*, 30(3), ISSN: 2053-4787. <https://www.africanjournalofdiabetesmedicine.com/articles/a-decade-antidiabetic-potential-of-murraya-koenigii-curry-leaf-a-narrative-review.pdf>.
- Vase-Khavari, K., Mortezaei, S.H., Rasouli, B., Khusro, A., Salem, A.Z. & Seidavi, A. 2019. The effect of three tropical medicinal plants and superzist probiotic on growth performance, carcass characteristics, blood constituents, immune response, and gut microflora of broiler. *Tropical Animal Health and Production*, 51: 33-42, ISSN: 1573-7438. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1656-x>.
- von Lintig, J., Moon, J., Lee, J. & Ramkumar, S. 2020. Carotenoid metabolism at the intestinal barrier. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1865(11): 158580, ISSN: 1879-2618. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2019.158580>.
- Xue, X., Fan, L., Dong, Y., Yuan, X., Wang, L., Yang, F. & Zhao, S. 2021. Evaluation of canthaxanthin in eggs and its subsequent dietary risks to Chinese consumers. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 38(2): 255-260, ISSN: 1944-0057. <https://doi.org/10.1080/19440049.2020.1853822>.
- Yadav, S. & Jha, R. 2019. Strategies to modulate the intestinal microbiota and their effects on nutrient utilization, performance, and health of poultry. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10: 1-11, ISSN: 2049-1891. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0310-9>.