

Abanico Veterinario. Janeiro-Dezembro 2020; 10:1-17. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2020.36>
Artigo Original. Recebido: 23/03/2020. Aceito: 25/11/2020. Publicado: 15/12/2020. Chave:2020-46.

Uso de ácidos orgânicos na água potável e seu efeito no desempenho produtivo de frangos de corte

Organic acids employment in water and its effect on productive performance in broiler chickens

Arce-Menocal José¹ ID, Roa-Flores Martín¹ ID, López-Coello Carlos²ID, Ávila-González Ernesto² ID, Herrera-Camacho José¹ ID, Cortes-Cuevas Arturo^{*2} ID

¹Departamento de Avicultura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Unidad Acueducto. Avenida Acueducto esq. con Tzintzuntzan, S/N, col. Matamoros, CP. 58240, Morelia Michoacán. Unidad Posta. Carretera Morelia-Zinapácuaro, km. 9.5, Municipio Tarímbaro Michoacán. ²Departamento de Medicina y Zootecnia de Aves, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida Universidad No. 3000, Colonia UNAM, CU, Alcaldía Coyoacán, CP 04510 *Autor para correspondência: Arturo Cortes Cuevas. Avenida Universidad No. 3000, Colonia UNAM, CU, Alcaldía Coyoacán, CP 04510 Autor Responsável: José Arce Menocal. Unidad Acueducto. Avenida Acueducto esq. con Tzintzuntzan, S/N, col. Matamoros, CP. 58240, Morelia Michoacán. Unidad Posta. Carretera Morelia-Zinapácuaro, km. 9.5, Municipio Tarímbaro Michoacán. josearce_55@yahoo.com, martinroa75@hotmail.com, coelloca@unam.mx, josheca@hotmail.com, avilaernesto@yahoo.com, cortescuevasarturo@yahoo.com.

RESUMO

O uso de ácidos orgânicos (AO) na água de beber em frangos de 1 a 42 dias de idade foi avaliado no desempenho produtivo, saúde intestinal, pH, morfologia digestiva, pH sanguíneo, resistência jejunal (RJ) e pigmentação da pele (PP). Foram utilizadas 1080 galinhas distribuídas em três tratamentos com nove repetições de 40 aves: Os tratamentos foram: Uso de água potável sem acidificação (pH 8) grupo controle (T1), acidificação com mistura AO (ácido fórmico 31%, ácido propiônico 19%, formato de amônio 26% e propionato de amônio 6%) nas doses de 1,0 L/1000 L de água (T2) para obter um pH de 4 e 0,3 L/1000 L de água (T3) para um pH de 6. Os resultados mostraram ($p \leq 0,01$) maior peso corporal, menor consumo de ração e melhor eficiência alimentar para as aves T3. Não houve diferenças ($p \geq 0,05$) nos valores de pH digestivo, PP e morfologia intestinal; só mostraram efeitos ($p \leq 0,01$) na largura das vilosidades e na área digestiva. O pH sanguíneo e o RJ mostraram efeitos ($p \leq 0,01$) entre os tratamentos. Conclui-se que a acidificação na água de bebida de frangos de corte, com a mistura AO em 0,3 L/1000 L, é suficiente para um melhor desempenho produtivo.

Palavras-chave: Frango de corte, ácidos orgânicos, desempenho produtivo.

ABSTRACT

In order to evaluate the productive performance, gut health, pH, digestive morphology, blood pH, jejunum resistance (JR) and skin pigmentation (SP) on the employment of an additional mixture of organic acids (OA) into the water, in broilers from 1 to 42 days of age, 1080 chickens were used, distributed in three treatments with nine repetitions of 40 birds. The treatments used: non-acidified drinking water (pH 8) control group (T1), acidification with an OA mixture (formic acid 31%, propionic acid 19%, ammonium format 26% and ammonium propionate 6%) in a dose of 1.0 L/1000 L of water (T2) to obtain a pH of 4, and 0.3 L/1000 L of water (T3) for a pH of 6. The results showed ($p \leq 0.01$) higher body weight, lower feed intake, and better feed efficiency for the birds from T3. There were no differences ($p \geq 0.05$) on the values of digestive pH, SP, and intestinal morphology; only showed effects ($p \leq 0.01$) in the width of villi and in the digestive area. Blood pH and JR showed effects ($p \leq 0.01$) among treatments. It is concluded that the acidification of the drinking water in broiler chickens, with the OA mixture at 0.3 L/1000 L is sufficient to obtain better performance.

Keywords: Broilers, organic acids, performance.

INTRODUÇÃO

Os compostos conhecidos como ácidos orgânicos (AO), utilizados na pecuária, são ácidos carboxílicos alifáticos formados por carbono, oxigênio e hidrogênio, também chamados de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) ou ácidos graxos voláteis; cuja cadeia estrutural é composta por menos de 7 moléculas de carbono; Esses compostos são usados como uma das alternativas ao uso de antibióticos promotores de crescimento na indústria avícola (Ricke, 2003; Khan e Iqbal, 2016). Comercialmente, os AOs, como o ácido propiônico, têm sido usados há mais de 30 anos para reduzir o crescimento de bactérias e fungos em alimentos, a fim de preservar higienicamente sua qualidade; bem como prevenir e controlar infecções por *Salmonella spp* e *E. coli* K88 em aves e seus derivados (Freitag, 2007; Emami et al., 2017). Por outro lado, devido à proibição do uso de antibióticos na alimentação animal por regulamentações da comunidade europeia e dos Estados Unidos (Smith, 2011), os AOs têm se mostrado uma alternativa na modulação da microbiota entérica e na inibição de bactérias patogênicas intestinais, tais como *E coli*, *Salmonella Typhimurium* e *Campylobacter coli*; além de promover a colonização da flora benéfica, como lactobacilos (Roth et al., 2017; Roth et al., 2019; Bourassa et al., 2018; Mortada et al., 2020).

Por outro lado, alguns estudos mostram o impacto positivo nos parâmetros produtivos, integridade intestinal, resposta imune e microbiota intestinal (Emami et al., 2017; Polycarpo et al., 2017; Araujo et al., 2018; Nguyen et al., 2018; Adhikari et al., 2020; Al-Mutairi et al., 2020), benefícios que foram inicialmente atribuídos ao efeito que têm sobre o meio ambiente do trato gastrointestinal (TGI), no processo de digestão e como fonte de energia; mas principalmente como proteção do mesmo. AOs são encontrados naturalmente no TGI de pássaros; que incluem ácido láctico em maior proporção no intestino delgado; enquanto os ácidos propiônico, acético e butírico são encontrados principalmente nas bolsas cegas; isso se deve ao processo de fermentação (Meimandiopur et al., 2011; Khan e Iqbal, 2016; Rhot et al., 2017). As propriedades químicas, os efeitos de redução do pH e a eficácia da inibição microbiana de um ácido dependem de seu valor de pKa, que é o pH no qual os AOs estão 50% dissociados. O valor pKa define o poder de ação que os AOs podem ter; quanto menor o seu valor, considera-se que tem maior capacidade de acidificar (Freitag, 2007; Khan e Iqbal, 2016).

A teoria mais aceita sobre o mecanismo de ação na inibição do crescimento bacteriano por AOs considera sua lipossolubilidade em meios com pH ácido. Um pH próximo a 4,5 mantém a lipossolubilidade do composto, o que permite que eles penetrem na célula bacteriana e se dissociem em seu citoplasma, gerando um desequilíbrio metabólico que termina com a morte do microrganismo (Nakal e Siebert, 2003; Immerseel et al., 2006) O ácido propiônico combinado com ácido fórmico quando usado em alimentos, mostrou sinergia no controle de *Salmonella spp*, *Campylobacter spp* e *E. coli* (Roth et al., 2017;

[Emami et al., 2017](#); [Adhikari et al., 2020](#)); bem como benefícios zootécnicos. A inclusão de ácido fórmico em combinação com ácido propiônico via água potável ([Nhuyen et al., 2018](#); [Adhikari et al., 2020](#)), apresentou resultados favoráveis nos parâmetros em frangos de 1 a 35 dias de idade, onde incluiu 0,02, 0,03, 0,04, 0,05 e 0,06% de ácidos orgânicos.

No entanto, a informação não menciona os valores de pH. Outras investigações em frangos usaram uma mistura de ácidos orgânicos (ácido propiônico, ácido fórmico e ácido butírico), para acidificar a água a um pH de 3 a 4,5. Os resultados mostraram benefícios nos parâmetros produtivos, microbiota intestinal, resposta imune, digestibilidade de nutrientes e qualidade de carcaça ([Ghulam et al., 2013](#); [Emami et al., 2017](#); [Polycarpo et al., 2017](#); [Araujo et al., 2018](#); [Nguyen et al., 2018](#); [Adhikari et al., 2020](#); [Al-Mutairi et al., 2020](#)); entretanto, a literatura disponível sobre o uso desses AO na água de beber e que visa demonstrar seus benefícios no desempenho zootécnico e no pH intestinal é escassa. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho zootécnico de frangos de corte, à adição duma mistura de OA na água de beber durante sua vida produtiva; assim como o pH digestivo e morfologia do duodeno, pH do sangue, resistência à tração do jejuno e amarelecimento da pele.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização

O trabalho foi realizado em uma granja experimental localizada no município de Charo, estado de Michoacán, a uma altitude de 1.940 metros acima do nível do mar, com temperatura anual mínima de 16 °C e máxima de 18 °C; a precipitação máxima é de 800 mm e a mínima de 600 mm ([Municipio de Charo, 2020](#)).

Animais

Todos os procedimentos utilizados no manejo dos animais foram aprovados pela comissão de cuidado e bem-estar animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootécnica da UNAM.

Design experimental

Foram utilizados 1080 pintos de ambos os sexos (50% machos e 50% fêmeas), 1 dia de idade da linhagem Ross 308 de uma incubadora comercial (El Avión), localizada em Tepic, Nayarit., que foram mantidos até os 42 dias de idade em os meses de abril e maio. Eles foram distribuídos aleatoriamente em três tratamentos, com nove repetições de 40 aves. Os tratamentos consistiram na administração de uma mistura de OA, à água de beber, para atingir diferentes pH, desde a chegada do pintinho até o final do teste de forma contínua. Os AOs administrados foram uma mistura comercial fabricada pela Novus International (Acidomix® AFL, Querétaro, México), composta por uma combinação de 31% de ácido fórmico, 19% de ácido propiônico, 26% de formato de amônio e 6% de propionato de amônio. Previamente ao experimento, a qualidade da água da fazenda foi

analisada pela “Comissão Nacional da Água” (localizada em Morelia, Michoacán, México), para conhecer as condições físico-químicas da fonte e comprovar sua viabilidade para uso em animais domésticos (Tabela 1). O pH da água foi medido com um potenciômetro portátil Hanna HI-98127.

Tabela 1. Análise Físico-Química da Água *

Parâmetros	Unidades	Níveis admissíveis em aves	Consumo municipal	Grau de cumprimento
Temperatura	°C		25	
Potencial de hidrogênio	pH	6.5-8.5	8.0	Atende
Condutividade elétrica	µohms/cm		526	
Turbidez	UTN		1.4	
Color	Pt-Co		5	
Oxigênio dissolvido	mg/L		6.4	
Demanda bioquímica de oxigênio	mg/L		2.4	
Demanda química de oxigênio	mg/L		5	
Sólidos de sedimentação	mg/L		0	
Sólidos totais	mg/L		415	
Sólidos Suspensos Totais	mg/L		20	
Total de sólidos dissolvidos	mg/L	1000	395	Atende
Nitratos	mg/L	10	0.2	Atende
Nitrogênio amoniacal	mg/L	60-80	0.5	
Dureza total	mg/L		118.9	Atende
Dureza do cálcio	mg/L		82	
Dureza de magnesio	mg/L		36.9	
Alcalinidade total	mg/L		200	
Alcalinidade para fenolftaleína	mg/L		0	
Cloretos	mg/L	200	46.7	Atende
Sulfatos	mg/L	125	24.2	Atende
Carbonatos	mg/L		0	
Bicarbonatos	mg/L	60	200	
Cálcio	mg/L		32.8	Atende
Magnésio	mg/L	32	8.9	
Sódio	mg/L	0	66.3	Atende
Coliformes fecais	UFC/100ml		0	Atende

* Comissão Nacional de Águas

Os tratamentos são descritos, como:

- 1) Um controle sem AO ou promotor de crescimento; foi utilizada para o seu consumo a rede de água potável do município de Charo, Michoacán, que apresentava um pH de 8,0 sem adição de mistura de AO.
- 2) A água potável do tratamento controla a adição da mistura OA a uma taxa de 1,0 litro por 1000 litros de água, para estabelecer 0,128 moles e obter um pH de 4,0
- 3) Água potável do tratamento de controle mais a adição da mistura OA a uma taxa de 0,3 litros por 1000 litros de água, para estabelecer 0,0038 moles e obter um pH de 6,0

Para o cálculo da concentração molar da combinação de ácidos orgânicos utilizada (Tabela 2), identificou-se o peso molecular de cada um deles, e foram expressos em milimoles (mM) descritos por Brown, 2002. Os gramas por quilo da solução utilizada e dividido pelo peso molecular para se obter os moles por quilo da solução, que foi dividido por 1,1, que é a densidade específica da mistura de ácidos utilizada, (considere que um litro pesa mais que um quilo). Obteve-se a molaridade em gramas por litro da mistura ácida, que auxiliou no cálculo da dose utilizada para baixar o pH para 4,0 e 6,0 da água com pH 8,0. O cálculo foi feito somando-se mil litros de água do tratamento controle (pH 8,0); quantidades crescentes até pH 4,0 e 6,0 são alcançados. Foi encontrada a dose de 1,0 litro da mistura de ácidos orgânicos utilizada para pH 4,0 e 0,3 litro para pH 6,0. Para saber a quantidade de Moles utilizada, obteve-se a partir da soma total da mistura de ácidos de molaridade multiplicada pela dose utilizada dividido por 1000. Assim, obteve-se que para pH 4,0 o valor foi de 0,128 e 0,0038 Moles para pH de 6,0.

Foi utilizada uma casa de 11 m de largura x 40 m de comprimento, com cobertura em chapa galvanizada; com capacidade para 27 andares cada, equipada com cama de maravalha; dois alimentadores de tremonha com diâmetro de 45 cm na base e capacidade de 10 quilos cada; bem como um bebedouro redondo automático tipo Plasson, que era conectado a uma jarra graduada de 20 litros com capacidade; em que a quantidade descrita de OA foi adicionada para manter o pH necessário diariamente e que também serviu para avaliar o consumo de água por ave. As dietas foram formuladas de forma semelhante para cada um dos tratamentos com apresentação de farinha; Utilizou-se como base milho-soja, em três estágios (0-21; 22-35 e 36-42 dias de idade), onde foram atendidas as necessidades estabelecidas para a linhagem de frangos de corte (Ávila, 2018), com acesso livre (Tabela 3), sem adição de antibióticos como promotores de crescimento (APC).

Tabela 2. Cálculo da concentração molar da combinação de ácidos orgânicos usados para obter o pH desejado em água

Composto	Peso molecular em milimoles *	g por kg de solução	moles x kg de solução	Molaridade g x lt de solução	pH 6	pH 4
					(0.3 lt AFL*/1000 lt de água)	(1.0 lt AFL*/1000 lt de água)
Ácido propiônico	74	190	2.567	2.336		
Ácido fórmico	46	310	6.739	6.127		
Formato de amônio	63	260	4.126	3.754		
Propionato de Amônio	91	60	0.659	0.600		
Total AO		820	14.091	12.817	0.0038	0.0128

Descrito por Brown ⁽¹⁾ AFL. Produto usado

O programa sanitário foi semelhante para todos os tratamentos. No primeiro dia de idade no incubatório foi aplicada a vacina contra Marek, e na fazenda experimental foram aplicadas duas vacinas contra a doença de Newcastle, por meio da cepa La Sota (aos 8 e 25 dias de idade). Durante as primeiras quatro semanas, as aves foram criadas em galpão equipado com criadoras automáticas de infravermelho a gás e receberam um programa de luz natural. Comida e água potável estavam disponíveis gratuitamente. Aos 42 dias de idade, os dados dos registros das aves mistas (machos e fêmeas) de peso corporal (g), consumo de ração acumulado (g), eficiência alimentar (g/g), consumo de água (litros) foram resumidos e mortalidade (%). 18 machos foram selecionados aleatoriamente por tratamento (2 por repetição), para avaliar a pigmentação amarela da pele (na veia gorda) em aves vivas, com o fotocolorímetro de reflectância CR-400 (Kónica Minolta Sensing, NJ, USES); sob a escala CIELab do Comitê Internacional de Colorimetria.

Uma amostra de sangue foi obtida de cada ave da veia jugular, para avaliação do pH sanguíneo. Posteriormente, o abate das aves foi realizado de acordo com as disposições da Norma Oficial Mexicana, separando a cabeça do corpo, com um objeto pontiagudo; por meio dum único movimento firme e preciso NOM-033-ZOO-1995, Sacrificio Humanitário Oficial da NORMA Mexicana de Animais Domésticos e Selvagens (NOM, 1995). Avaliar o pH in situ do trato gastrointestinal, realizado imediatamente após o sacrifício, com potenciômetro da marca Fisher Scientific modelo AB15/15+.

Tabela 3. Análise calculada das dietas

Nutrientes	1-21 dias	22-35 dias	36-42 dias
Proteína Bruta (%)	22.00	20.1	18.5
EM. Kcal./Kg.	3025	3185	3210
Lisina (%)	1.38	1.17	1.05
Metionina (%)	0.64	0.59	0.52
Metionina+Cistina (%)	1.00	0.94	0.83
Treonina (%)	0.84	0.78	0.68
Triptófano (%)	0.27	0.25	0.23
Cálcio (%)	1.0	0.94	0.85
Fósforo disponível (%)	0.46	0.40	0.38
Sódio (%)	0.20	0.18	0.17

A avaliação da morfologia histológica do duodeno foi realizada com cortes transversais de 5 cm da alça duodenal, os quais foram fixados em formalina a 10% para processamento histológico e corados pela técnica de hematoxilina e eosina. Uma vez preparada a lâmina, o comprimento e a largura de 5 vilosidades de cada amostra foram medidos em microns (μ); além da cripta Lieberkuhn adjacente suportada pelo programa Motic Images Plus 2.0 (Routine Software Series, Motic Asia, Hong Kong). A fórmula estimada para a área no duodeno foi, comprimento x largura das vilosidades no nível médio do mesmo (μ^2), dividido por 1000. Da mesma forma, foi avaliada a resistência à ruptura por tração do jejuno, com o auxílio de um dinamômetro digital (IMADA MV 110), em seções de 10 cm antes do divertículo de Meckel. Valores expressos em quilogramas-força e transformados em pascais unitários internacionais por metro quadrado.

As médias resultantes dos parâmetros produtivos e da mortalidade, bem como das demais variáveis, foram analisadas sob o delineamento de análise de variância; Foi utilizado o modelo linear geral e quando houve diferenças significativas ($p \leq 0,05$), entre os tratamentos, a comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey (SAS Institute Inc, 2012). Os resultados expressos em porcentagem foram transformados para a proporção arco-seno, para sua análise.

RESULTADOS

Os resultados dos parâmetros zootécnicos são apresentados na Tabela 4. Foi encontrado efeito ($p \leq 0,05$) de maior peso corporal (2,7%), em T2 em relação ao controle T1. Por outro lado, o consumo alimentar diminuiu ($p \leq 0,01$) no tratamento 3, 3,1% em relação ao controle T1 e 2,7%, em relação ao T2; que melhorou significativamente ($p \leq 0,01$), nos valores de eficiência alimentar em relação ao T1 em 5,9% e em 3,8% para T2 com pH de 4. O consumo de água foi menor ($p \leq 0,01$) no grupo controle (T1), onde o AO não foi adicionado à água potável em relação às aves que consumiam água AO (T2 e T3); o que representou um aumento de 2,23 e 2,42% respectivamente. Não houve efeito ($p \geq 0,05$) na porcentagem de mortalidade entre os tratamentos avaliados.

Os valores de pH gastrointestinal não apresentaram efeitos significativos ($p \geq 0,05$), entre os tratamentos estudados nos diferentes segmentos avaliados. Conforme mostrado na tabela 5, em geral os valores são observados ao nível da média e/ou abaixo, aquelas aves que consumiram água com adição de AO (T2 e T3).

Tabela 4. Médias e erro padrão dos parâmetros zootécnicos e mortalidade em frangos de corte com AO, na água de beber aos 42 dias de idade

AO (L/1000L)	Peso corporal (kg)	Consumo de ração (kg)	Eficiência alimentar	Consumo de água (L)	Mortalidade (%)
T1.- 0	2.46±0.011 ^b	4.76±0.022 ^a	0.51±0.01 ^b	7.40±0.015 ^a	6.3±0.8 ^a
T2.- 0.3	2.53±0.007 ^a	4.62±0.016 ^b	0.54±0.0 ^a	7.57±0.029 ^b	5.4±1.5 ^a
T3.- 1.0	2.49±0.016 ^{ab}	4.75±0.019 ^a	0.52±0.0 ^b	7.58±0.028 ^b	5.8±1.8 ^a
MÉDIA	2.50 ± 0.009	4.71± 0.018	0.52 ± 0.01	7.51 ± 0.024	5.8± 0.8
Probabilidade	0.006	0.001	0.001	0.001	0.919

^{a, b}Literais diferentes entre as colunas mostram diferenças significativas ($p \leq 0,01$)

As medidas histológicas do duodeno (Tabela 6) não mostraram diferenças ($p \geq 0,05$) no comprimento das vilosidades e na profundidade das criptas de Lieberkuhn, entre os tratamentos avaliados; Na largura das vilosidades, foram observadas diferenças ($p \leq 0,01$), com os maiores valores no tratamento 3, com diferenças de 23 e 42 microns, em relação a T1 e T2; Este efeito influenciou nos resultados da área digestiva calculada, com os maiores valores ($p \leq 0,01$), a morfologia do tratamento Controle com pH 8 e 4.

Tabela 5. Valores de pH gastrointestinal em frangos de corte com o uso de AO, na água de beber aos 42 dias de idade

AO (L/1000L)	Papo	Proventriculus	Moela	Duodeno	Jejuno	Íleo	Cego
T1.- 0	5.3±0.1	3.1±0.2	3.2±0.2	5.8±0.0	6.0±0.1	7.0±0.1	6.3±0.2
T2.- 0.3	4.8±0.2	3.1±0.3	3.1±0.2	5.6±0.1	5.8±0.1	6.7±0.1	6.0±0.1
T3.- 1.0	5.0±0.3	2.9±0.3	2.6±0.3	5.7±0.0	5.7±0.2	6.8±0.2	6.0±0.1
MÉDIA	5.0 ± 0.1	3.1 ± 0.2	3.0 ± 0.1	5.7 ± 0.0	5.8 ± 0.1	6.8 ± 0.1	6.1 ± 0.1
Probabilidade	0.189	0.857	0.219	0.099	0.347	0.325	0.331

pH médio ± erro padrão

Tabela 6. Medidas histológicas do duodeno em frangos de corte com o uso de AO, na água de beber aos 42 dias de idade

Tratamentos	Comprimento (μ)	Largura (μ)	Criptas (μ)	Área (μ ²)/1000
AO (L/1000L)	Média ± erro padrão			
	1500 ± 12	121 ± 5 ^b	169 ± 8	182 ± 8.0 ^a
T1.- 0	1493 ± 36	102 ± 5 ^c	150 ± 4	153 ± 8.2 ^b
T2.- 0.3	1422 ± 41	144 ± 7 ^a	153 ± 9	203 ± 8.9 ^a
T3.- 1.0	1476 ± 18	121 ± 4	158 ± 4	177 ± 5.4
Probabilidade	0.182	0.001	0.134	0.001

* a,b,c. Literais diferentes marcam diferenças significativas (p≤ 0,01)

O pH sanguíneo foi maior (p≤ 0,02) em T1, em relação aos tratamentos 3 e 2 respectivamente, que apresentaram menor pH sanguíneo; da mesma forma, a resistência à tração do jejuno apresentou efeitos (p≤0,03), entre os tratamentos avaliados. O tratamento 1 foi o que apresentou menor resistência que os tratamentos 3 e 2 respectivamente, não apresentando efeitos (P≤0,05) entre os tratamentos avaliados nos valores de pigmentação amarela na pele, conforme observado na Tabela 7.

Tabela 7. Médias de pH sanguíneo, resistência à tração do jejuno e pigmentação amarela da pele em frangos de corte em uso de AO, aos 42 dias de idade

	Valores Sanguíneos	Resistência do Jejuno	Amarelecimento
Tratamentos	pH	Pascal/m ²	Deltas
	Média ± erro padrão		
AO (L/1000L)			
	7.29 ± 0.05 ^b	2.60 ± 0.017 ^b	19.17 ± 1.76
T1.- 0	7.06 ± 0.02 ^a	3.37 ± 0.019 ^a	18.04 ± 1.99
T2.- 0.3	7.16 ± 0.03 ^{ab}	3.30 ± 0.023 ^{ab}	19.45 ± 0.72
T3.- 1.0	7.16 ± 0.03	3.11 ± 0.014	18.84 ± 0.909
Probabilidade	0.002	0.033	0.812

a, b = literais diferentes entre as colunas mostram diferenças significativas (p ≤ 0,01)

DISCUSSÃO

Os benefícios zootécnicos obtidos com a adição de AO foram verificados com diferentes compostos, como os ácidos fumárico, fórmico, acético e propiônico, (Ghulam *et al.*, 2013; Broom, 2015; Emami *et al.*, 2017; Al-Mutairi *et al.*, 2020); bem como na mistura destes; onde a combinação de ácido fórmico com ácido acético e propionatos demonstrou ter um efeito positivo no desempenho produtivo, morfologia intestinal, resposta imune e na microbiota intestinal (Adil *et al.*, 2011; Polycarpo *et al.*, 2017; Araujo *et al.*, 2018; Nguyen *et al.*, 2018). Historicamente, esses benefícios foram inicialmente associados à modulação da microflora nativa e patogênica do trato intestinal, demonstrado pelo efeito que os AOs têm na água potável e nos alimentos, para neutralizar o efeito negativo de bactérias patogênicas, como *Salmonella spp.*, *E. coli*, *Campylobacter spp* e *Clostridium spp.*, (Immersel *et al.*, 2006; Emami *et al.*, 2017; Adhikari *et al.*, 2020; Bourassa *et al.*, 2018; Mortada *et al.*, 2020), através da colonização do trato digestivo por *Lactobacillus*. Estes são considerados resistentes ao pH ácido, tendo papel protetor no trato gastrointestinal (Jin *et al.*, 1998). Broom (2015) menciona que em meio ácido de pH 4,6 o efeito dos AOs como antibacterianos é mais eficaz, com base em avaliações realizadas *in vitro*, onde concluem que a concentração inibitória mínima para os AOs pode variar com o tipo de bactéria. E ácido usado. Outros estudos *in vitro* com culturas de *Escherichia coli*, (Dibner e Buttin, 2002), adicionam diferentes ácidos, incluindo clorídrico, fórmico, láctico e análogo de hidroximetionina (HMTBa), para acidificar o meio de cultura a pH 4 e pH 7, mostraram que o efeito antibacteriano é mais eficiente com pH 4; além de evidenciar a baixa atividade microbicida do ácido clorídrico. Ao usar um produto comercial

que incluía ácido fórmico e propiônico em concentrações de ácido fórmico 50 mM, as bactérias poderiam ser sensibilizadas por um processo osmótico (Sánchez *et al.*, 2009); Porém, pode-se deduzir que o nível de pH é mais importante como critério na dosagem de ácidos do que sua concentração molar.

Este comportamento em frangos de T3 contrasta com o papel primordial dos argumentos de modulação microbiana citados acima, que sugere como mais importante o efeito que os AOs exercem sobre o processo digestivo, uma vez que as aves não foram desafiadas a nenhum patógeno, nem apresentaram processo patológico durante o período de teste. Em primeiro lugar, no processo digestivo, a acidificação do meio permite uma maior transformação do pepsinogênio em pepsina ao nível do proventrículo e da moela (Cuca *et al.*, 2009) e a digestão das proteínas é mais eficiente; da mesma forma, melhora-se o trabalho ao nível do pâncreas com o aumento de suas secreções e, neste caso, melhor atividade de algumas enzimas exógenas, como fitases e mananases (Rafacz *et al.*, 2005).

Angel *et al.*, (2013) referem-se a um trabalho onde analisam o efeito do pH da água sobre o pH do GIT, ao comparar dois níveis (8,1 vs. 5,8), onde teve efeito no ambiente ácido de cada um dos segmentos do intestino, e como consequência o grupo com água acidificada em pH 5,8, afeta positivamente a digestão da matéria seca; bem como a aparente digestibilidade do fósforo ileal. Os autores explicam que parte da menor digestão em pH alcalino se deve à menor eficácia das fitases incluídas na dieta. Quando o pH sobe acima de 4, sua eficiência tende a diminuir devido ao seu pH operacional ideal e devido à precipitação de quelatos de fitato-cálcio. Por outro lado, a absorção de cálcio é favorecida pela acidificação do ambiente intestinal (mantendo os sais de cálcio em solução), ácidos carboxílicos, como propiônico e fórmico, reagem com carbonatos para formar sais solúveis em água e ácido carbônico (Brown, 2002), o que favorece o crescimento e a resistência do sistema ósseo (Nourmohammadi, 2013).

No presente trabalho, observou-se maior resistência à ruptura do jejuno com a acidificação em T3 em pH 6. Os benefícios de uma melhor absorção do mineral foram relatados; primeiro, cálcio para o caso de tecido ósseo e minerais como zinco, cobre e magnésio; que desempenham um papel importante na formação do tecido conjuntivo. Não esquecendo outras funções que os AOs desempenham de forma natural no metabolismo, como fonte de energia para as células do epitélio intestinal (Borojeni *et al.*, 2014; Broom 2015; Yang *et al.*, 2019), e seus efeitos benéficos sobre o sistema imunológico do trato gastrointestinal, como a ativação de linfócitos e macrófagos; bem como um maior desenvolvimento do del timo y Fabricius bursa (Ghulam *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2013; Emami *et al.*, 2017; Al-Mutairi *et al.*, 2020).

Os resultados do presente estudo no que diz respeito à histo-morfologia do intestino, não mostram uma relação clara entre as diferenças de cada tratamento no que diz respeito aos comprimentos avaliados (comprimento, largura e cripta), porém ao se analisar a área calculada de Duodeno. Uma área de superfície menor foi apreciada no grupo com melhores resultados zootécnicos (T3), a esse respeito é referido que o efeito que os AOs têm na morfologia do intestino delgado foi demonstrado por vários pesquisadores, a maioria dos que encontraram maior comprimento das vilosidades em diferentes segmentos do trato gastrointestinal, com importante correlação com peso corporal e eficiência alimentar (Nourmohammadi, 2013; Emami *et al.*, 2017; Yang *et al.*, 2019), porém, García *et al.*, 2007 relataram maior altura das vilosidades nos grupos adicionados de AO sem alterações na área calculada das vilosidades, mas com efeito significativo ($P < 0,01$) na eficiência a nutricional e digestibilidade. É importante observar que maior altura das vilosidades intestinais não é sinônimo de maior superfície de absorção (Yamauchi, 2007); as variações na largura geralmente estão relacionadas ao grau de celularidade, pois quanto maior a largura; maior infiltração de células inflamatórias localizadas principalmente na lâmina própria (Maisonier *et al.*, 2003). Assim, no presente estudo, as aves que foram tratadas com água potável acidificada com pH 6, apresentaram menor área calculada de vilosidades, o que coincide com os resultados zootécnicos do trabalho de García *et al.*, 2007; o que sugere pouca celularidade, características de estrutura funcional e ausência de processos inflamatórios. A acidificação na água de beber também afetou os níveis de pH sanguíneo entre os tratamentos avaliados ($p < 0,02$); já os valores foram menores nas aves que estavam com OA. A influência que os alimentos podem ter no pH sanguíneo já foi demonstrada, embora haja um mecanismo que promove o equilíbrio à neutralidade. No caso dos ácidos em solução, eles permitem a passagem dos íons hidrogênio pelas membranas biológicas, esse fenômeno é baseado nos mecanismos de absorção digestiva e trocas iônicas entre os compartimentos digestivo e sanguíneo (Sturkie, 2000; Meschy, 2015). Essa possibilidade de passagem de íons hidrogênio abre uma alternativa no controle dos problemas de alcalose metabólica causados pela hiperventilação de aves em estados de estresse calórico (Sturkie, 2000).

CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

A acidificação da água de beber com 0,3L/1000 L de AO (ácido fórmico 31%, ácido propiônico 19%, formato de amônio 26% e propionato de amônio 6%), teve efeito positivo no comportamento produtivo em frangos de engorda; Seu efeito benéfico reside principalmente em facilitar o processo de digestão, onde a acidificação moderada a um pH de 6 é suficiente para atingir melhor peso corporal e eficiência alimentar. A acidificação da água de beber com AO a 0,03 L/1000 L diminuiu o pH sanguíneo, abrindo uma alternativa no controle dos problemas de alcalose metabólica, que podem ser causados pela hiperventilação das aves em estados de estresse calórico.

LITERATURA CITADA

- ADHIKARI P, Yadav S, Cosby DE, Cox NA, Jendza JA, Kim WK. 2020. Research Note: Effect of organic acid mixture on growth performance and *Salmonella* Typhimurium colonization in broiler chickens. *Poultry Science*. 99(5):2645-2649. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.12.037>
- ADIL S, Banday T, Bhat GA, Salahuddin M, Raquib M, Shanaz S. 2011 Response of broiler chicken to dietary supplementation of organic acids. *Journal of Central European Agriculture*. 12(3):498-508. ISSN: 1330-7142. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/12.3.947>
- AL-MUTAIRI HMS, Hussein EOS, El Nabi AR, Swelum AA, El-Hack MEA, Taha AE, Al-Mufarrej SI. 2020. Does the Consumption of Acidified Drinking Water Affect Growth Performance and Lymphoid Organs of Broilers?. *Sustainability*. 12(8): 3093; <https://doi.org/10.3390/su12083093>
- ANGEL R, Kim SW, Li W, Jimenez-Moreno E. 2013. Velocidad de paso y pH intestinal. Madrid; Memorias del XXIX Curso de Especialización FEDNA. España.
- ARAUJO RGAC, Polycarpo GV, Barbieri A, Silva KM, Ventura G, Polycarpo VCC. 2018. Performance and economic viability of broiler chickens fed with probiotic and organic acids in an attempt to replace Growth-Promoting Antibiotics. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 21(2): 1-8. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2018-0912>
- AVILA E. 2018. "Alimentación avícola y del pollos de engorda". En Ávila GE. *Introducción a la zootecnia del pollo y la gallina*. CDMX, México: Universidad Nacional Autónoma de México. 468 p. ISBN 978-607-02-9855-4.
- BOROOJENI FG, Vahjen W, Mader A, Knorr F, Ruhnke I, Röhe I, Hafeez A, Villodre C, Männer K, Zentek J. 2014. The effects of different thermal treatments and organic acid levels on nutrient digestibility in broilers. *Poultry Science*. 93: 1440-1452. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03563>
- BOURASSA DV, Wilson KM, Ritz CR, Kiepper BK, Buhr RJ. 2018. Evaluation of the addition of organic acids in the feed and/or water for broilers and the subsequent recovery of *Salmonella* Typhimurium from litter and ceca¹. *Poultry Science*. 97(1): 64-73. <https://doi.org/10.3382/ps/pex289>
- BROOM LJ. 2015. Organic acids for improving intestinal health of poultry. *World's Poultry Science Journal*. 71(4), 630-642. <https://doi.org/10.1017/S0043933915002391>

BROWN WH.2002. *Química Orgánica*. 2ª ed. Ciudad de México, México: ed. Patria. Pp. 313-320. ISBN 9789702602088.

CUCA GM, Ávila GE, Pro MA. 2009. “ *La alimentación aviar es crítica*”. En Cuca GM. *Alimentación de las aves*. Edo. México, México: Universidad Autónoma de Chapingo. Pp.10. ISBN: 978-607-12-0038-9.

DIBNER J, Buttin P. 2002. Use of organic acid as a model to study the impact of gut microflora on nutrition and metabolism. *Applied Poultry Research*. 11:453-463. ISSN: 1056-6171. <https://doi.org/10.1093/japr/11.4.453>

EMAMI NK, Daneshmand A, Naeini ZS, Graystone EN, Broom LJ. 2017. Effects of commercial organic acid blends on male broilers challenged with *E. coli* K88: Performance, microbiology, intestinal morphology, and immune response. *Poultry Science*. 96(9); 3254-3263. <https://doi.org/10.3382/ps/pex106>

FREITAG M. 2007. Organic acids and salts promote performance and health in animal husbandry. Christian Lücktädt Editor, *Acidifiers in Animal Nutrition* 1st ed. United Kingdom. Nottingham University Press. Pp.1-7. ISBN-978-189904-3477.

GARCÍA V, Catalá-Gregory P, Hernandez F, Megías M, Madrid J. 2007. Effect of formic acid and plant extracts on growth, nutrient digestibility, intestine mucosa morphology and meat yield broilers. *Journal Applied Poultry Research*. 16(4): 555-562. ISSN: 1056-6171. <https://doi.org/10.3382/japr.2006-00116>

GHULAM A, Sohail HK, Habibub-ur R. 2013. Effects of formic acid administration in the drinking water on production performance, egg quality and immune system in the layers during hot season. *Avian Biology Research*. 6(3):227-232. ISSN: 1758-1567. <https://doi.org/10.3184/175815513X13740707043279>

IMMERSEEL V, Russell J B, Flythe MD, Gantois I, Timbermont L, Pasmans F, Ducatelle R. 2006. The use of organic acids to combat Salmonella in poultry: a mechanistic explanation of the efficacy. *Avian Pathology*. 35(3):182-188. ISSN: 0307-9457. <https://doi.org/10.1080/03079450600711045>

JIN LZ, Ho YW, Abdullah N, Jalaludin S. 1998. Acid and bile tolerance of lactobacillus isolated from chicken intestine. *Letter Applied Microbiology*. 27(3):183-185. ISSN: 3255-8254. <https://doi.org/10.1046/j.1472-765X.1998.00405.x>

KHAN HS, Iqbal J. 2016. Recent advances in the role of organic acids in poultry nutrition. *Journal of Applied Animal Research*. 44(1):359-369. <http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2015.1079527>

KIM MH, Kang SG, Park JH, Yanagisawa M, Kim CH. 2013. Short-chain fatty acids activate GPR41 and GPR43 on intestinal epithelial cells to promote inflammatory responses in mice. *Gastroenterology*. 145(2):6-406. ISSN: 0016-5085. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2013.04.056>

MAISONNIER S, Gomez J, Brée C, Baeza E, Carré B. 2003. Effects of microflora status, dietary bile salts and guar gum on lipid digestibility, intestinal bile salts and histomorphology in broiler chickens. *Poultry Science*. 82(5):805-814. ISSN: 0032-5791. <https://doi.org/10.1093/ps/82.5.805>

MEIMANDIOPUR A, Soleimanifarjam A, Azhar A, Hair-Bejo K, Shuhaimi M, Nateghi M, Yazid AM. 2011. Age Effect on short chain fatty acids concentrations and pH values in the gastrointestinal tract of broiler chicken. *Archiv Fur Geflugelkunde*. 75(3):164-168. ISSN: 0003-9098. <https://www.european-poultry-science.com/Age-effects-on-short-chain-fatty-acids-concentrations-and-pH-values-in-the-gastrointestinal-tract-of-broiler-chickens,QUIEPTQyMjAxMzcmTUIEPTTE2MTAxNA.html>

MESCHY F. Balance Electrolítico y Productividad en Animales. XIV Curso de Especialización: Avances en nutrición y Alimentación animal, FEDNA España. 95-108 p. http://www.fundacionfedna.org/publicaciones_1998

MORTADA M, Cosby DE, Shanmugasundaram R, Selvaraj RK. 2020. In vivo and in vitro assessment of commercial probiotic and organic acid feed additives in broilers challenged with *Campylobacter coli*. *Journal of Applied Poultry Research*. 29(2): 435-446. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.02.001>

Municipio de Charo. 2020. Medio físico del municipio de Charo, Michoacán. <https://www.charo.gob.mx/tu-municipio/medio-fisico>. Consultado en 2020.

NAKAI S, Siebert K. 2003. Validation of bacterial growth inhibition models based on molecular properties of organic acids. *International Journal Food Microbiology*. 86(3):1-7. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00551-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00551-2)

NGUYEN GH, Lee KY, Mohammadigheisar M, Kim IH. 2018. Evaluation of the blend of organic acids and medium-chain fatty acids in matrix coating as antibiotic growth promoter alternative on growth performance, nutrient digestibility, blood profiles, excreta microflora, and carcass quality in broilers. *Poultry Science*. 97(12): 4351-4358. <https://doi.org/10.3382/ps/pey339>

NOM-033-ZOO-1995. 1995. Sacrificio humanitario de los Animales. Domésticos y Silvestres. Diario Oficial de la Federación, Inciso 7.4.2.2. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5405210&fecha=26/08/2015

NOURMOHAMMADI R, Afzali N. 2013. Effect of citric acid and microbial phytase on small intestinal morphology. *Italian Journal Animal Science*. 12(1):44-47. ISSN: 1828-051X. <https://doi.org/10.4081/ijas.2013.e7>

POLYCARPO GV, Andretta I, Kipper M, Cruz-Polycarpo VC, Dadalt JC, Rodrigues PHM, Albuquerque R. 2017. Meta-analytic study of organic acids as an alternative performance-enhancing feed additive to antibiotics for broiler chickens. *Poultry Science*. 96(10): 3645-3653. <https://doi.org/10.3382/ps/pex178>

RAFACZ-LIVINGTON KA, Parsons CM, Jungkt RA. 2005. The effects of various organic acids on phytate phosphorus utilization in chicks. *Poultry Science*. 84(9):1356-1362. ISSN: 0032-5791. <https://doi.org/10.1093/ps/84.9.1356>

RICKE S. 2003. Perspectives on the use of organic acids and short chain fatty acids as antimicrobials. *Poultry Science*. 82:632-639. ISSN:0032-5791, <https://doi.org/10.1093/ps/82.4.632>

ROTH N, Hofacre C, Zitz U, Mathis GF, Molder K, Doupovec B, Berghouse, Doming KJ. 2019. Prevalence of antibiotic-resistant *E. coli* in broilers challenged with a multi-resistant *E. coli* strain and received ampicillin, an organic acid-based feed additive or a synbiotic preparation. *Poultry Science*. 98(6): 2598-2607. <https://doi.org/10.3382/ps/pez004>

ROTH N, Mayrhofer S, Gierus M, Weingut C, Schwarz, Doupovec B, Berrios R, Domig JK. 2017. Effect of an organic acids-based feed additive and enrofloxacin on the prevalence of antibiotic-resistant *E. coli* in cecum of broilers. *Poultry Science*. 96(11):4053-4060. <https://doi.org/10.3382/ps/pex232>

SÁNCHEZ-HERRERA I, Posadas HE, Sánchez RE, Fuente MB, Hernández EJ, Laparra VJL, Avila GE. 2009. Efecto del butirato de sodio en dietas para gallinas sobre el comportamiento productivo, calidad del huevo y vellosidades intestinales. *Veterinaria México*. 40(4):397-403. ISSN: 0301-5092.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-50922009000400006

SAS Institute. 2010. *Statistical Analyses Software*. SAS/STAT® version 9.0.2, Cary, N.C., USA: SAS Institute Inc., ISBN: 978-1-60764-599-3. http://www.sas.com/en_us/software/analytics/stat.html#

SMITH JA. 2011. Experiences with drug-free broiler production. *Poultry Science*. 90:2670-2678. ISSN:0032-5791. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01032>

WHITTOW G. 2000. *Sturkie's Avian Physiology*. 5th ed. San Diego, California: Ed. Academic Press. Pp. 298. ISBN: 9780127476056

YAMAUCHI K. 2007. Review of a histological intestinal approach to assessing the intestinal function in chickens and pigs. *Animal Science Journal*. 78(4):356-370. ISSN: 1525-3163. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2007.00448.x>

YANG X, Liu Y, Yan F, Yang C, Yang X. 2019. Effects of encapsulated organic acids and essential oils on intestinal barrier, microbial count, and bacterial metabolites in broiler chickens. *Poultry Science*. 98(7): 2858-2865. <https://doi.org/10.3382/ps/pez031>