



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES

**PROGRAMA DE MAESTRIA EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA
OMPCION TERMINAL: ÁREA PECUARIA**

**EL USO DE ÁCIDOS ORGÁNICOS Y SU EFECTO EN EL DESEMPEÑO
Y DESARROLLO DEL SISTEMA DIGESTIVO
DEL POLLO DE ENGORDA**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRIA PRODUCCION AGROPECUARIA

PRESENTA:

M.V.Z.MARTN EDUARDO ROA FLORES

Director de Tesis: Medico veterinario zootecnista, Maestro en Ciencias,
Doctor en Ciencias. José Herrera Camacho

Co-director Dr. José Arce Menocal

Comité Tutelar:

Dr. Carlos López Coello.

Dr. Ernesto Ávila González.

Dr. Sergio Clemente Hernandez

Morelia, Michoacán, México. Agosto de 2015

INDICE

RESUMEN.....	5
ABSTRACT	6
I. INTRODUCCIÓN	7
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.	9
II.1 Sistema Digestivo de las Aves	9
II.2 Morfología intestinal.	15
II.3 Microbiología del sistema digestivo	17
II.3.1 Disbiosis o Disbacteriosis.....	20
II.4 El pH en el Sistema Digestivo	20
II.4.1 Factores que pueden modificar el pH en el TGI.....	22
II.4.2 La importancia del pH para incrementar la digestión de nutrientes	24
II.5 Ácidos Orgánicos	25
II.6 Mecanismos de acción de los ácidos orgánicos	25
II.7 Ácidos orgánicos utilizados en la avicultura.....	27
II.8 Experiencias de algunos Ácidos Orgánicos en la Avicultura.....	28
II.9 Ventajas del uso de ácidos orgánicos en las aves domésticas.....	32
III.-JUSTIFICACION.....	33
IV. HIPOTESIS	33
V.OBJETIVOS.....	33
V.1 Objetivo General	33
V.2 Objetivos específicos	33
VI MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
VI.1 Parámetros zootécnicos:.....	36
VI.2 Mortalidad (%)......	37
VI.3 Medición de la Pigmentación de piel	37
VI.4 pH en Sangre.....	38
VI.5 pH Del Tracto Gastrointestinal	38
VI. 6 Morfología macroscópica del tracto gastrointestinal	38
VI.7 Morfología Histológica del duodeno y yeyuno	38
VI.8 Resistencia al rompimiento por tracción del yeyuno.....	38
VI.9 Resistencia de hueso.....	38
VI.10 Diseño Experimental	39

VII. RESULTADOS	39
VIII DISCUSIÓN	46
XI CONCLUSIONES	51
X BIBLIOGRAFIA	52
XI APENDICE	59

Índice de Cuadros y Figuras

Cuadro 1. Tiempo de retención del alimento en los diferentes segmentos del TGI de las aves adultas.....	13
Cuadro 2. Colonización microbiológica del TGI de las aves.	19
Cuadro 3. -Efecto de la edad y del segmento intestinal sobre el pH de la digesta en pollos.	22
Cuadro 4. Factores que pueden afectar el pH del TGI.	23
Cuadro 5. Ácidos orgánicos y sales más comúnmente utilizados en nutrición animal y sus propiedades químicas.....	26
Cuadro 6. Efecto inhibitorio de diferentes acidificantes y sus combinaciones.	31
Cuadro 7. Análisis Físicoquímico del Agua	35
Cuadro 8. Peso corporal (kg) en el pollo de engorda con diferentes pH en el agua de bebida. ..	39
Cuadro 9. Promedios generales del consumo de alimento acumulado (kg) en el pollo de engorda con diferentes pH en el agua de bebida.	40
Cuadro 10 Promedios generales de la conversión de alimento acumulado (kg/kg) en el pollo de engorda con diferentes pH en el agua de bebida.	41
Cuadro 11. Promedios generales del consumo de agua acumulada (litros) en el pollo de engorda con diferentes pH en el agua de bebida.	41
Cuadro 12. Mortalidad acumulada (%) en el pollo de engorda con diferentes pH en el agua de bebida.....	42
Cuadro 13 Valores del pH digestivo en el pollo de engorda con el uso de ácidos vía agua de bebida.....	42
Cuadro 14 Valoración morfométrica del TGI en el pollo de engorda con el uso de ácidos en el agua de bebida.	43
Cuadro 15 Valores del pH sanguíneo, resistencias a la tracción del Yeyuno, resistencia ósea al rompimiento y pigmentación amarilla de piel en el pollo de engorda con el uso de ácidos.....	44
Cuadro 16 Mediciones histológicas de duodeno.....	45
Cuadro 17 Mediciones histológicas de yeyuno	45
Cuadro 18 Valores del cierre de parvada por tratamiento	50
Cuadro 19 Estimación del impacto económico del uso de acidificantes en agua de bebida a diferentes pH.....	51
Cuadro 20. Retorno de Inversión por Tratamiento.....	51
Figura 1. Sistema digestivo de las aves	14
Figura 2 Correlación del largo de la vellosoidad del duodeno y yeyuno	46

RESUMEN

Los ácidos orgánicos (AO), son ácidos carboxílicos de cadena corta los cuales han sido utilizados desde hace más de 30 años en la industria pecuaria como conservadores alimentarios, sin embargo la presión por la prohibición de antibióticos promotores de crecimiento se ha promovido la adición de estos en la dieta de monogástricos, mostrando en primer lugar beneficios en el control en infecciones por *Salmonella spp*, *Campylobacter spp*, y *E. coli*, las cuales son de gran interés por sus afecciones en la salud humana, y por sus beneficios zootécnicos. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el desempeño productivo del pollo de engorda con la adición de una mezcla ácidos orgánicos y ácido clorhídrico (HCl) en el agua de bebida; así como su efecto en el pH digestivo, peso y longitud del intestino delgado, morfología entérica, pH sanguíneo, resistencia ósea, resistencia de yeyuno y pigmentación de piel. Se utilizaron 1,200 pollitos mixtos de 1 día de edad de la estirpe Ross 308, los cuales se mantuvieron en producción hasta los 42 días de edad. Los pollos fueron distribuidos aleatoriamente en cinco tratamientos: 1) Control, 2) agua acidificada con HCl a pH4, 3) agua acidificada con HCl a pH6, 4) agua acidificada con AO a pH 4 y 5) agua acidificada con AO a pH 6, con seis réplicas de 40 aves cada uno. Los resultados zootécnicos muestran beneficios en peso corporal con significancia estadística ($p < 0.01$), a favor los grupos experimentales con AO a pH 6 y ambos grupos con HCl, sin embargo en conversión alimenticia todos los tratamientos con agua acidificada fueron más eficientes en el aprovechamiento del alimento ($p < 0,01$). No se observó diferencia significativa en el pH del lumen del TGI, sin embargo se aprecia una tendencia a un pH más bajo en todos los grupos acidificados. Se observó diferencia significativa en el pH sanguíneo en todos los grupos experimentales ($p < 0.02$), mientras que en los valores de peso y longitud de intestino, dureza de hueso, resistencia de yeyuno y pigmento en piel no se aprecian diferencias estadísticas. En cuanto a la morfología entérica no se aprecia una relación de sus significancias con respecto a los valores zootécnicos, excepto en el área calculada de la vellosidad, donde los valores más bajos del área corresponden a los mejores resultados zootécnicos. La acidificación del agua de bebida tiene un efecto positivo sobre los parámetros zootécnicos en el pollo de engorda cuya base radica en facilitar el proceso digestivo. Palabras clave: aves, TGI, ácidos, agua, pH.

ABSTRACT

Organic acids (AO) are short-chain carboxylic acids which have been used for over 30 years in the livestock industry as food preservatives, however the ban on antibiotic growth promoters, has impulsed the addition of these AO in the diet of monogastrics, showing its benefits to control *Salmonella spp*, *Campylobacter spp*, and *E. coli*, which are of great interest on human health, besides their benefits on animal performance. The present study aims to evaluate the productive performance of broilers with the addition of an organic acid mixture and hydrochloric acid (HCl) dispensed via the drinking water; and its effects on performance, digestive pH, weight and length of the small intestine, enteric morphology, blood pH, bone strength and skin pigmentation. 1,200 mixed chicks, 1 day old, Ross 308 strain, which remained in production until 42 days of age were growth. The chickens were randomly distributed in five treatments: 1) control, 2) water acidified with HCl to pH 4, 3) water acidified with HCl to pH 6, 4) acidified water with AO to pH 4 and 5) water acidified with AO at pH 6, with six replicates of 40 birds each one. Performance results showed benefits in body weight with statistical significance ($p < 0.01$) for the experimental groups with AO at pH 6 and HCl of both pH, but in feed conversion all treatments with acidified water were more efficient ($p < 0.01$). No significant difference was observed in the pH on the TGI lumen, however, a tendency is seen in lower pH of all acidified groups. Significant difference was observed in the blood pH of all experimental groups ($p < 0.02$), while the values of weight and length of gut, bone strength, yeyunal resistance and skin pigment had no statistical differences. Regarding on enteric morphology only the values of the “surface calculated area” of the enteric villus had a relationship with the performance values, the lowest area value corresponded to the best performance groups. Acidification of drinking water has a positive effect on performance parameters in broilers, whose foundation is based firstly on its influence in the digestive process.

Keywords: aves, TGI, ácidos, agua, pH.

I. INTRODUCCIÓN

Los compuestos conocidos como ácidos orgánicos (AO), utilizados en la industria pecuaria, son ácidos carboxílicos alifáticos formados por carbono, oxígeno e hidrógeno, también son llamados ácidos grasos de cadena corta (AGCC) o ácidos grasos volátiles., cuya cadena estructural está compuesta por menos de 7 moléculas de carbono (Brown, 2002; Ricke, 2003). Comercialmente los AO como el ácido propiónico han sido utilizados por más de 30 años para reducir el crecimiento bacteriano y hongos en el alimento, preservando de manera higiénica la calidad del mismo (Freitag, 2007), en las legislaciones alimentarias, mencionando como ejemplo a la comunidad europea donde actualmente están registrados como conservadores (European Union Register of Feed Additives, Regulation N° 1831/2003). Por otro lado, a causa de la prohibición en el uso de antibióticos en animales por las regulaciones europeas y norteamericanas (USDA, 2003; Smith, 2011), los AO han demostrado ser una alternativa en la modulación de la microbiota entérica e inhibición de enteropatógenos, ayudando además a la colonización de flora benéfica como los lactobacilos (Dibner, J. y Buttin P, 2002). Los AO al ser incorporados como aditivos en el alimento de aves y cerdos han mostrado un impacto positivo sobre la salud animal y sobre sus parámetros productivos (Depashere, 2007; Marin-Flamand, 2013), beneficios que inicialmente han sido atribuidos al efecto que tienen sobre el ambiente del tracto gastrointestinal (TGI), en el proceso de digestión y como fuente de energía, pero principalmente como protección del mismo. Además los AO se encuentran de manera natural en TGI de las aves, entre los que se incluyen ácido láctico en mayor proporción en el intestino delgado, mientras que los ácidos propiónico, acético y butírico se localizan mayormente en los sacos ciegos, esto es debido al proceso de fermentación (Meimandiopur *et al.*, 2011)

Las propiedades químicas de algunos ácidos orgánicos, los efectos en la reducción del pH y la eficacia de la inhibición microbiana de un ácido dependen de su valor pKa, que es el pH al cual los AO están disociados al 50%. Los OA con un pKa alto se denominan ácidos débiles y los ácidos con un pKa bajo son los ácidos fuertes. La teoría más aceptada sobre el mecanismo de acción en la inhibición del crecimiento de bacterias por parte de los AO considera su liposolubilidad en medios con pH ácido, un pH

cercano a 4.5 mantiene la liposolubilidad del compuesto, mismo que les permite penetrar a la célula bacteriana y disociarse en su citoplasma generando un desbalance metabólico que concluye con la muerte del microorganismo (Nakai y Siebert, 2002; Van Immerseel, 2006). El ácido propiónico combinado con el ácido fórmico utilizado en el alimento, han demostrado sinergia en el control de *Salmonella spp*, *Campylobacter spp* y *Clostridium perfringens* (Al-Tarazi y Alshawabkeh, 2002), así como beneficios zootécnicos, un estudio realizado en el Bombay Veterinary College (Freitag, 2007), muestra que la inclusión de ácido fórmico en combinación con ácido propiónico vía agua de bebida mejoran los parámetros en el pollo de engorda; sin embargo, la información no menciona los valores de pH alcanzados en el agua ni la dosis utilizada. En otras investigaciones con aves de postura se utilizaron esta misma combinación cuyo criterio para llegar a la dosis de inclusión consistió en la acidificación del agua para alcanzar un pH de 4, los resultados arrojaron beneficios en los parámetros productivos y calidad de huevo (Morales, R., 2013; Ghulam *et al.*, 2013), por su parte, Arce *et al.*, (2014), encontraron que el efecto benéfico de los AO en el pollo de engorda se hace evidente desde la acidificación del agua a pH6, sin embargo la literatura disponible sobre el uso de estos ácidos orgánicos utilizados en el agua de bebida y dirigidos a demostrar sus beneficios sobre el desempeño zootécnico y pH intestinales son escasos; por tal motivo, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto la acidificación del agua con una mezcla de AO y con ácido Clorhídrico a dos diferentes pH y su influencia sobre la morfología entérica, pH del TGI y el comportamiento productivo del pollo de engorda.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

II.I Sistema Digestivo de las Aves

La función del sistema digestivo, es degradar los ingredientes de la dieta en compuestos que puedan ser absorbidos y usados por las aves a diferencia de los mamíferos, el tracto digestivo del ave puede considerarse relativamente corto y simple, no obstante se reconoce que es altamente eficiente para llevar a cabo los procesos de digestión y absorción de los nutrientes derivados de los alimentos (Cuca *et al.*, 2009; Lorenzoni, 2010).

a) La boca, de las aves no tiene dientes, así que no hay masticación; el pico está diseñado para recoger la comida. La lengua tiene una sección en la parte anterior en forma triangular, la cual tiene como función forzar el alimento hacia el esófago y a la vez ayuda a pasar el agua que el ave ingiere. El alimento es retenido por corto tiempo en la boca del pollo, siendo la hidrólisis en esta área muy limitada. Se encuentran presentes glándulas salivares y son generalmente tubulares, se localizan en el piso de la boca (glándulas mandibulares) y en la base de la lengua (glándulas linguales); las secreciones de estas glándulas (saliva 7-30 ml) ayudan a lubricar el bolo alimenticio antes de ser ingerido (Sturkie, 2000; Lorenzoni, 2010).

b) El esófago, está situado a lo largo del lado inferior del cuello, sobre la tráquea pero se dirige ya hacia el lado derecho en el tercio superior de este; es un conducto tubular que va desde la boca al buche y de ahí al proventrículo, además que tiene la propiedad de extenderse; posee glándulas mucosas las cuales son abundantes y ayudan a la lubricación para el paso del alimento (Sturkie, 2000)

c) El buche, es un ensanchamiento estructural diversificado según las especies cumplen distintas funciones: almacenamiento de alimento para su humectación y regulación de la repleción gástrica. La reacción del contenido del buche es siempre ácida y en el cual el alimento permanece aproximadamente 41 minutos en aves adultas, que corresponde al 15 % del total de retención del sistema digestivo (Sturkie, 2000). La actividad motora del buche está controlado por el sistema nervioso autónomo y presenta dos tipos de movimientos: contracciones del hambre con carácter peristáltico

y vaciamiento del buche gobernado reflejamente por impulsos provenientes del estómago (Uni 2006).

El estómago en las aves domésticas consta de dos porciones o cavidades, claramente distinguibles exteriormente, que son el estómago glandular y el estómago muscular.

d) El estómago glandular también denominado **proventrículo**, es un órgano fusiforme, situado a la izquierda del plano medio, en posición craneal con respecto al estómago muscular. Se estrecha ligeramente antes de su desembocadura en el estómago muscular. Constituye en gran manera un conducto de tránsito para los alimentos que proceden del buche y que se dirigen hacia la molleja. Está recubierto externamente por el peritoneo. Le sigue la túnica muscular, compuesta de una capa externa, muy fina, de fibras longitudinales y de otra interna, de fibras circulares. La mucosa del estómago glandular contiene glándulas bien desarrolladas, visibles macroscópicamente, que segregan ácido clorhídrico (HCl) y pepsinógeno. La formación del pepsinógeno y del HCl dependen de la influencia del sistema nervioso parasimpático (Lorenzoni 2010). Entre el proventrículo y la molleja, el alimento permanece aproximadamente 30 minutos en aves adultas que corresponde al 12 % del total de retención del sistema digestivo (Sturkie, 2000), y es en el proventrículo en donde se inicia la digestión proteica del alimento, al igual que en los mamíferos, su éxito viene determinado por el pH del medio (2.5-3.5).

e) El estómago muscular (molleja), se adhiere a la porción caudal del proventrículo y está cubierto en su extremo anterior de los dos lóbulos hepáticos. Es desproporcionadamente grande y ocupa la mayor parte de la mitad izquierda de la cavidad abdominal. Su forma es redondeada y presenta sus lados aplanados. En esta parte no se segrega jugo digestivo. En la mayoría de las aves, la molleja está compuesta por dos pares de músculos opuestos, llamados músculos delgados y músculos gruesos. Los cuatro están formados de un músculo liso circular proveniente de la aponeurosis central. Estos músculos actúan como órgano de masticación de los pollos y con sus repetidas contracciones, ejercen presión sobre los alimentos, quebrándolos en pequeñas partículas y mezclándolos con los jugos del proventrículo. Una molleja con músculos bien desarrollados puede ejercer una presión de aproximadamente 35 kg/cm². Aquí es donde las partículas grandes del material

alimenticio pasan por una trituración mecánica. En la molleja se encuentra la enzima pepsina procedente del proventrículo (Sturkie, 2000; Zvi, 1973). El alimento contenido en la molleja tiene aproximadamente un 50% de agua.

f) El intestino delgado, se extiende desde la molleja al origen de los ciegos y es relativamente más corto que el de los mamíferos, está dividido en tres secciones, **duodeno, yeyuno e íleon**, sin embargo aunque las diferencias entre las tres secciones no son claramente perceptibles macroscópicamente e incluso histológicamente se han determinado la porción distal del asa duodenal descendente y el divertículo de Meckel como límites intermedios de cada sección (Bacha y Wood, 1991).

El intestino delgado es el sitio principal de la digestión química, ya que involucra enzimas de origen pancreático e intestinal (Cuca *et al.*, 2009). También secreta hormonas que están involucradas principalmente en la regulación de las acciones gástricas e intestinales; realiza tres funciones:

1. Recibe la bilis y el jugo pancreático que contiene enzimas, que junto con las del intestino completan la digestión final de las proteínas y convierte los carbohidratos en compuestos más sencillos, como monosacáridos en el duodeno, así como también los lípidos. Las enzimas del intestino son: amilasa, aminopeptidasas, dipeptidasas, sacarasa, maltasa e isomaltasa.
2. Absorber el alimento digerido y pasarlo al torrente circulatorio.
3. Realizar una función peristáltica del material no digerido a los ciegos y al recto.

El **duodeno**, es la primera sección e inicia en la conjunción con la molleja abarcando la superficie del páncreas formando un asa ascendente y otra descendente. En la porción distal del **duodeno** es donde desembocan los conductos pancreáticos y hepáticos (Lorenzoni 2010). El proceso de absorción es muy importante y eficiente en el **duodeno**, considerando que dentro de los segmentos del intestino delgado, la mayor absorción de glucosa y vitaminas se realiza en esta sección (Sturkie, 2000).

En esta región el alimento tiene un tiempo de retención en el proceso de digestión de 5-8 minutos, que corresponde al 4% del tiempo total en un ave adulta.

El área intermedia del intestino delgado es el **yeyuno**, comienza al terminar la porción descendente del páncreas la cual se le da como fin anatómico el divertículo de Meckel.

En esta sección las vellosidades son más cortas con respecto al duodeno sin embargo es el lugar donde se ha demostrado la mayor actividad enzimática así como la mayor absorción de calcio. El alimento tiene un tiempo de retención en el proceso de digestión de 71 minutos, que corresponde al 26% del tiempo total de una ave adulta (Sturkie, 2000).

El **íleon** es la porción distal del intestino delgado, esta sección tiene propiedades absorbivas, aunque no con la eficiencia de los segmentos anteriores se han demostrado la digestibilidad y absorción de almidón y algunas grasas (Svihus 2014). El tiempo de retención del bolo es de alrededor de 90 minutos, que corresponde al 33% del tiempo total de retención.

g) El intestino grueso, inicia en la unión ileocecal, lugar donde se unen los dos sacos ciegos y se continúa hasta el ano. Está constituido por **los sacos ciegos, el recto, y cloaca**, es conocida por su gran actividad en la homeostasis energética y osmoregulación, así mismo controla la retro-perístasis, mezclado y acciones de transporte del bolo alimenticio, con el fin de regular la conservación de algunos nutrientes, iones y agua (Lavery *et al.*, 2006), los restos de alimento que llegan a esta parte anatómica del ave, permanecen aproximadamente 26 minutos en aves adultas que corresponde al 10 % del total de retención del sistema digestivo (Sturkie, 2000). **Los ciegos**, se encuentran constituidos por dos bolsas ciegas de pared delgada que alojan en su interior la mayor cantidad de microflora anaeróbica del tracto digestivo, por lo cual funciona como la principal cámara u órgano de fermentación del ave ya que se encargan de continuar la desintegración de los principios nutritivos y la absorción de agua.

Las aves carecen de vejiga urinaria y la orina proveniente de la uretra, pasa directamente a la **cloaca**, donde es movida por movimientos retro-peristálticos al recto y sacos ciegos para mezclarse con el quimo que proviene del intestino delgado. **El recto**, llamado por algunos autores “colon”, es corto y derecho, se expande para formar la cloaca, su función es la de acumular las heces y un importante papel en la reabsorción de agua (Sturkie, 2000). La **cloaca**, a su vez, funciona como receptáculo común de los productos finales del sistema urinario, fecal y el reproductivo del ave a

través de las estructuras o aperturas: urodeo, coprodeo y proctodeo respectivamente (Cuca *et al.*, 2009).

En el Cuadro 1, se muestra la velocidad de tránsito del alimento en las diferentes porciones del tracto gastrointestinal (TGI) y en la Figura 1 las diferentes secciones del mismo a partir del proventrículo en una fotografía.

Cuadro 1. Tiempo de retención del alimento en los diferentes segmentos del TGI de las aves adultas.

Porción del tracto GI	Tiempo de retención (minutos)	Porcentaje de tiempos (%)
Pico		
Buche	41	15
Proventrículo y molleja	33	12
Duodeno	5-8	4
Yeyuno	71	26
Íleon	90	33
Ciego, colon y recto	26	10
TOTAL	269 (4.48 Horas)	100%

Adaptado de Sturkie's Avian Physiology, 2000.

Órganos Accesorios

k) El hígado, representa del 2 al 5% del peso corporal y en lóbulo derecho posee vesícula biliar. De cada lóbulo hepático sale un conducto biliar propio, el del lóbulo izquierdo desemboca directamente en el duodeno, el del derecho desemboca en la vesícula biliar, esta contiene los conductos biliares, los cuales llevan el contenido de la vesícula biliar al duodeno en límites entre el duodeno y el yeyuno (Avila 2001). En el proceso de digestión, la acción principal de la bilis es ayudar a la digestión y absorción de las grasas (Cuca *et al.*, 2009). La bilis está compuesta por ácidos y sales que al estar en contacto con las grasas dentro del intestino, las emulsifican de manera que estas al entrar en contacto con las lipasas pancreáticas tienen una digestión más eficiente. Estas sales y ácidos una vez que ejercen su acción en el intestino pueden ser reabsorbidos hasta en un 90% y volver a la vesícula para ser reutilizados. Otros

compuestos que forman parte de la bilis son la biliverdina la cual le da el color verde a las heces, y la bilirrubina (Sturkie, 2000).

El hígado además de su fase exocrina, tiene funciones importantes como romper la hemoglobina y convertirla a pigmentos biliares, recibe la mayoría de las sustancias absorbidas por el intestino vía venas portales para su proceso, transformar la glucosa de la sangre a glucógeno y exceso de carbohidratos a grasa y almacenar vitaminas entre otras.

I) El páncreas, es una glándula localizada en el borde interno del duodeno, con una función exocrina importante en la digestión química. Su secreción entra directamente al intestino en la porción distal del duodeno. La secreción pancreática es controlada por mecanismos nerviosos y por hormonas entre las que se encuentran la secretina y el péptido vaso-dilatador (VIP), la proporción de la secreción del páncreas es proporcionalmente mayor en las aves que en los mamíferos. Sus secreciones tienen un pH de 6.4-7.8 en pollos. Estas secreciones tienen una fase acuosa, la cual contiene agua y iones de bicarbonato y una fase enzimática (Sturkie, 2000). La fase acuosa tiene por función contrarrestar el pH ácido del bolo y establecer un medio adecuado para la activación y función de las enzimas, que en el caso de las enzimas pancreáticas su mayor actividad se ha identificado a un pH cercano a 6 (Svihus, 2014). Se ha identificado un efecto reflejo del páncreas donde al aplicar ácido clorhídrico en la porción proximal del duodeno, libera las secreciones hacia el intestino (Dibner y Buttin, 2002). Las enzimas producidas por el páncreas son la tripsina, quimiotripsina, inhibidor de la tripsina, amilasa, procarbopeptidasa, lipasa, las cuales dentro del páncreas se encuentran en su forma de zimógeno. Todas las enzimas proteolíticas son inactivas hasta que entran al lumen intestinal (Cuca *et al.*, 2009).

Figura 1. Sistema digestivo de las aves



II.2 Morfología intestinal.

La unidad estructural y funcional en el proceso de absorción de nutrientes son las vellosidades intestinales, las cuales son proyecciones de la mucosa, de forma elongada, que le permiten al intestino multiplicar la superficie de absorción. Estas vellosidades están recubiertas por un epitelio cilíndrico, el cual también expresa microproyecciones de sus membranas creando una importante área de contacto enfocada a optimizar los procesos de secreción enzimática y de adsorción de nutrientes (Banks, 1986; Dibner y Richards, 2005). En condiciones de salud, el epitelio de la mucosa digestiva es impermeable al paso de macromoléculas o micro-organismos, gracias a la interacción de diversos sistemas que incluyen el cierre de las uniones intercelulares de los enterocitos, la calidad y cantidad de la capa de mucina y la presencia de leucocitos mononucleares tanto intra-epiteliales como en la lámina propia (Anand *et al.*, 2008). Otro rasgo importante la capa mucosa del intestino es el reemplazo activo que tienen sus células, cuya dinámica inicia con un proceso de mitosis a nivel de las criptas de Lieberkun, generando un desplazamiento de las células hacia el ápice de la vellosidad, el cual termina con una exfoliación, proceso que en las aves tiene un ciclo de aproximadamente de 3 a 4 días. (Yamauchi, 2007; Collet, 2009). El paso ácido del estómago al intestino puede generar un daño en las células epiteliales del duodeno, mismo que es reparado en cuestión de horas con la ayuda de la secreción alcalina del páncreas, este favorece la restitución de las células afectadas por el HCl (Starlinger, 1990). El criterio para evaluación de la morfología del intestino ha sido evidenciada por diferentes investigadores con valoraciones que incluyen la altura de las vellosidades, ancho de las vellosidades, profundidad de las criptas de Lieberkuhn como las comunes, demostrando que esta puede ser alterada por factores relacionados a la estirpe de las aves, presentación del alimento, ingredientes de la ración, nivel de proteína, así como factores relacionados al equilibrio de la microflora intestinal o bien por factores infecciosos (Dibner *et al.*, 1996). Enfermedades como el “Síndrome de Mala Absorción” de las aves cuya etiología está relacionada a varios virus con tropismo sobre las células de las criptas, tienen un efecto sobre el reemplazo de las células afectando primariamente la altura de las vellosidades (Sellers, 2013). Una mayor altura de las vellosidades se ha relacionado con mayor superficie de absorción, sin embargo, este

incremento en altura a nivel del íleon se puede generar como una consecuencia de un yeyuno disfuncional, el crecimiento de las vellosidades tanto del yeyuno como del íleon, pueden ser incrementos compensatorios de una afectación del segmento entérico que les precede (Collet, 2009). Maisonnier *et al.*, (2003), observaron una menor longitud de las vellosidades en aves criadas en un ambiente estéril que aquellas recibidas y mantenidas de manera convencional, por su parte, Larissa *et al.*, (2013), con un experimento donde utiliza un alcaloide antiinflamatorio, observa una menor altura de las vellosidades de todos los segmentos de los grupos con el antiinflamatorio cuando los compara con el control, relacionando el tamaño a la infiltración de células inflamatorias, a mayor inflamación mayor tamaño.

Teirlynck *et al.* (2011), en un trabajo con aves comerciales, asocian de manera sistemática lesiones macroscópicas con una clasificación de disbacteriosis la cual va de un grado bajo de lesión a un proceso complicado con cambios patológicos severos, cuyas calificaciones ascendentes van del 1 a 8 y las relaciona con la altura de las vellosidades a nivel del duodeno. Los resultados muestran que en los grados más bajos del score de disbacteriosis (1-3), la altura del intestino no cambia o bien tienen un incremento, mientras que en los scores mayores (4-8) ya se aprecia una atrofia franca, un adelgazamiento de la capa muscular así como un incremento de la infiltración de linfocitos en la mucosa. Un proceso inflamatorio de la mucosa intestinal además de comprometer la capacidad de absorción de nutrientes, altera la impermeabilidad de las barreras físicas del epitelio (Anand *et al.*, 2008), que combinado con un proceso de disbiosis puede permitir el paso de bacterias entéricas al torrente sanguíneo, generando problemas clínicos como la dermatitis gangrenosa, espondilitis por *Enterococcus fecalis* y problemas de osteomielitis infecciosas entre otros (Dibner *et al.*, 2012). El efecto que tienen los ácidos orgánicos en la morfología del intestino delgado ha sido demostrado por varios investigadores, los cuales en su mayoría han encontrado que mayor longitud de las vellosidades de los diferentes segmentos del TGI tienen una correlación importante con peso corporal y conversión alimenticia (Kum *et al.*, 2010; Nourmohammadi y Afzali, 2013); sin embargo, García , (2007), encontró que aunque había mayor altura de las vellosidades de los grupos adicionados con AO, al calcular el

área de la superficie de estas, no encontró diferencias. Tampoco encontró diferencia en la ganancia diaria de peso pero si en conversión alimenticia y digestibilidad ileal.

II.3 Microbiología del sistema digestivo

La microflora del TGI es una mezcla de bacterias, hongos y protozoarios, siendo las bacterias los microorganismos más abundantes (Gabriel *et al.*, 2006). La importancia de entender la dinámica de la ecología bacteriana ha sido reconocida desde tiempo atrás con estudios realizados por Salintro *et al.* (1974); quienes cultivaron y aislaron 325 clases de bacterias a partir del ciego de pollos de 5 semanas de edad, estas especies fueron reportadas como el 81% de los microbios cultivables del ciego. Sin embargo, a principios de los 90's se reconoció que los valores presentados por aislamiento y cultivo tradicionales subestimaban en mucho la cantidad real de especies presentes en el TGI de las aves. Esta diversidad y abundancia microbiana es más evidente en los sacos ciegos donde se han identificado más de 2,304 Unidades Taxonómicas Operacionales con un criterio de 95% de similaridad (Danzeisen *et al.*, 2011). Recientes estudios con nuevas técnicas moleculares mostraron predicciones de más de 3,500 genotipos (Yeoman, 2012). En el Cuadro 2, se resumen los principales grupos bacterianos y su colonización a lo largo del sistema digestivo en aves domésticas (pollo de engorda y gallina de postura).

Si bien es cierto que una gran problemática del sistema digestivo está comprendido por infecciones bacterianas, también es sabido que un equilibrio bacteriano juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las aves, permitiendo una mejor producción de ácidos grasos de cadena corta también llamados ácidos grasos volátiles (Butírico, Propiónico, Fórmico, Acético y Láctico), una mejor arquitectura de las vellosidades y criptas de Lieberkhun, mejorando la absorción de nutrientes, así como una mayor protección del intestino contra bacterias patógenas (*Salmonella*, *E. Coli*, *Campylobacter jejuni* y *Clostridium*), que afectan en forma importante la integridad del sistema digestivo y del ave (Saif, 2003; Yegani y Korver, 2008; Yeoman, 2012).

El periodo inmediato al nacimiento es crítico para el establecimiento de la comunidad microbiana en el TGI, ya que este proceso inicia con un intestino estéril el cual se va

colonizando de acuerdo a las condiciones ambientales y su composición puede variar por efecto de la edad, estirpe, zona geográfica, infecciones, tipo y manejo de la cama, así como la composición del alimento y/o medicamentos utilizados a lo largo de su proceso productivo (Porter, 1998; Apajalahti *et al.*, 2001; Hume *et al.*, 2006).

Jiangrang *et al.* (2003) realizaron un estudio sobre la diversidad de la flora bacteriana en el íleon y en los sacos ciegos de pollos con una alimentación a base de maíz-soya sin aditivos. Se analizaron de 1,230 secuencias genéticas (16S rRNA), de las cuales en íleon correspondieron el 70% relacionadas al género *Lactobacillus*, y el resto repartido entre *Clostridium* (11%), *Streptococcus* (6.5%) y *Enterococcus* (6.5%). En contraste, en los sacos ciegos las secuencias relacionadas al género *Clostridium* (65%) fueron el grupo más abundante, compartiendo el resto del porcentaje con *Fusobacterium* (14%), *Lactobacillus* (8%) y *Bacteroides* (5%). Por su parte, Apajalahti (2004), demostraron cambios de las poblaciones al utilizar diferentes tipos de granos en las dietas con incrementos de *Enterococcus*, utilizando maíz y sorgo; *Lactobacillus*, con cebada; *Escherichia con avena* y *Streptococcus con arroz*. Otros estudios soportan esta variación con la aplicación de quimioterápicos y coccidiostatos (Danzeisen *et al.*, 2011; Videnzka *et al.*, 2013).

En la primera sección del TGI, la especie predominante es el género *Lactobacillus*, el cual es encontrado desde el buche y se mantiene como flora predominante hasta la entrada del intestino grueso, sin embargo también es factible encontrar bifidobacterias y enterobacterias (Yeoman, 2012; Dragana *et al.*, 2014).

En el intestino delgado, es deseable la proliferación de bacterias del género *Lactobacillus spp.*, las cuales son productoras de ácido láctico y tienen un efecto importante en el equilibrio de la flora bacteriana evitando la colonización de patógenos como *Salmonella*. Los *Lactobacillus spp.*, son capaces de sobrevivir variaciones de pH de 3 a 9; aunque se han reportado que pueden soportar un ácido de pH de 1 (Jin *et al.*, 1998), habitan principalmente en el intestino delgado y soportan los cambios que se generan en el paso de la molleja al duodeno. El ácido láctico que producen las bacterias benéficas, puede ser utilizado por el ave para la obtención de energía o ser

almacenado para su uso posterior en el hígado como glucógeno, además de sus propiedades antimicrobianas (Jin *et al.*, 1998; Immerseel *et al.*, 2006).

Cuadro 2. Colonización microbiológica del TGI de las aves.

Sección	Concentración bacteriana	Tipo de bacterias encontradas
Buche	10^8 - 10^9 /g	Lactobacilos Bifidobacterias Enterobacterias
Proventrículo	10^7 - 10^8 /g	Lactobacilos Enterococos
Intestino delgado	10^8 - 10^9 /g	Lactobacilos Clostridium Candidatus Arthromitus Ruminococos Escherichia Enterococos
Sacos Ciegos	10^{10} - 10^{11} /g	Clostridium Ruminococos Faecalibacterium Pseudobutyrvibrio Subdoligranulum Sporobacter Acetanaerobacterium Megamonas Peptococcus Bacteroides Escherichia Biophila

Adaptado de Yeomen *et al.*, 2012 y Stanley *et al.*, 2014.

II.3.1 Disbiosis o Disbacteriosis

El término Disbiosis o también conocida como Disbacteriosis, se refiere a la alteración o desequilibrio en la microbiota intestinal, la cual puede ser tanto en el número de bacterias en el TGI como en el tipo de las familias y especies bacterianas presentes. Hoy día es uno de los desórdenes intestinales más comunes en las aves de variables etiologías, severidad y apariencia por lo que hace difícil su interpretación y diagnóstico. Enfermedades tales como la Enteritis Necrótica, son solamente la representación de un desbalance del microbioma intestinal en el pollo, sin embargo; sirve como un buen ejemplo de una enfermedad entérica que se origina a partir de un problema multifactorial que típicamente comienza con una enteritis subclínica por disbacteriosis. (Thompson y Applegate, 2006; Dibner *et al.*, 2012). Se han realizado varios estudios encaminados a utilizar ácidos orgánicos para su control con resultados muy variables ya que la mayoría de estos estudios han estado encaminados al control de *Salmonella spp*, sin embargo, los pocos estudios realizados para estudiar las modificaciones microbiológicas han mostrado efectos prometedores sobre la estabilización de la flora bacteriana (Skinner, 1991; Collet, 2005; Freitag, 2007; Dibner, *et al.*, 2012).

II.4 El pH en el Sistema Digestivo

En el Cuadro 3, se muestra el pH en diferentes porciones del TGI y el efecto de la edad. El Potencial Hidrógeno (pH), es la expresión que se utiliza para determinar la acidez o alcalinidad de una solución. Las propiedades ácido-base del agua desempeñan un papel importante en los procesos biológicos debido al papel central del agua como disolvente. Tanto el ion hidrógeno (H^+) como el ion Hidróxido (OH^-) se asocian a varias moléculas de agua y sus concentraciones en una solución acuosa le da las propiedades de acidez o alcalinidad, así mientras más iones H^+ más ácida es la solución y cuando la concentración de OH^- es mayor, la solución se vuelve alcalina (Brown, 2002; Cambell y Farrell, 2004).

.Rynsburger y Classen (2007), reportaron cambios en el pH con la edad a lo largo de todo el TGI, midieron el pH de buche, proventrículo, molleja, duodeno e íleon a los 2, 8 y 15 días de edad encontrando que el proventrículo (pH de 5.2, 4.16 y 3.37), mostró una tendencia hacia la acidificación más evidente con respecto a los otros segmentos,

fenómeno que es explicado por (Angel, *et al.*, 2013), quienes mencionan que al inicio de la vida del pollito la secreción gástrica es mínima y no tiene la capacidad acidificante suficiente para el alimento. En cambio, en el buche, el pH aumentó 5.01, 5.08 y 6.02 (a los 2, 8 y 15 días de edad), atribuyendo este fenómeno al mayor llenado conforme la edad avanzó (Rynsburger y Classen, 2007).

El pH del buche suele ser relativamente ácido (5.5), aunque en determinadas circunstancias puede incrementarse, favoreciendo la multiplicación de microorganismos patógenos, cuyo pH óptimo de crecimiento se encuentra por encima de 6. Por su parte, las secreciones del **proventrículo** le dan esa característica ácida al lumen del órgano, mismo que se continúa hasta la **molleja**, siendo el pH reportado en el proventrículo y molleja entre 2.5 y 3.5, condición particular para la transformación a la forma activa del pepsinógeno (Bohak, 1969; Sturky, 2000), cuyo pH óptimo para la digestión peptídica es con un rango cercano a de pH 2.5 (S. Bohak, 1973). La vista y olor del alimento o bien la espera del mismo, son mecanismos de activación en el proventrículo para la liberación de sus secreciones, incrementando la cantidad de ion Hidrógeno (H⁺) y pepsina para obtener un pH ácido.

La reacción del contenido del **duodeno** es un efecto tampón en el pH ya que este se incrementa y presenta un pH de 6.31 por el efecto que ejerce la secreción de bicarbonato proveniente del páncreas en combinación con el quimo ácido. El efecto tampón en el duodeno, puede favorecer la multiplicación de *E. coli* y de otros microorganismos; estudios indican que la adición de acidificantes a la dieta contribuye evitar este efecto (Overland, 2000). El duodeno es un sitio muy activo de digestión y absorción de nutrientes que dependen de las secreciones gástricas, pancreáticas y biliares (Sturkie, 2000; Mitchell y Moretó, 2006). Estas secreciones, junto con otras enzimas; continúan el proceso de digestión en el duodeno, aunque la mayor parte de la absorción la lleva acabo la siguiente sección del intestino delgado, **el yeyuno**, el cual presenta un pH promedio de 7.04, para diferenciar el yeyuno del **íleon** se utiliza como referencia la presencia del divertículo de Meckel (pequeño tallo o divertículo vitelino), es en esta sección donde existe una producción de enzimas y su pH fluctúa entre 6,8 y 7,6.

El pH en **los sacos ciegos** normalmente suele oscilar entre 6 y 7, pero en trabajos por publicar se han encontrado pH ligeramente ácidos (pH 5.31) (Angel *et al.*, 2013), este pH aunado a las características morfológicas de esta sección, permite la colonización de una microflora con predominancia de especies anaerobias sensibles al pH ácido como lo son las bacterias del género *Clostridium* (Jiménez-Moreno *et al.*, 2009). Los sacos ciegos, son de las secciones más distales del TGI, su pH puede ser influenciado por factores como el pH de agua y/o ingredientes de la ración (Jiménez-Moreno *et al.*, 2009; Angel *et al.*, 2010).

Cuadro 3 .-Efecto de la edad y del segmento intestinal sobre el pH de la digesta en pollos.

Días de Edad	5	12	22	36
Buche	5.50	5.42	5.25	5.60
Proventrículo	2.57	1.72	1.61	2.11
Molleja	3.08	2.16	2.49	2.48
Duodeno	5.80	5.59	5.98	5.93
Yeyuno	6.61	5.82	6.12	5.93
Íleon	6.79	6.61	6.50	6.92
Ciego	6.01	6.25	6.40	6.97
Colon	6.61	6.25	6.40	6.97
pH de agua	6.97	6.90	6.79	6.12
pH alimento	5.63	5.59	5.59	6.01

Citado y adaptado de Ángel *et al.*, (2013).

II.4.1 Factores que pueden modificar el pH en el TGI

Numerosos estudios se han realizado para determinar el pH en el TGI de los pollos, sin embargo este valor tiene variaciones que dependen de los ingredientes de la ración, pH de agua, sistemas de alimentación como es el caso de las restricciones alimenticias, tamaño de partículas así como aspectos ambientales que modifiquen el consumo de agua y alimento (Angel *et al.*, 2013), aunque a lo largo también hay producción de AO

por parte de la microflora, no guardan una relación con el pH del mismo (Meimandiopur *et al.*, 2011).

Trabajos realizados por Jimenez-Moreno *et al.* (2009) demuestran que el tipo de fibra utilizado en la dieta afecta el pH a nivel de la molleja, como es el caso de la cascarilla de avena y la remolacha de azúcar que lograron mayor acidificación comparados con una dieta baja en fibra y contra la celulosa. Morgan *et al.* (2014), estudiaron el Calcio (Ca) incluido como Carbonato de Ca en el alimento de las aves y su influencia sobre el pH del TGI, demostrando la capacidad bufferante del carbonato de calcio al entrar en contacto con el agua y el HCl. Estudios con diferentes pH en el agua de bebida muestran su efecto sobre el pH del TGI además de influir en la digestión de la materia seca y Fosforo, demostrando también que el agua más ácida con pH de 5.8 vs 8.1, tiene un efecto positivo sobre digestibilidad. La edad y diferentes segmentos también son efectos que modifican el pH del TGI (Cuadro 4).

Cuadro 4. Factores que pueden afectar el pH del TGI.

Factor	Segmento Afectado	Autor
Tipo de fibra	Desde el buche al intestino grueso	Jiménez-Moreno, 2009
Presentación del Alimento	Molleja e íleon	Gabriel, 2010
Edad	Buche, molleja, yeyuno, sacos ciegos y Colon	Angel, 2010
Carbonato de Calcio	Molleja e íleon	Walk , 2012
pH Agua	Buche, proventrículo, Molleja, ileon y sacos ciegos	Angel <i>et al.</i> , 2013
Ácidos Orgánicos	Buche y yeyuno	Arce <i>et al.</i> , 2014

II.4.2 La importancia del pH para incrementar la digestión de nutrientes

El pH de cada segmento del TGI es importante para determinar el ambiente químico en la ingesta y por tanto la efectividad de las enzimas tanto endógenas como exógenas. Todas las enzimas tienen un pH óptimo y un rango en el que mantienen un cierto nivel de eficacia, en el caso de las enzimas proteolíticas, su desempeño es mejor bajo condiciones de acidez, comparado con las carbohidrasas endógenas, cuyo mejor desempeño es en pH alrededor de 6 (Cambell y Farrell, 2004; Svihus, 2014). La valoración del pH puede realizarse por diferentes métodos, sin embargo la valoración *in situ* ha resultado ser la más confiable, considerando que ésta se debe realizar inmediatamente posterior al sacrificio (Morgan *et al.*, 2014). Angel *et al.* (2013), hacen referencia sobre un trabajo propio todavía no publicado donde analiza el efecto del pH del agua, comparando dos niveles de pH, uno con pH de 8.1 (alcalino) y el segundo con un pH de 5.8 (ácido). Estos diferentes pH tienen un efecto sobre el ambiente ácido de cada uno de los segmentos del intestino y como consecuencia, el grupo con agua acidificada a pH 5.8, afecta de manera positiva la digestión de la materia seca así como la digestibilidad ileal aparente de fósforo. Se entiende que parte de la menor digestión en el pH alcalino, es por menor efectividad de las fitasas incluidas en la dieta, cuando el pH aumenta por encima de 4 la eficiencia de estas tiende a disminuir, en primer lugar por su pH óptimo de actuación, y en segundo lugar por la precipitación de los quelatos fitato-calcio. El pH en el buche, proventrículo y molleja asociados al pH más alto en el agua de bebida resultaron en una eficiencia más baja de la fitasa (Tamim *et al.*, 2004). La acidificación del TGI tiene también un efecto positivo sobre la digestión y disponibilidad del calcio, los ácidos carboxílicos como el propiónico y fórmico, reaccionan con los carbonatos para formar sales solubles en agua y ácido carbónico (Brown, 2002), favoreciendo la absorción y por consecuencia el crecimiento y fortaleza del sistema óseo (Swiatkicz, 2012). El conocimiento y valoración del pH de TGI ha permitido un mejor entendimiento del proceso digestivo así como de implementar estrategias para su mejor funcionamiento y digestión, como es el caso de la adición de acidificantes en la dieta (Angel *et al.*, 2013).

II.5 Ácidos Orgánicos

El término ácidos orgánicos engloba aquellos ácidos carboxílicos cuya estructura química se basa en el carbono, estos son compuestos que ocurren naturalmente en el metabolismo celular, por lo que son productos naturales y de baja toxicidad. Se han utilizado durante más de 30 años para reducir el crecimiento de microorganismos en los alimentos, preservando su calidad higiénica (Kirchgessner y Roth, 1988). Los ácidos orgánicos no son antibióticos, pero si se usan correctamente junto con las medidas nutricionales, de manejo y bioseguridad pueden ser una herramienta poderosa para mantener la salud del tracto gastrointestinal de las aves mejorando su rendimiento zootécnico (Gauthier, 2002). En varias investigaciones pecuarias con el uso de estos compuestos, se ha descubierto que existe una disminución de la ingesta de patógenos, mejorando los efectos sobre la digestión y la absorción dando como resultado un equilibrio de la microflora intestinal, y por lo tanto una mejora en la conversión alimenticia y en la ganancia diaria de peso, así como una menor incidencia de diarrea, mejorando los costos de alimentación (Freitag, 2007).

II.6 Mecanismos de acción de los ácidos orgánicos

La teoría más aceptada del modo de acción de los ácidos orgánicos sobre las bacterias en las aves es que un pH ácido, los ácidos orgánicos se encuentran en su forma no disociada brindándoles características lipofílicas, estas características les permiten atravesar membranas biológicas, de manera que pueden penetrar a través de la pared celular bacteriana y alterar adversamente la fisiología normal de ciertos tipos de bacterias (Immerseel, *et al.*, 2006), después de penetrar a través de la pared celular de la bacteria, los ácidos orgánicos no disociados quedan expuestos al pH interno de la misma y se disocian liberando H^+ . El pH interno disminuye, debido a que las bacterias son sensibles a pH ácido en su citoplasma, se activa un mecanismo específico (bomba de H^+ -ATPasa) para hacer que el pH dentro de la bacteria retorne a su nivel normal. Este fenómeno consume energía y puede detener el crecimiento de la bacteria o incluso matarla. La reducción del pH interno involucra otros mecanismos como la inhibición de la glucólisis, el impedimento del transporte activo y la interferencia con la transducción (Immerseel *et al.*, 2006; Freitag, 2007).

Por el contrario, en bacterias menos sensibles al pH ácido como son los *Lactobacillus* y *Bifidobacterias*, toleran un diferencial mayor entre el pH interno, el cual en algunas especies de *Lactobacillus* pueden de soportar ambientes con pH por debajo de 2, en estos casos, los ácidos orgánicos reaparecerán en su forma no disociada y saldrán de la bacteria por la misma vía que entraron, lo cual crea un equilibrio y la bacteria no sufre problema alguno por esta situación, además estas especies se caracterizan por producir ácido láctico mismo que también es un OA y tiene efectos bactericidas en el intestino (Jin *et al.*, 1998).

Cuadro 5. Ácidos orgánicos y sales más comúnmente utilizados en nutrición animal y sus propiedades químicas.

Ácido / sal	pKa	Solubilidad en agua	Física molecular (g)	Energía (KJ / g)	Condición física
Ácido fórmico	3.75	Muy buena	48.0	5.8	Líquido
El ácido acético	4.75	Muy buena	60.1	14.8	Líquido
El ácido propiónico	4.87	Muy buena	74.1	20.8	Líquido
El ácido láctico	3.08	Buenas	90.1	15.1	Líquido
El ácido fumárico	3.03/4.44	Bajo	116.1	11.5	Sólidos
El ácido cítrico	3.14/5.95/6.39	Buena	210.1	10.3	Sólidos
Ca-formiato	-	Bajo	130.1	3.9	Sólida
Na-formato	-	Muy bueno	68.0	3.9	Sólido
Ca-Propionato	-	Bueno	16.6	16.6	Sólidos
Ca-lactato	-	Bajo	10.2	10.2	Sólidos
Butirato de sodio	4.83	Buena	88.1	-	Sólidos

(Kirchgessner y Roth, 1991)

Las propiedades químicas de los ácidos orgánicos, los efectos en la reducción del pH y la eficacia de la inhibición microbiana de un ácido dependen de su valor pKa, que es el pH al cual un 50% del ácido está disociado. Los ácidos con un pKa alto se denominan

ácidos débiles y los ácidos con un pKa bajo son los ácidos fuertes, en el caso de una base ocurre lo contrario, ya que esta es más fuerte cuanto mayor es su pKa. Por lo que, los ácidos orgánicos de cadena corta con un pKa bajo son ácidos fuertes y tendrían una acción antimicrobiana más efectiva (Cuadro 5), ya que permitiría que una mayor cantidad de ácido se encontrara en forma no disociada y penetrara en el interior del microorganismo (Freitag, 2007). Otros estudios demuestran que el uso de butirato y propionato inhiben la invasión celular en cultivos de *Salmonella typhimurium*, explicado por el efecto que pueden ejercer sobre los genes de invasión, sin embargo cuando estos cultivos son adicionados con acetato, el efecto puede no tener efecto adverso a *Salmonella* o bien exacerbar el proceso de colonización (Immerseel *et al.*, 2006).

II.7 Ácidos orgánicos utilizados en la avicultura

En el presente capítulo vamos a hacer referencia a los tres compuestos más utilizados en la industria avícola que son el ácido fórmico, ácido propiónico y ácido butírico.

Acido fórmico: También llamado ácido metanoico, es un ácido orgánico de un solo átomo de carbono, y por lo tanto el más simple de los ácidos orgánicos. Su fórmula es H-COOH, el grupo carboxilo es el que le confiere las propiedades ácidas a la molécula. El pKa del ácido fórmico es de 3.75. Dentro de los ácidos carboxílicos es considerado como un ácido fuerte. Es líquido, incoloro, de olor irritante, el punto de ebullición del cual es de 100,7°C y el de congelación de 8,4°C y es completamente soluble en agua porque su cadena carbonada es muy corta y fácilmente ionizable. El ácido fórmico es un compuesto químico orgánico que se encuentra en la naturaleza, en la miel, en las frutas, en la picadura de hormigas. Tiene una gran capacidad destructivas frente a levaduras y bacterias, entre las cuales también destacan los gérmenes patógenos *Escherichia coli* y *Salmonella*.

Acido butírico: El acido butírico es producido de manera natural por producido por la microbiota entérica (la mayoría bacterias probióticas), juega un papel importante en el metabolismo y protección de la mucosa intestinal (Cummings y MacFarlane, 1991; Szyllit y Andrieux, 1993; Gálfi, 1981). En algunos estudios, se ha demostrado que el aditivo formulado con butirato de sodio es efectivo para disminuir la eliminación fecal de *Salmonella spp* en pollos de engorda (Fernández, 2009), mejorando la salud y el

crecimiento de los animales. Se produce en el colon de humanos, en el rumen de bovinos mientras que en las aves se llega a encontrar de manera natural en los sacos ciegos, ya que son resultado de la fermentación bacteriana anaeróbica de la fibra dietética del almidón no digerido y proteínas.

Está clasificado como un ácido monocarboxílico saturado de cadena corta, cuya fórmula molecular es $C_4H_8O_2$, es soluble tanto en lípidos como en agua, lo cual lo hace un producto con características biológicas únicas, con un olor característico (penetrante y desagradable) por lo que es necesario protegerlo mediante recubrimiento o suministrarlo en forma de glicérido (Immerseel *et al.*, 2006).

Para que este tipo de ácido sea eficaz a nivel del último tramo del aparato digestivo, debe administrarse protegido con el propósito de que se evite su disociación en las primeras porciones del intestino y de esa manera obtenga una liberación gradual.

Ácido propiónico: También llamado ácido propanoico es un ácido carboxílico que puede encontrarse naturalmente, de fórmula molecular $C_3H_6O_2$ y fórmula semi-desarrollada CH_3-CH_2-COOH . En estado puro, es un líquido incoloro, corrosivo con un olor acre. El ácido propiónico libre se encuentra naturalmente como un metabolito bajo condiciones anaerobias, especialmente en la panza de los rumiantes, pero también en el ámbito del intestino grueso de monogástricos tales como el hombre, el caballo, el cerdo y las aves. El ácido propiónico no es generado solamente como producto final del metabolismo microbiano, sino también en el animal de modo intermediario en la formación de los ácidos grasos impares y derivados metílicos, así como de los aminoácidos (valina, isoleucina, leucina y treonina). Tanto el ácido propiónico propiamente dicho como también algunas de sus sales (propionato de calcio, sodio y amonio) se utilizan actualmente en muchos sectores de la alimentación animal a causa de sus propiedades antimicrobianas sobre hongos, levaduras y bacterias; sin embargo, es especialmente conocido por sus propiedades fungicidas. Es considerado como inocuo y puede ser totalmente metabolizados por el organismo (Freitag, 2007).

II.8 Experiencias de algunos Ácidos Orgánicos en la Avicultura

Los beneficios que se obtienen con la adición de ácidos orgánicos en pollos de engorda son amplios, a menudo han mostrado un incremento en el crecimiento (Vogt,

1981; Skinner, 1991), como el uso del ácido fórmico, que a una dosificación inferior al 0,5% incrementa el rendimiento de los animales (Eidelsburger y Kirchgessner, 1994). Los resultados obtenidos en explotaciones comerciales de pollos de engorda con este tipo de acidificantes fueron contundentes con una mezcla de ácido fórmico y propiónico a una dosis de 0.2% contra *Salmonella spp*, demostrando que la *Salmonella enteritidis* y *typhimurium*, no pudieron ser aisladas de muestras cecales (Berchieri y Barrow, 1996). Estudios más recientes (Beghaus *et al*, 2010), demostraron que la combinación de HMTBa (ácido 2-hidroxi4-metilbutanoico), fórmico y propiónico administrados en el agua de bebida a dosis de 1.5% durante la primera y última semana del ciclo productivo del pollo de engorda ayudaron a reducir *Salmonella spp.* y *Campylobacter spp.*

Dosis de 0.5% de ácido fumárico a la dieta, mejoró la conversión de alimento en pollos en comparación a los antibióticos utilizados como promotores de crecimiento como la Bacitracina de Zinc y Virginiamicina (Patten y Waldroup, 1987). Estos mismos autores reportan variaciones de efectividad en los diferentes ácidos orgánicos utilizados en la industria avícola, ya que en un estudio utilizando diferentes ácidos orgánicos, la menor ganancia de peso corporal correspondió para el ácido cítrico a una dosificación del 3%, lo cual contrasta con lo encontrado por (Biggs y Parson, 2008), quienes no encontraron diferencias en la ganancia del peso corporal de pollos de engorda a los 21 días de edad, utilizando ácido cítrico a una dosis de 3%, fumárico al 4.5% y málico con 2%.

Meyer *et al*, (2006) demostraron que los consumos fueron menores en los tratamientos con ácidos orgánicos, cuando se utilizaban niveles del 1.0%, principalmente ácido fumárico y cítrico, los cuales fueron suficientes para deprimir el consumo debido a que afectan la palatabilidad de la dieta.

Una mezcla líquida del 63.75 % de ácido fórmico, del 25.00 % de ácido propiónico y del 11.25 % de agua puede ser efectiva contra las bacterias patógenas, hongos y levaduras en la alimentación de los pollos (Eidelsburger, 1997). También se han observado efectos benéficos con la adición del ácido fórmico, ácido propiónico y sus mezclas a niveles del 0.2 al 1% sobre el control de *Salmonella*, obteniendo en algunos casos la eliminación completa. Finalmente, Izat *et al.* (1990) observaron reducciones significativas en el número de colonias de *coliformes totales*, *E. coli* y *Salmonella*, de hasta el 98%, en distintos segmentos del intestino, así como en las canales de pollos al

ser éstos alimentados con dietas adicionadas con ácido propiónico a niveles del 0.2 al 0.8%.

En un estudio realizado en pollos de engorda, compararon la habilidad del ácido propiónico contra sus sales cálcica o sódica para inhibir el crecimiento de hongos y producción de aflatoxinas en medio acuoso, sus resultados mostraron la baja eficiencia de estas sales en comparación con el ácido propiónico. Sin embargo, hay otra sal del ácido propiónico que ha sido estudiada con resultados muy satisfactorios: se trata del propionato amónico, el cual se comparó con el propionato cálcico a diferentes dosis, resultando el propionato de amonio como más efectivo y de efectividad parecida al ácido propiónico en la disminución de contajes de microorganismos (Vilá y Pérez, 2011).

En investigaciones realizadas con butirato sódico al 0.2% en las dietas para pollos de engorda ayuda a mejorar la absorción de nutrientes, debido a una reducción del grosor de la mucosa intestinal y aumento de vellosidades (Manzanilla., 2001).

Estudios más recientes (Leeson, 2007), demuestran que los pollos de engorda a los que se les administró 0.3% de butirato en forma de sal presentaron una menor mortalidad y mostraron una mejor tasa de crecimiento que el grupo control. Otros estudios (Sánchez *et al.*, 2009), indican que la adición de butirato de sodio a dosis de 500 ppm, mejoró el porcentaje de postura, masa de huevo e índice de conversión, con una disminución en el porcentaje de huevos rotos, así como en el de fisuras en el cascarón, al igual que un incremento en el área de absorción de nutrimentos en las vellosidades intestinales.

Leeson (2007) indica un aumento numérico en la energía metabolizable aparente (EMA), con una dosis de 0.2% de butirato de glicerina, lo que eleva la disponibilidad de energía rebasando, incluso, la que se esperaba que aportara el butirato de glicerina. Una posible explicación a este fenómeno es el aumento de la absorción de los nutrientes digeridos, gracias a un desarrollo superior del intestino y sus vellosidades. El cálculo para el aumento de la Energía metabolizable atribuida al glicérido butírico asignado para una formulación es aproximadamente de 125 MJ/kg.

Cuadro 6. Efecto inhibitorio de diferentes acidificantes y sus combinaciones.

Cepa	<i>Salmonella</i>	<i>E. coli</i>
	Halos de inhibición del crecimiento en placa en mm	
Producto	Efecto de los ácido	
Ácido fórmico	15	22
Ácido propiónico	14	23
Ácido butírico	14	19
Ácido fosfórico	10	17
Ácido láctico	10	15
	Efecto de la sal	
Butirato sódico	3	4
Propionato cálcico	0	1
Formiato cálcico	0.5	0.5
Dipropionato	7	12
Diformiato	8	8

(Thompson y Hinton, 1997).

En relación a la alimentación, en condiciones favorables, los microorganismos patógenos pueden multiplicarse rápidamente en el lugar de almacenamiento, especialmente si el nivel de humedad es alto y el ambiente es cálido, debido a esto, los retos son de consideración ya que los alimentos pueden estar infectados con una cierta cantidad de hongos, bacterias o levaduras. Por lo cual la adición de ácidos orgánicos ejerce un efecto fungicida en el alimento que se administra, mediante la competición por sustancias biológicas necesarias para el desarrollo de los hongos, de esta forma se inhibe su crecimiento y por tanto, disminuye la presencia de micotoxinas. Para la conservación del alimento, las concentraciones de ácido son generalmente en bajas proporciones. Sin embargo, cada ácido tiene un efecto específico sobre la inhibición de bacterias, levaduras o mohos, por lo cual tiene que ser considerado con las recomendaciones para su suplementación (Freitag 2007).

Como lo demuestran los datos (Cuadro 6), sobre la CIM (Concentración de Inhibición mínima) para bacterias, con el ácido propiónico se obtienen buenos resultados incluso con valores pH entre 7.0 y 7.2. Sin embargo, es necesario aclarar que los datos de la CIM solamente suministran valores aproximados para la dosificación en la práctica; en el alimento, hay varios factores que influyen sobre la acción antimicrobiana del agente conservante, tales como; contenido en agua, temperatura, densidad y tipo de gérmenes (infecciones mixtas) así como el periodo de almacenamiento previsto (Nakai, 2002).

II.9 Ventajas del uso de ácidos orgánicos en las aves domésticas

1. Permiten una reducción del pH a nivel intestinal, ayudando a las secreciones gástricas a mejorar la digestión proteica por una más eficiente conversión del pepsinógeno a pepsina (Bohak, 1969).
2. Mejoran la digestibilidad y absorción de calcio y fósforo, ya que al combinarse con el carbonato de calcio generan compuestos solubles (Arango, 2011).
3. Aumentan la secreción hormonal pancreática (insulina y glucagón), que ayuda a la motilidad gastrointestinal (Dibner y Buttin, 2002; Sturky, 2000).
4. Modulan la flora patógena del intestino (Immerseel *et al.*, 2006; Freitag, 2007) inhibiendo su colonización y permitiendo la sobrevivencia de *Lactobacillus* y *Bifidobacterias*.
5. El potencial de los ácidos orgánicos en la preservación de los alimentos, radica en su capacidad para proteger, la destrucción de hongos y bacterias (Freitag, 2007).

III.-JUSTIFICACION

El efecto positivo que tienen los ácidos orgánicos en la modulación de la flora bacteriana así como en los procesos digestivos les han permitido considerarse como una alternativa para hacer mas eficiente el proceso de absorción de nutrientes, protección del TGI y mejorar parámetros productivos.

IV. HIPOTESIS

La acidificación del agua de bebida en el pollo de engorda con ácidos orgánicos le permite modular la flora bacteriana del TGI, favoreciendo el desarrollo del sistema digestivo y el desempeño zootécnico.

V.OBJETIVOS

V.1 Objetivo General

Evaluar el desempeño productivo del pollo de engorda con la adición de una mezcla ácidos orgánicos (ácido propiónico, ácido fórmico, propionato de amonio y formiato de amonio), e inorgánico (ácido clorhídrico), en el agua de bebida; así como su efecto en el desarrollo del sistema digestivo.

V.2 Objetivos específicos

- Evaluar el desempeño zootécnico: peso corporal, consumo de alimento, consumo de agua, conversión alimenticia, uniformidad del peso corporal y la mortalidad.
- Evaluar el potencial de hidrogeno (pH) del tracto gastrointestinal del buche, proventrículo, duodeno, yeyuno, íleon y sacos ciegos.
- Evaluar los valores de pigmentación en piel
- Evaluar la morfología macroscópica e histológica del intestino delgado
- Evaluar la resistencia al rompimiento de la tibia
- Evaluar la resistencia a la tracción en yeyuno
- Evaluar el efecto sobre pH sanguíneo

VI MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó en una granja avícola experimental localizada en el Municipio de Charo, Estado de Michoacán a una altura de 1,940 metros sobre el nivel del mar, una temperatura mínima anual de 16°C y una máxima de 18°C, la precipitación pluvial máxima es de 800 mm y mínima de 600 mm (INEGI, 2009).

Se utilizaron 1,200 pollitos mixtos (50% machos y 50% hembras) de 1 día de edad de la estirpe Ross 308, los cuales se mantuvieron en producción hasta los 42 días de edad. Los pollos fueron distribuidos aleatoriamente en cinco tratamientos con seis réplicas de 40 aves cada uno. Los tratamientos consistieron en:

- 1) **Control**. En este tratamiento, se utilizó agua natural proveniente de la red de agua potable del municipio de Charo, Michoacán con un pH de 7.8.
- 2) **HCl 4**. Agua de bebida como el tratamiento control más la adición de Ácido clorhídrico para alcanzar un pH de 4.0.
- 3) **HCl 6**. Agua de bebida como el tratamiento control más la adición de Ácido clorhídrico para alcanzar un pH de 6.0.
- 4) **AO 4**. Agua de bebida como el tratamiento control más la adición de ácidos orgánicos (Acidomix[®] AFL, Novus International) para alcanzar un pH de 4.0.
- 5) **AO 6**. Agua de bebida como el tratamiento control más la adición de ácidos orgánicos (Acidomix[®] AFL, Novus International) para alcanzar un pH de 6.0.

La adición de los ácidos, se realizó de manera gradual hasta alcanzar el pH requerido fue medido con un potenciómetro portátil marca Hanna modelo HI-98127. El agua de bebida de los diferentes tratamientos, se proporcionó en forma continua desde la llegada del pollito a la granja hasta los 42 días de edad. Cada vez que se rellenaban los depósitos, se confirmaba que el pH de cada uno fuera el correcto. Los AO administrados fue una mezcla comercial fabricado por Novus International la cual es una combinación de ácido fórmico 31%, ácido propiónico 19%, formiato de amonio 26% y propionato de amonio 6% (Especificaciones en Apéndice).

Previo al experimento, se analizó el agua utilizada por parte de la “Comisión Nacional de Agua” para conocer, las condiciones fisicoquímicas de la fuente y corroborar su viabilidad para su uso en animales domésticos.

Cuadro 7. Análisis Fisicoquímico del Agua

Parámetros	Unidades	Niveles admisibles en aves	Toma municipal	Aljibe	Grado de cumplimiento
Temperatura	°C		25	22	
Potencial hidrógeno	pH	6.5-8.5	7.72	7.88	Cumple
Conductividad eléctrica	μohms/cm		526	527	
Turbiedad	UTN		1.4	1.5	
Color	Pt-Co		5	5	
Oxígeno disuelto	mg/L		6.4	5.6	
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L		2.4	2.4	
Demanda química de oxígeno	mg/L		5	5	
Sólidos sedimentables	mg/L		0	0	
Sólidos totales	mg/L		415	412	
Sólidos suspendidos totales	mg/L		20	16	
Sólidos disueltos totales	mg/L	1000	395	396	Cumple
Nitratos	mg/L	10	0.23	0.25	Cumple
Nitrogeno amoniacal	mg/L	60-80	0.53	0.53	
Dureza total	mg/L		118.9	237.8	Cumple
Dureza de calcio	mg/L		82	82	
Dureza de magnesio	mg/L		36.9	155.8	
Alcalinidad total	mg/L		200	194	
Alcalinidad a la fenofaleina	mg/L		0	4	
Cloruros	mg/L	200	46.75	46.75	Cumple
Sulfatos	mg/L	125	24.26	24.93	Cumple
Carbonatos	mg/L		0	8	
Bicarbonatos	mg/L	60	200	186	
Calcio	mg/L		32.86	32.86	Cumple
Magnesio	mg/L	32	8.95	37.82	
Sodio	UFC/100ml	0	66.3	11.92	Cumple
Coliformes fecales			0	47	No cumple

El muestreo del agua fue en dos niveles, el primero fue la toma de agua municipal y el segundo fue en el depósito “aljibe” del cual se distribuye a la caseta. La fuente general

de agua muestra valores admisibles para su uso en avicultura, en el caso del aljibe se le realizó la cloración para disminuir los niveles de coliformes (Cuadro 7).

Se utilizó una caseta de 11 m de ancho x 40 m de largo con techo de lámina galvanizada, con una capacidad de 30 pisos cada uno de ellos con medidas de 2 x 2.5 m acondicionados con dos comederos de tolva de 45 cm de diámetros en su base con capacidad para 10 kilos cada uno de ellos y un bebedero tipo Plasson automático redondo. Una báscula electrónica de plataforma con capacidad de 500 kilos y dos basculas digitales con capacidad de 10 y 5 kilos.

Las dietas fueron formuladas en forma similar para cada uno de los tratamientos, utilizando COMO base de maíz-soya, en forma de harina en tres etapas (0-21; 22-35 y 36-42 días de edad), cubriendo las necesidades establecidas para el pollo de engorda (Cuca *et al.*, 2009), proporcionado a libre acceso, con un foto período de luz natural y con una densidad de población de 10 aves/m². A ninguno de los alimentos se les adicionó ningún antibiótico como promotor de crecimiento.

El programa de manejo y sanitario fue similar para todos los tratamientos; en la planta incubadora se aplicaron la vacuna contra Marek y en la granja experimental se aplicaron 2 vacunas contra la enfermedad de Newcastle (8 y 25 días de edad) por vía ocular y oral (cepa La Sota).

VI.1 Parámetros zootécnicos:

Los parámetros zootécnicos considerados en el experimento se describen a continuación:

VI.1.1 Peso corporal de las aves (g)

Se pesaron la totalidad de los pollos semanalmente para cada una de las replica y se calculó el peso corporal promedio por ave, acorde con el número de aves vivas al momento del pesaje y obteniéndose la ganancia de peso semanal.

VI.1.2 Consumo de alimento (g)

Se pesó el alimento ofrecido al inicio y el residual al final de semana de cada replica. Se calculó el consumo promedio por ave semanal según el número de aves vivas al final de la semana. Se realizó una corrección por mortalidad donde el consumo aproximado de la cantidad de aves muertas por semana fue restado del consumo total. Para obtener el consumo de alimento de las centinelas, éste se pesó diariamente.

VI.1.3 Conversión alimenticia (g/g)

Se obtuvo dividiendo el consumo de alimento entre la ganancia de peso corporal de la semana.

VI.1.4 Consumo de agua (L)

Se acondicionaron recipientes en cada una de las réplicas con capacidad de 20 litros cada uno y se llevó un registro del agua ofrecida al inicio y la residual al final de semana. Se calculó el consumo promedio por ave semanal según el número de aves vivas al final de la semana.

VI.2 Mortalidad (%)

Las aves muertas se pesaron y anotaron en la bitácora de cada replica con la fecha de dicho acontecimiento, para realizar las correcciones en consumo y conversión alimenticia. Se obtuvo el porcentaje de mortalidad con el número de aves muertas, multiplicado por 100, entre el número de aves iniciadas en la semana.

VI.3 Medición de la Pigmentación de piel

A los 42 de edad, se realizó la valoración en superficie lateral de la pechuga, conocida como “la vena de la grasa” con el fotocolorímetro de reflectancia CR-400 bajo la escala CIELab del Comité Internacional de Colorimetría.

A los 42 días de edad, se seleccionaron 5 aves de manera aleatoria por tratamiento, a las cuales se pesaron, se sangraron por la vena yugular y sacrificaron de acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana. Dislocación cervical: NOM-033-ZOO-1995, NORMA Oficial Mexicana Sacrificio Humanitario de los Animales domésticos y silvestres (1995).

VI.4 pH en Sangre: Una vez obtenida la sangre, se vació en un vacutainer® con heparina para evitar su coagulación. Inmediatamente se midió el pH con un potenciómetro con electrodo de cristal directamente sobre la sangre.

VI.5 pH Del Tracto Gastrointestinal

El registro del pH del TGI, se realizó inmediatamente posterior al sacrificio, un potenciómetro de un potenciómetro marca Fisher Scientific modelo AB15/15+, *in situ* del buche, proventrículo, molleja, duodeno, yeyuno, íleon y ciegos.

VI. 6 Morfología macroscópica del tracto gastrointestinal

Se extrajo el intestino completo y se cortó la pared de manera longitudinal para dejar expuesto el lumen y de esta manera con la ayuda de una piseta con agua eliminar los restos de alimento presente en las secciones de duodeno yeyuno e íleon de manera suave para evitar lesionar el intestino. Una vez vacío, se escurrió y se pesó vacío en una báscula analítica.

VI.7 Morfología Histológica del duodeno y yeyuno

Se seccionaron aproximadamente 5 cm del intestino tanto a nivel donde termina el asa duodenal (muestra duodeno) y en la sección posterior al divertículo de Meckel (muestra yeyuno), la cual se fijó en formol al 10% para su procesamiento histológico y teñidas por la técnica de Hematoxilina y Eosina. Una vez preparada la laminilla se midió en micras (μ) la longitud de 5 vellosidades de cada muestra y la cripta de Lieberkuhn adyacente con apoyo del programa Motic Images Plus 2.0. El ancho de las vellosidades se midió únicamente en duodeno ya que por la forma de las vellosidades en yeyuno resulta errática la valoración.

VI.8 Resistencia al rompimiento por tracción del yeyuno

Se cortaron 10cm de Yeyuno previos al divertículo de Meckel y se midió su resistencia al rompimiento con una fuerza de tracción con la ayuda de un dinamómetro digital (IMADA MV 110).

VI.9 Resistencia de hueso

Se extrajo el hueso "Tibia" de cada una de las aves sacrificadas y se midió la fuerza para su rompimiento con la ayuda de un dinamómetro digital (IMADA MV 110). Este se realizó haciendo presión sobre la parte central del hueso hasta su rompimiento.

VI.10 Diseño Experimental

Los resultados de cada una de las variables fueron sometidos a un Análisis de Varianza (ANDEVA), utilizando el Modelo Lineal General (GML) y Diferencia mínima significativa (LSD), en un diseño completamente al azar, en el paquete estadístico Statistics. El nivel de significancia fue de $P \leq 0.05$. Se realizó un análisis factorial 2x5 para evaluar el pH en cada una de las secciones del intestino.

VII. RESULTADOS

Parámetros zootécnicos

El peso corporal (Cuadro 8) de las aves, mostro cambios significativos ($P < 0.05$) entre el grupo Control y experimentales desde los 28 días de edad. Los tratamientos con HCl registraron el mayor peso corporal a los 28 y 35 días de edad respecto al grupo control y los 2 grupos que recibieron AO en el agua de bebida. Mientras que a los 42 días el grupo tratado con AO6 presentaron la mayor ganancia de peso, similar ($P > 0.05$) a los grupos tratados con HCl 4 y 6, pero superior al grupo control y AO4.

Cuadro 8. Peso corporal (kg) en el pollo de engorda con diferentes pH en el agua de bebida.

	Días de edad					
	7	14	21	28	35	42
Control	0.135	0.338	0.693	1.192 b	1.792 b	2.465 b
Ph4 HCL	0.137	0.349	0.703	1.247 a	1.850 a	2.530 a
Ph6 HCL	0.134	0.347	0.717	1.228 ab	1.858 a	2.523 a
Ph4 AO	0.132	0.343	0.693	1.220 ab	1.820 ab	2.490 ab
Ph6 AO	0.141	0.352	0.714	1.226 ab	1.830 ab	2.531 a
Probabilidad	NS	NS	NS	($P < 0.01$)	($P < 0.01$)	($P < 0.01$)
EEM	0.001	0.003	0.005	0.006	0.006	0.007

En el Cuadro 9 se puede observar que el consumo de alimento fue menor a partir de los 14 días de edad en los grupos con agua acidificada a pH6 pero con diferencia

significativa con respecto a los otros tres grupos hasta los 35 y 42 días de edad. ($p < 0.01$).

En la variable conversión alimenticia (CA) cuyos resultados se incluyen en el Cuadro 10, se apreciaron valores menores en los grupos con acidificantes siendo los grupos con pH6 los que mostraron la mayor eficiencia desde los 14 días con diferencia significativa en todas las edades, siendo más evidente a los 35 y 42 días de edad con respecto a los grupos con pH4 y Control ($p < 0.04$).

Cuadro 9. Promedios generales del consumo de alimento acumulado (kg) en el pollo de engorda con diferentes pH en el agua de bebida.

	7	14	21	28	35	42
	Días de edad					
Control	0.125	0.502	1.135	2.088	3.337 ab	4.762 a
Ph4 HCL	0.128	0.501	1.143	2.116	3.352 a	4.784 a
Ph6 HCL	0.122	0.481	1.098	2.051	3.251 c	4.618 b
Ph4 AO	0.130	0.510	1.164	2.135	3.344 a	4.746 a
Ph6 AO	0.123	0.484	1.110	2.067	3.259 bc	4.622 b
Probabilidad	NS	NS	NS	NS	(P<0.01)	(P<0.01)
EEM	0.002	0.004	0.007	0.009	0.012	0.017

Cuadro 10 Promedios generales de la conversión de alimento acumulado (kg/kg) en el pollo de engorda con diferentes pH en el agua de bebida.

	7	14	21	28	35	42
	Días de edad					
Control	1.274	1.701 b	1.745 b	1.817 b	1.907 d	1.966 c
Ph4 HCL	1.364	1.640 ab	1.732 b	1.757 a	1.854 c	1.923 b
Ph6 HCL	1.333	1.583 a	1.630 a	1.730 b	1.791 a	1.862 a
Ph4 AO	1.462	1.701 b	1.790 b	1.813 a	1.881 cd	1.939 bc
Ph6 AO	1.328	1.564 a	1.655 a	1.747 a	1.823 b	1.858 a
Probabilidad	NS	(P<0.04)	(P<0.04)	(P<0.04)	(P<0.04)	(P<0.04)
EEM	0.025	0.018	0.015	0.010	0.009	0.010

Las aves de los grupos experimentales consumieron mayor cantidad de agua con respecto al control (Cuadro 11), con diferencia significativa desde los 28 días de edad, de los cuales los grupos acidificados con HCl fueron los que tuvieron un mayor consumo de agua comparado con los otros tratamientos ($p < 0.01$).

Cuadro 11. Promedios generales del consumo de agua acumulada (litros) en el pollo de engorda con diferentes pH en el agua de bebida.

	7	14	21	28	35	42
	Días de edad					
Control	0.292	0.933	1.467	3.230 b	5.240 b	7.398 d
Ph4 HCL	0.299	0.936	1.558	3.421 a	5.441 a	7.906 a
Ph6 HCL	0.299	0.964	1.567	3.405 a	5.481 a	7.784 b
Ph4 AO	0.318	0.993	1.552	3.358 a	5.439 a	7.582 c
Ph6 AO	0.293	0.929	1.522	3.390 a	5.448 a	7.567 c
Probabilidad	NS	NS	NS	(P<0.01)	(P<0.01)	(P<0.01)
EEM	0.003	0.006	0.010	0.016	0.019	0.036

La mortalidad acumulada (%) de la parvada no presento diferencias significativas ($p>0.05$) entre en el porcentaje de mortalidad a ninguna edad en los diferentes tratamientos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Mortalidad acumulada (%) en el pollo de engorda con diferentes pH en el agua de bebida.

	7	14	21	28	35	42
	Días de edad					
Control	1.67	2.92	3.75	4.17	5.42	6.25
Ph4 HCL	1.67	2.50	2.50	2.92	2.92	5.00
Ph6 HCL	1.25	2.08	2.08	2.08	3.75	4.58
Ph4 AO	1.50	3.00	4.50	5.00	5.50	6.50
Ph6 AO	0.83	2.50	3.33	3.75	4.58	5.42
Probabilidad	NS	NS	NS	NS	NS	NS
EEM	0.23	0.29	0.37	0.40	0.49	0.64

Cuadro 13 Valores del pH digestivo en el pollo de engorda con el uso de ácidos vía agua de bebida.

Tratamientos	Buche	Proventrículo	Molleja	Duodeno	Yeyuno	Íleon	Ciegos
	Promedios pH						
Control	5.3	3.1	3.2	5.8	6.0	7.0	6.3
Ph4 HCL	4.9	2.9	2.7	5.7	5.9	6.5	6.2
Ph6 HCL	5.0	3.1	3.1	5.7	5.8	6.6	6.1
Ph4 AO	5.0	2.9	2.6	5.7	5.7	6.8	6.0
Ph6 AO	4.8	3.1	3.1	5.6	5.8	6.7	6.0
Probabilidad	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
EEM	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01	0.1

NS= No existen efectos significativos ($p \geq 0.05$)

En las evaluaciones de pH del TGI (Cuadro 13), se observa una tendencia a un pH más ácido en todas las secciones de los grupos experimentales, sin que las diferencias entre los grupos fueran significativas ($p>0.05$).

Las valoraciones morfométricas macroscópicas del intestino no muestran diferencias significativas entre tratamientos; sin embargo, se observan longitudes ligeramente más cortas en los grupos experimentales. Con respecto al peso del intestino los tratamientos con pH6 muestran un mayor peso proporcional con respecto a los demás grupos. En la relación del peso del intestino con el peso corporal y con la longitud, los valores fueron mayores los tratamientos acidificados a pH6. Estos valores fueron solamente de tendencia numérica ya que no se observaron diferencias significativas (Cuadro 14).

Cuadro 14 Valoración morfométrica del TGI en el pollo de engorda con el uso de ácidos en el agua de bebida.

	Intestino			
Tratamientos	Longitud m	Peso g	Radio Longitud: Peso Intestino	Radio Peso Corporal:Peso Intestino
Control	2.218	73.80	33.27	2.80%
Ph4 HCL	2.177	67.17	30.85	2.59%
Ph6 HCL	2.170	85.83	39.55	3.04%
Ph4 AO	2.200	74.60	33.91	2.69%
Ph6 AO	2.197	88.50	40.28	3.28%
Probabilidad	NS	NS		
EEM	0.027	2.08		

NS= No existen efectos significativos ($p \geq 0.05$)

En las valoraciones adicionales (Cuadro 15) el pH sanguíneo muestra ligeramente mayor acidez en los grupos experimentales con diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto al grupo control, el cual se mantuvo en pH 7.29 mientras que los experimentales oscilaron entre pH 7.04 y pH 7.16. No se muestran diferencias significativas en las valoraciones de resistencia a la tracción del intestino y la resistencia

al rompimiento de la tibia; sin embargo, los grupos experimentales con pH6 tuvieron los valores más altos.

Cuadro 15 Valores del pH sanguíneo, resistencias a la tracción del Yeyuno, resistencia ósea al rompimiento y pigmentación amarilla de piel en el pollo de engorda con el uso de ácidos.

Tratamientos	Valores Sanguíneos	Resistencia		Pigmento
	pH	Yeyuno	Ósea	b* Amarillamiento
Control	7.29 a	0.260	22.03	19.17
Ph4 HCL	7.13 b	0.273	21.86	20.32
Ph6 HCL	7.04 b	0.333	24.13	23.23
Ph4 AO	7.16 b	0.330	21.53	19.45
Ph6 AO	7.06 b	0.337	26.13	18.04
Probabilidad	P<0.05	NS	NS	NS
EEM	0.02	0.01	0.63	0.75

NS= No existen efectos significativos ($p \geq 0.05$)

Se observan diferencias significativas en el largo de las vellosidades de duodeno y yeyuno, así como en el área estimada de absorción. Las vellosidades del duodeno de los tratamiento acidificados con HCl se aprecian más largas (1,545 y 1,500 μ) con diferencia significativa con respecto al tratamiento AO4 ($p<0.01$). Las criptas de Lieberkuhn se muestran con mayor profundidad en el tratamiento HCl 6 con 180 μ y diferencia significativa con respecto a los tratamientos AO 6 y HCl 4. El grupo Control no presentó ninguna diferencia con respecto a los demás grupos. Con respecto al ancho hubo diferencias entre todos los tratamientos, exceptuando entre los tratamientos HCl 4 y AO 6 ($p<0.01$). El estimado de área de la vellosidad, fue mayor en los tratamientos AO 4 con 203,445 μ con diferencia significativa con los demás tratamientos menos con el Control y el valor menor le corresponde al tratamiento HCl 6 con un valor de 132,445 μ y diferencias con respecto a los otros tratamientos ($p< 0.01$). (Cuadros 16 y17).

Cuadro 16 Mediciones histológicas de duodeno

	Largo	Criptas	Ancho	Área μ^2
Tratamientos	Promedio \pm Error estándar			
Control	1500 \pm 12 ab	169 \pm 8 ab	121 \pm 5 b	181,989 \pm 8,025 ab
Ph4 HCL	1545 \pm 19 a	142 \pm 8 b	104 \pm 5 c	161,681 \pm 8,186 bc
Ph6 HCL	1572 \pm 13 a	180 \pm 5 a	84 \pm 2 d	132,445 \pm 3,531 d
Ph4 AO	1422 \pm 41 b	153 \pm 9 ab	144 \pm 7 a	203,127 \pm 8,900 a
Ph6 AO	1493 \pm 36 ab	150 \pm 4 b	102 \pm 5 c	152,552 \pm 8,221 cd

Literales distintas a,b marcan diferencias significativas (P<0.01)

En la medición del yeyuno solo se observa diferencia entre los tratamientos HCl 6 y AO 4 ($p < 0.01$). No hay diferencias en la profundidad de las criptas de Lieberkuhn del yeyuno.

Cuadro 17 Mediciones histológicas de yeyuno

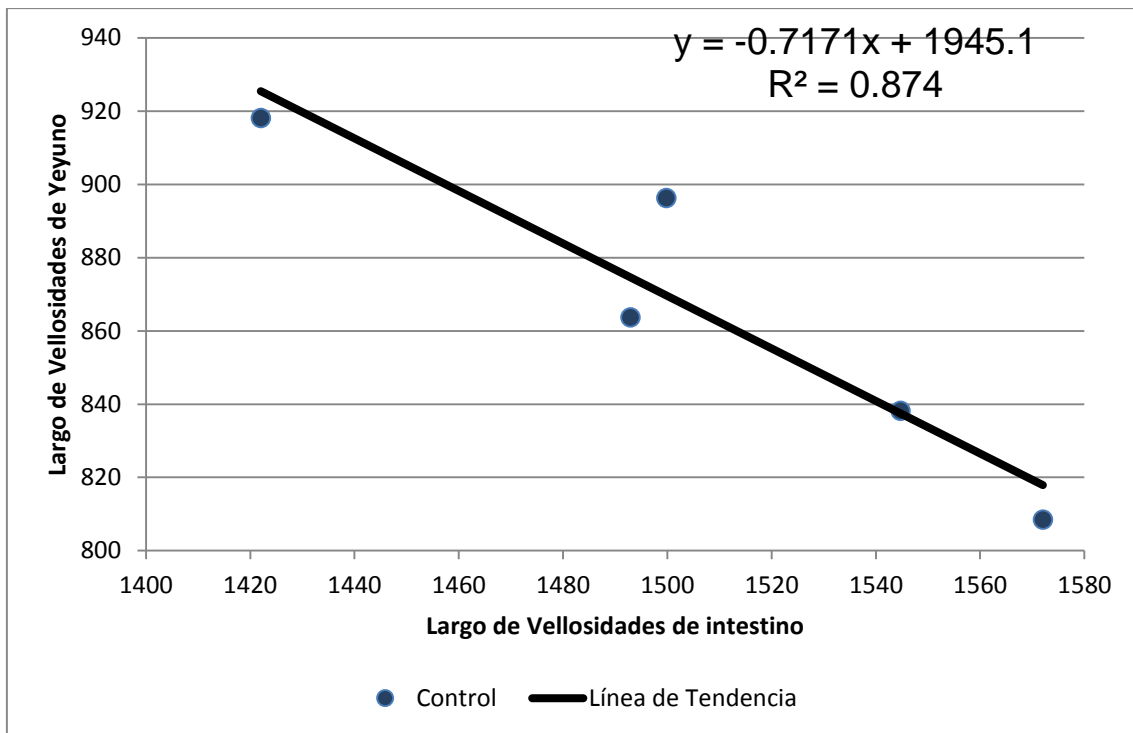
	Largo	Criptas
Tratamientos	Promedio \pm Error estándar	
Control	896 \pm 65 ab	127 \pm 10 a
Ph4 HCL	838 \pm 12 ab	130 \pm 4 a
Ph6 HCL	809 \pm 19 b	128 \pm 13 a
Ph4 AO	918 \pm 35 a	125 \pm 4 a
Ph6 AO	864 \pm 14 ab	136 \pm 5 a

Literales distintas a,b marcan diferencias significativas (P<0.01)

Literales similares no marcan diferencias significativas (P>0.05)

Se aprecia una correlación lineal negativa entre el largo de las vellosidades del duodeno con respecto al largo de las vellosidades de Yeyuno, mientras más largo son las vellosidades del duodeno, se aprecian más cortas las del yeyuno ($R^2=0.87$) como se muestra en la Figura 2.

Figura 2 Correlación del largo de la vellosidad del duodeno y yeyuno



VIII DISCUSIÓN

En el presente estudio, se apreció un mejor comportamiento productivo de los grupos experimentales, siendo los más evidentes el Peso Corporal y Conversión Alimenticia a pH de 6 con HCl y AO ($p > 0.01$). La información científica disponible sobre el uso de “ácidos” en avicultura hace referencia únicamente sobre el uso de los AO, sin embargo es carente la información de los efectos que tiene el HCl adicionado sobre parámetros productivos en aves. Los beneficios zootécnicos que se obtienen con la adición de AO se ha comprobado con diferentes compuestos como en los ácidos fumárico, málico, fórmico, acético, láctico, cítrico y propiónico (Skinner *et al*, 1991; Ao *et al*, 2009; Viola *et al*, 2008; Ghulam *et al.*, 2013) así como en la mezcla de estos donde la combinación del ácido fórmico con formatos y propionatos han demostrado tener también un efecto positivo en el proceso productivo (Chaveerach *et al.*, 2004, Morales, 2013). Estos beneficios se han asociado de manera inicial a la modulación de la flora patógena del intestino, demostrado por el efecto que tienen los AO en estudios contra bacterias como *Salmonella spp*, *E. coli*, *Camylobacter spp* y *Clostridium spp*. (Berchieri, A.; 1996

Immerseel *et al.*, 2006; Freitag, 2007) Además, los AO promueven la colonización del tracto digestivo por *Lactobacillus*, considerando que estos son resistentes a pH ácidos y tienen un papel de protección en el TGI (Jin *et al.*, 1998). Por otro lado, Nakai y Karl (2003), mencionan que en un medio ácido de pH 4.6 el efecto de los AO como antibacterianos es más efectivo, con base a evaluaciones realizadas *in vitro* en donde concluye que la concentración mínima inhibitoria para los AO puede variar con el tipo de bacteria y tipo de ácido utilizado. Otros estudios *in vitro* con cultivos de *Escherichia coli*, (Dibner y Buttin, 2002), donde añaden diferentes ácidos entre los que se incluyeron HCl, ácido fórmico, ácido láctico e hidroxi-análogo de metionina (HMTBa) para acidificar el medio de cultivo a pH 4 y pH 7, demostraron que el efecto antibacteriano es más eficiente con pH de 4, además de hacer evidente la pobre actividad microbicida del HCl. En otro estudio realizado por Thompson (1995), con un producto comercial que incluía ácido fórmico y ácido propiónico encontró que a concentraciones de 50mM de ácido fórmico pueden sensibilizar a las bacterias a un shock osmótico, sin embargo, en el presente estudio las concentraciones molares fueron de 7.7mM y 23mM para los pH de 6 y 4 respectivamente con AO, cantidades menores a las utilizadas por Thompson. Arce *et al.* (2014), en dos trabajos experimentales valoró la misma combinación de AO y niveles de acidificación (pH de 4 y 6), en ambos trabajos coincide con mejores resultados zootécnicos acidificando el agua a pH 6, sin embargo la dosificación en estos experimentos fue mayor que en la presente investigación a causa de la mayor “dureza total” del agua (118 vs 235mg/l), por lo cual podemos deducir que es más importante el nivel pH como criterio en la dosificación de los ácidos que la concentración molar de estos, ya que el resultado positivo ocurrió con AO y HCl.

Este comportamiento en los grupos con pH 6, contrasta con el papel primario de los argumentos de modulación microbiana mencionados, soportando como más importante el efecto que tienen los AO y HCl sobre el proceso digestivo, considerando que las aves no fueron desafiadas a ningún patógeno ni presentaron ningún proceso patológico durante el periodo de prueba. Primeramente, en el proceso digestivo, la acidificación del medio permite una mayor transformación del pepsinógeno en pepsina a nivel del proventrículo y molleja (Bohak, 1969; Zvi, 1973) y *per se* la digestión proteica es más eficiente; de igual manera el trabajo a nivel del páncreas se ve mejorado mediante el

incremento de sus secreciones y en su caso mejor actividad de algunas enzimas exógenas como la *fitasas* y *mananasas* (Rafacz-Livingston *et al.*, 2005). Angel *et al.* (2013) hacen referencia sobre un trabajo propio todavía no publicado donde analizan el efecto del pH del agua, comparando dos niveles de pH, uno con pH de 8.1 (alcalino) y el segundo con un pH de 5.8 (ácido). Estos diferentes pH tienen un efecto sobre el ambiente ácido de cada uno de los segmentos del intestino y como consecuencia, el grupo con agua acidificada a pH 5.8, afecta de manera positiva la digestión de la materia seca así como la digestibilidad ileal aparente de fósforo. Los autores explican que parte de la menor digestión en el pH alcalino, es por menor efectividad de las fitasas incluidas en la dieta, cuando el pH aumenta por encima de 4 la eficiencia de estas tiende a disminuir, en primer lugar por su pH óptimo de actuación, y en segundo lugar por la precipitación de los quelatos fitato-calcio.

Por otro lado, la absorción de calcio es favorecida por la acidificación del medio intestinal (por mantener las sales de calcio en solución), los ácidos carboxílicos como el propiónico y fórmico, reaccionan con los carbonatos para formar sales solubles en agua y ácido carbónico (Brown, 2002), favoreciendo el crecimiento y fortaleza del sistema óseo (Swiatkicz, 2012). En el presente trabajo se observó solamente tendencia a mayor resistencia en el rompimiento del intestino con una acidificación de pH6, y en la resistencia al rompimiento por tracción en el yeyuno. Están documentados los beneficios que tiene la mejor absorción de minerales, en primer lugar el Ca para el caso del tejido óseo y de los minerales traza como Zn, Cu y Mn que juegan un papel importante en la formación del tejido conectivo (Arango, 2011). Para corroborar el efecto de lo AO en este aspecto, se tienen que hacer otros estudios con una muestra de mayor tamaño.

Otras de las funciones que desempeñan de manera natural los AO en el metabolismo son como fuente de energía a las células del epitelio intestinal, (Stoddart, 2008; Wang , 2009) y sus acciones en el sistema inmune como la activación de linfocitos y macrófagos (Van Immerseel, 2006; Ghulam *et al.*,2013).

Los resultados del presente estudio con respecto a la histo-morfología del intestino, no muestran una relación clara entre la significancia de cada tratamiento con respecto a las diferentes longitudes evaluadas, sin embargo al analizar el área calculada del

duodeno, se apreció una menor superficie en los grupos con mejores resultados zootécnicos, que corresponden a los tratamientos con pH 6. El efecto que tienen los ácidos orgánicos en la morfología del intestino delgado ha sido demostrado por varios investigadores, los cuales en su mayoría han encontrado una mayor longitud de las vellosidades en diferentes segmentos del TGI con una correlación importante con peso corporal y conversión alimenticia (Kum *et al.*, 2010; Nourmohammadi y Afzali, 2013), por otro lado García *et al.* (2007), reportaron mayor altura de las vellosidades de los grupos adicionados con AO sin cambios área calculada de la vellosidad, pero sí con efecto significativo sobre conversión alimenticia y digestibilidad. En este fenómeno es importante diferenciar que una mayor altura de la vellosidad intestinal no es sinónimo de mayor superficie de absorción, ya que las variaciones en el ancho suelen estar relacionada con el grado de celularidad, a mayor ancho mayor infiltración de células del tipo inflamatorio ubicado principalmente en la lámina propia. De manera que en nuestro experimento, en los grupos experimentales con pH 6, se observó un buen desarrollo en el tamaño de la vellosidad y con un ancho que sugiere poca celularidad, características de una estructura funcional y sin procesos inflamatorios.

Se aprecia una correlación negativa entre el largo de las vellosidades del duodeno con respecto a las vellosidades del yeyuno, este hallazgo se explica el como un fenómeno de compensación para mantener en lo posible la misma área de absorción, especialmente en situaciones donde está comprometida la integridad del duodeno (Thomson, 2006; Yamauchi, 2007).

El pH sanguíneo se vio afectado en todos los grupos experimentales con significancia estadística ($p < 0.05$), se observó una disminución del pH con rangos de van de 6.9 a 7.24 mientras que los valores del grupo control oscilaron entre 7.16 y 7.44. El equilibrio ácido-base del organismo animal está localizado en los compartimentos líquidos de los cuales del 7 a 8% del agua corresponde al agua plasmática de ahí la importancia del potasio, sodio, cloro y bicarbonato que van a jugar un papel esencial en el mantenimiento del equilibrio iónico (y por tanto del equilibrio ácido-base ya que la base de su regulación pasa por los sistemas tampón o de intercambio iónico) de los compartimentos líquidos del organismo (Meschy, 1998). Por otro lado, se ha demostrado la influencia que puede tener la alimentación sobre el pH sanguíneo, que

aunque existe un mecanismo que promueve el equilibrio a la neutralidad, en el caso de los ácidos en solución permiten el paso de los hidrogeniones a través de las membranas biológicas, este fenómeno se basa en los mecanismos de absorción digestiva y los intercambios iónicos entre los compartimentos digestivos y sanguíneos. (Meschy, 1998; Immerseel, *et al.*, 2006). Esta posibilidad de paso de hidrogeniones abre una alternativa en el control de problemas de alcalosis metabólica causada por hiperventilación de las aves en estados de estrés térmico (Sturkie, 2000).

En la producción avícola, la inclusión de aditivos tiene como objetivo hacer más rentable la generación de carne y huevo con un valor que sea representativo en el Retorno de Inversión (RI), el cual pretende que cualquier gasto realizado en la avicultura resulte en una ganancia por lo menos del doble del monto utilizado. Para determinar este RI, se consideran los parámetros zootécnicos traducidos en dinero.

En los Cuadros 18 y 19 se resume el estimado del impacto económico el cual muestra un retorno de inversión alto en los tratamientos con agua acidificada a pH 6, demostrando que el tratamiento con AO es una alternativa económica, además de tener la ventaja de no tener el riesgo de manipular sustancias como el HCl que pueden causar lesiones importantes a la salud.

Cuadro 18 Valores del cierre de parvada por tratamiento .

TRAT.	Número de aves al Final*	Peso promedio de las aves	Promedio del consumo de alimento/ ave	Total peso vivo Kg*	Consumo total de alimento*	Precio Kg pollo vivo	Precio promedio del alimento
Control	203	2.465	4.762	499.16	964	\$24.00	\$4.80
HCl 4	210	2.530	4.784	531.30	1005	\$24.00	\$4.80
HCl 6	213	2.523	4.618	536.19	981	\$24.00	\$4.80
AO 4	201	2.490	4.746	500.49	954	\$24.00	\$4.80
AO 6	207	2.531	4.622	525.13	959	\$24.00	\$4.80

*Valor acumulado de todas las repeticiones, ** Valor expresado en pesos mexicanos

El valor de RI se realizó dividiendo la “diferencia neta de ingresos” entre el “costo de inversión del tratamiento”, el cual nos demuestra la proporción de la ventaja económica por cada peso invertido (Cuadro 19).

Cuadro 19 Estimación del impacto económico del uso de acidificantes en agua de bebida a diferentes pH

TRT	Costo total del alimento	Diferencia del costo de alimento*	Ingresos por Kg Pollo Vendidos	Diferencia del ingreso por Kg de Pollo Vivo*	Diferencia de Kg de carne y consumo de Alimento*	Costo de inversión del tratamiento *	Diferencia neta de ingresos por tratamiento*
Control	\$4,628.66		\$11,979.90				
HCl 4	\$4,822.27	\$193.61	\$12,751.20	\$771.30	\$577.69	\$78.70	\$499.00
HCl 6	\$4,710.80	-\$82.14	\$12,868.51	\$888.61	\$806.47	\$41.36	\$765.12
AO 4	\$4,578.94	\$49.72	\$12,011.76	\$31.86	\$81.58	\$53.64	\$27.94
AO 6	\$4,603.07	\$25.60	\$12,603.17	\$623.27	\$648.86	\$19.34	\$629.52

*Las diferencias toman como referencia los valores del grupo control. Los valores están expresados en pesos mexicanos.

El valor de RI se realizó dividiendo la “diferencia neta de ingresos” entre el “costo de inversión del tratamiento”, el cual nos demuestra la proporción de la ventaja económica por cada peso invertido (Cuadro 20).

Cuadro 20. Retorno de Inversión por Tratamiento

Tratamiento	Retorno de Inversión
Control	-
HCl 4	1:6
HCl 6	1:19
AO 4	1:1
AO 6	1:33

XI CONCLUSIONES

El conocimiento y valoración del pH de TGI ha permitido un mejor entendimiento del proceso digestivo, así como de implementar estrategias para su mejor funcionamiento y digestión, como es el caso de la adición de acidificantes en la dieta.

La acidificación del agua de bebida tiene un efecto positivo sobre los parámetros zootécnicos en el pollo de engorda. Su efecto benéfico radica en facilitar de manera primaria el proceso de digestión, donde una acidificación moderada de pH6 es suficiente para lograr un mejor peso corporal así como una Conversión Alimenticia más eficiente.

Un programa de acidificación del agua de bebida con AO puede ser basado en el grado de desafío o contaminación donde se críen las aves, ya que está demostrado su mejor efecto como modulador de patógenos a pH de 4-4.5; sin embargo, en áreas de bajo desafío de patógenos la acidificación a pH de 6 resulta suficiente.

La adición de la mezcla de ácido propiónico, ácido fórmico y sus sales amoniacaes dispensados en el agua de bebida favorece el desempeño productivo del pollo de engorda.

La Acidificación del agua con AO puede ser una alternativa de mejora en los parámetros zootécnicos con un alto RI.

X BIBLIOGRAFIA

- Anand, R. J., Dai, S., Rippel, C., Leaphart, C., Qureshi, F., Grinbar, S. C., Sodhi, C. (2008). Activated Macrophages Inhibit Enterocyte Gap Junctions Via the Release of Nitric Oxide. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.*(294), 109-119.
- Angel, R., Humprey, R., & Saylor, W. (2010). *Poultry Science* 89 (E-suppl. 1), 650.
- Angel, R., Kim, S. W., Li, W., & Jimenez-Moreno, E. (2013). XXIX Curso de Especialización FEDNA. *Velocidad de Paso y pH Intestinal*. Madrid, España: FEDNA.
- Apajalahti, J., Kenttunen, A., y Graham, H. (2004). Characteristics of the Gastrointestinal Microbial Communities with special reference to the Chicken. *World's Poultry Science*(60), 223-232.
- Apajalahti, J., Kettunen, A., y Bedford, M. H. (2001). Percent G+C profilin accurately reveals Diet-Related differences in the gastrointestinal microbial community of broiler chickens. *Applied and environmental microbiology*, 5656-5667.
- Arango, G. (2011). XXII Congreso Latinoamericano de Avicultura. en Buenos Aires, Argentina.: ALA. Obtenido de <http://www.elsitioavicola.com/articulos/2137/el-calcio-y-fasforo-como-protagonistas-en-la-nutrician-de-ponedoras/>
- Arce, J. Lopez Coello, C. Avila, E, Roa , (2014). M. El uso de Ácidos orgánicos en el agua de bebida y su efecto en los resultados zootécnicos y ph de regiones anatómicas del pollo de engorda. Resultados sin publicar.

- Avila, E. (2001). Anatomía y Fisiología de la Digestión en las Aves. En V. Petrone, & X. Hernández (Edits.), *Producción Avícola: Nutrición y Alimentación Avícola* (págs. 1-11). México: División de Educación Continua, ANECA.
- Bacha, W., y Wood, L. (1991). *Atlas Color de Histología Veterinaria*. Buenos Aires, Argentina: Inter-Médica S.A.I.C.I.
- Baldwin, R. (2000). Sheep Gastrointestinal Development in Response to different dietary Treatments. *Small Ruminant Research*, 35, 39-47.
- Banks, W. J. (1986). *Histología Veterinaria Aplicada*. México: El Manual Moderno.
- Beghaus, R., Camacho, F., Cholick, H., Dibner, J., Holafre, C., Montoya, F. y Young, S. (2010). Uso de una combinación de ácidos orgánicos en el agua de bebida para reducir *Salmonella* spp. y *Campylobacter* spp en pollos de engorda.
- Berchieri, A. (1996). Reduction in incidence of experimental fowl typhoid by incorporation of a comercial formic acid into poultry feed. *Poultry Science*, 75:339-341.
- Biggs, P. y Parson, C. M. (2008). The effects of several organic acids on growth performance, nutrient digestibilities and cecal microbial populations. *Poultry Science*, 87:2581-2589.
- Bohak, S. (1973). The Kinetics of the Conversion of Chicken Pepsinogen to Chicken Pepsin. *Eur. Journal of Biochemistry*(32), 547-554.
- Bohak, Z. (1969). Purification and Characterization of Chicken Pepsinogen and Chicken Pepsin. *American Society of Biological Chemists*,.
- Brown, W. H. (2002). *Química Orgánica*. México: CECSA.
- Cambell, M. K., y Farrell, S. O. (2004). Agua: Disolvente de reacciones Químicas. En *Bioquímica 4a Ed* (págs. 33-57). Mexico.: Thomson.
- Cancho, G. y García, F. a. (2000). El uso de antibióticos en la alimentación animal: Perspectiva Actual. *Science Technology Aliment*, 3:39-47.
- Chaveerach, P., Keuzenkamp, D. A., Lipman, L. J. A. y Van Knapent, F. (2004) Effect of Organic Acids in Drinking Water for Young Broilers on *Campylobacter* Infection. Volatile Fatty Acid Production, Gut Microflora and Histological Cell Changes. 83:330-334

- Collet, S. (2005). Strategies for Improving Gut health in Commercial Broiler Operations. En P. L. Lyons, y K. A. Jaques (Edits.), *Proceedings of Alltech's 21st Annual Symposium* (pág. 17.30). Nottingham: Nottingham University Press.
- Collet, S. (2009). Advance Poultry Health Course: Poultry Enteric Diseases. Athens, GA: The University of Georgia, PDRC.
- Cuca, M. G., Avila, E., y Pro, A. (2009). *Alimentación de las aves*. Texcoco, Edo. de México: Colegio de Postgraduados. Universidad Autonoma de Chapingo.
- Danzeisen, J. L., Hyeun Bum Kim, Richard E. Isaacson, Zheng Jin Tu, y Timothy J. Johnson¹. (November de 2011). Modulations of the Chicken Cecal Microbiome and Metagenome in Response to Anticoccidial and Growth. *PLoS One*, 6(11), e27949.
- Dhawale, A. (2005). Better egg shell quality with gut acidifier. *Poultry International*, 3:18-21.
- Dibner, J., y 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.
- Dibner, J., y Richards j. D. (2005). Antibiotic Growth Promoters in Agriculture: History and Mode of Action, *Poultry Science*, 84:634-643.
- Dibner, J., Frances, Y., y Knight, C. (2012). The Effect of Enteric Health on Systemic Disease. San Diego: JAVMA.
- Dibner, J., Kitchell, M., Atwell, C., y Ivey, F. (1996). The Effect of Dietary Ingredients and Age on the Microscopic Structure of the Gastrointestinal Tract in Poultry. *J. Appl. Poultry Res*(5), 70-77.
- Dragana, S., Hughes, R. J., y Moore, R. J. (2014). Microbiota of the Chicken Gastrointestinal Tract: Influence on Health, Productivity and Disease. *Appl. Microbiol. Biotechnol*(98), 4301-4310.
- Eidelsburger, U. (1997). Optimierung der Futterqualität ist nur ein Teilaspekt. [Optimising feed quality] January: 18-21. *Schweinewelt*(January), 18-21.
- Eidelsburger, U. K. (1994). 8th communication: Studies on nutritive effects of organic acids in piglets rearin. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 68:20-32.
- Freitag, M. (2007). Organic acids and salts promote performance and health in animal husbandry. En L. Christian, *Acidifiers in Animal Nutrition* (págs. 1-7). Nottingham University Press.

- Gabriel, I., Lessire, M., Mallet, S., y Guillot, F. I. (2006). Microflora of the Digestive Tract: Critical Factors and Consequences for poultry. *World's Poultry Science*(62), 499-511.
- 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. *J. Appl. Poult. Res*(16), 555-562.
- Gauthier, R. (2002). El caso de los Ácidos Orgánicos. *Los avicultores y su entorno*, 84.
- Ghulam Abbas, Sohail Hassan Khan y Habibub-ur Rehman (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 Biol. Res.* 6 (3): 227-232
- Hume, M. E., Clemente, S., y Oviedo-Rondón, E. (2006). Effect of feed Aditives and Mixed Eimeria Species Infection on Intestinal Microbial Ecology of Broilers. *Poultry Science*(85), 2106-2111.
- Immerseel, V., Russell, J. B., Flythe, M. D., Gantois, I., Timbermont, L., Pasmans, F. y Ducatelle, R. (2006). The use of Organic Acids to Combat Salmonella in Poultry: a Mechanistic Explanation of the Efficacy. *Avian Pathology*, 3(35), 182-188.
- INEGI. (2009). *prontuario de información municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datosgeograficos/16/16088.pdf>.
- Izat, A. L., Tidwell, R., Thomas, R. A., Reiber, M. A., Adams, M., Colberg, M., y Waldroup, W. (1990). Effects of Buffered Propionic Acid in Diets on performance of Broiler Chickens and on Microflora of the Intestine and Carcass. *Poultry Science*(69), 818-826.
- Jiangrang Lu, U. I. (2003). Diversity and Succession of the Intestinal Bacterial Community of the Maturity Broiler Chicken. *Applied And Enviromental Microbiology*(Nov.), 6816-6824.
- Jiménez-Moreno, E., González-Alvarado, J. M., y de Coca-Sinova, A. (2009). Effects of sources of Fibre on the Development and pH of the Gastrointestinal Tract of Broilers. *Animas/ Feed Science and Technology*(154), 93-101.
- Jin, L. Z., Ho, Y. W., Abdullah, N. y Jalaludin, S. (1998). Acid and Bile Tolerance of Lactobacillus Isolated from Chicken Intestine. *Letters in Applied Microbiology*(27), 183-185.

- Kum, S., Eren, U., Onol, A., y Sandikci, M. (2010). Effects of Dietary Organic Acids Supplementation on the Intestinal Mucosa in Broilers. *Revue. Med. Vet.*, 161(10), 463-468.
- Larissa Pickler, B. C., P., Breno, C., Beirao, C., Hayashi, * Jean F. Durau, *, Santin, E., y Lourenço, M. (2013). Effect of sanguinarine in drinking water on Salmonella control and the expression of immune cells in peripheral blood and intestinal mucosa of broilers. *Applied Poultry Research*(22), 430–438.
- Lavery, G., Elbrond, V. S., Árnason, S. S., y Skadhauge, E. (2006). Epithelial Structure and Function in the hen Lower Intestine. En G. Perry (Ed.), *Avian Gut Function in Health and Disease* (págs. 65-84). Cambridge, MA: CABI.
- Lesson, S. (2007). Butyrate lacing science versus societal issues in Butyrate lacing poultry nutrition. *Poultry Nutrition*, 71:1-5.
- Lorenzoni, G. (2010). *Poultry Disease Influenced by Gastrointestinal Health*. Nottingham: Hothingham University Press.
- Maisonnier, S., Gomez, J., Brée, C., Baeza, E., y 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, 805-814.
- Marin-Flamand, E. Mendez, A., Del Rio, G.J.(2013) Efecto de Mezclas de ácidos Orgánicos Suministrados en el Agua de Bebida sobre las Variables Productivas, la Bioquímica Sanguínea y la Respuesta Inmune del Pollo de Engorda. Memorias de la 6ª Reunión AECACEM, Querétaro, Mex. 107-113
- Meimandiopur, A., Soleimanifarjam, A., Azhar, A., Hair-Bejo, K., Shuhaimi, M., Nateghi, M., y Yazid, A. M. (2011). Age Effect on Short Chain Fatty Acids Concentrations and pH Values in the gastrointestinal Tract of Broiler Chicken. *Archiv. Fur Geflugelkunde*(75), 164-168.
- Meschy, F. (1998). Balance Electrolítico y Productividad en Animales. *XIV Curso de Especialización: Avances en Nutrición y Alimentación Animal*, págs. 95-108.
- Meyer, A., Schön, A., & Brade, W. (2006). Einsatz des Leistungsförderers Formi in der Mast. [Use of the growth promoter Formi in pig fattening]. *Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung Fulda*, 187-187.
- Mitchell, M. A. y Moretó, M. (2006). Absorptive Function of the Small Intestine: Adaptions Meeting Demand. En P. G. (Ed.), *Avian Gut Function in Health and Disease* (págs. 43-64). Cambridge, MA: CABI.

- Morales, R. (2007). Las Paredes Celulares de *Sacharomyces Cerevisiae* : Un Aditivo Natural Capaz de Mejorar la Productividad y Salud del Pollo de Engorde. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Barcelona.
- Morgan, N. K., Walk, C. L., Bedford, M. R. y Burton, E. J. (2014). The Effect of Dietary calcium Inclusion on Broiler Gastrointestinal pH: Quantification and Method of Optimization. *Poultry Science*(93), 354-363.
- Nakai, S. y Siebert, K. (2002). Validation of bacterial growth inhibition models based on molecular properties of organic acids. *International Journal of Food microbiology*, 1-7.
- Norme Mexicana, N. O. (1995). Sacrificio humanitario de los Animales Domésticos y Silvestres. *NOM.033.ZOO-1995*, pág. 6.
- Nourmohammadi, R. y Afzali, N. (2013). Effect of Citric Acid and Microbial Phytase on small Intestinal Morphology. *Ital.J. Anim. Sci.*, 12, 44-47.
- Patten, J. D., y Waldroup, P. W. (1987). Use of Organic Acids in Broiler Diets. *Poultry Science*(67), 1178-1182.
- Porter, R. E. (1998). Bacterial enteritides of poultry. *Poultry Science*, 77:1159-1165.
- Saif, Y. M. (2003). *Diseases of Poultry 11th* (11th ed.). 2121 State Avenue, Ames, Iowa 50014: Iowa State Press.
- Sellers, Holly S. K.-i. K. (2013). The Role of a Novel Astrovirus in Runting Stunting Syndrome. San Diego, Ca. AVMA.
- Skinner, J. I. (1991). Research note: Fumaric Acid enhances performance of broiler chickens. *Poultry Science*, 70:1444-1447.
- Starlinger, M. (1990). Role of Alkaline Secretion and Cell Restitution in Duodenal Mucosal Protection. *Journal of Internal Medicine*(1), 109-112.
- Sturky. (2000). *Avian Physiology*. (G. C. Whittow, Ed.) Elsevier.
- Svihus, B. (2014). Function of Digestive Sistem. *J. Appl. Poult. Res.*(23), 306-314.
- Tamim, N. M., Angel, R., y Christman, M. (2004). Influence of Dietary Calcium and Phytase on Phytate Phosphorus hydrolysis in broiler chickens. *Poultry Science*(83), 1358-1367.
- Teirlynck, E., Gussem, M., Dewlf, J., Haesebrouck, F., Ducatelle, R. y Immerseel, V. (2011). Morphometric Evaluation of "Dysbateriosis" in Broilers. *Avian Pathology*, 2(40), 139-144.


- Thompson, K. y Applegate, T. J. (2006). Feed withdrawals alters small-intestinal morphology and mucus of broilers. *Poultry Science*, 85:1535-1540.
- Thompson, J.Z. (1995), Studies on the antibacterial activity of formic and propionic acids. Tesis de Doctorado, University of Bristol, United Kingdom.
- Uni, Z. (2006). Early Development of Small Intestinal Functions. En G. C. Perry (Ed.), *Avian Gut Function in Health and Disease* (págs. 31-42). Cambridge. MA: CABI.
- Videnzka, P., Faldynova, M., Juricova, H., Babak, V., Sisak, F., Havlickova, H., y Rychlik, I. (2013). Chicken Faecal Microbiota and Disturbances Induced by Single or Repeated Therapy with Tetracycline and Streptomycin. *BMC Veterinary Research*, 9(30), 1-9. Recuperado el 2014, de <http://www.biomedcentral.com/1746-6148/9/30>
- Walk, C., Bedford, M. y McElroy, A. (2012). Influence of Limestone and Phytase on Broiler Performance, Gastrointestinal pH and Apparent Ileal nutrient Digestibility. *Poultry Science*(91), 1371-1378.
- Yamauchi, K. (2007). Review of a Histological Intestinal Approach to Assessing the Intestinal Function in Chickens and Pigs. *Anim. Sci.J.*(78), 356-370.
- Yegani, M. y Korver, D. R. (2008). Factors Affecting Intestinal Health in Poultry. *Poultry Science*(87), 2052-2063.
- Yeoman, C. J. (2012). The microbiome of the chicken gastrointestinal tract. *Animal Health Reviews*, 89-99.
- Zvi, B. (1973). The Kinetics of the Conversion of Chicken Pepsinogen to Chicken Pepsin. *Eur. J. Biochem.*(32), 547-554.

XI APENDICE

Especificaciones de Acidomix® AFL

- Color Incoloro - amarillento.
- Estructura Líquida.
- Olor Ligeramente aromático.
- Sustancias activas Ácido fórmico 50.0%
- Ácido propiónico 24.0%
- Amonio aprox. 8.2%
- Contenido de agua aprox. 17%
- Densidad (20° C) aprox. 1.10 g/cm3
- pH (100 g/l H2O) aprox. 4:

hoja de datos / data sheet



Reg. SAGARPA A-7083-038

Generalidades

ACIDOMIX® AFG es un agente antimicrobiano basado en ácidos orgánicos que efectivamente interrumpe el desarrollo de bacterias Gram-negativas. Categóricamente, los ácidos orgánicos optimizan la presencia de una flora intestinal sana. Por reducción de los niveles de contaminación bacteriana.

ACIDOMIX® AFG permite a las especies acuáticas efectivamente desperdiciar menos energía, lo cual resulta en óptimas tasas de conversión.

- Fácil aplicación para premezclas y alimentos completos.
- Probado como apoyo de un ambiente intestinal sano.
- Reducción del riesgo de proliferación de patógenos.

Descripción del Producto

ACIDOMIX® AFG es un conservador y acidificante en premezcla siendo una combinación exclusiva de Novus en su línea GEM (Gut Environmental Modifiers, Modificadores del Ambiente Intestinal) diseñado para mantener la calidad del alimento y optimizar de forma eficiente el aprovechamiento de los nutrientes, lo cual resulta en un efectivo desempeño nutricional.

ACUACULTURA

Instrucciones de Uso en Alimentación:

- Aplicable para todas las especies acuáticas.
- Fácilmente aplicable a premezclas y alimentos finales.
- Planta de Alimentos: 2-6 kg por tonelada de alimento completo. La dosis de aplicación puede ser ajustada de acuerdo a la recomendación de un nutriólogo calificado. La dosis de inclusión puede llegar hasta los 10 Kg/ton en periodos de alta carga bacteriana.
- Uso en Granjas: Mezclar 5-10 g de ACIDOMIX® AFG con 150-200 cm³ de agua limpia, suficiente para 1 Kg de alimento. Asperjar la solución sobre la superficie completa del alimento y mezclar completamente. La forma diluida deberá ser utilizada dentro de los 30 minutos posteriores al mezclado, y solamente en países en los cuales la aplicación en las granjas esta autorizado.

CERDOS

• Alimentación de Lechones	0.5 a 1% ¹
• Cerdo en Crecimiento	0.4 a 0.8% ¹
• Cerdas	1% ¹

AVES

• Alimento para Aves	0.4 a 0.6% ¹
----------------------	-------------------------

Características del producto


Apariencia:	Polvo micro-granulado color blanco.
Empaque:	Sacos con 25 Kg.
Vida de Anaquel:	12 meses desde su fecha de manufactura y cuando es almacenado como se indica.

Valores Nutricionales

Por análisis:	
• Acidez Total	44%

Para más información sobre Soluciones **NOVUS** comuníquese con su representante o bien a:

NOVUS INTERNATIONAL de México, S.A. de C.V.
Servicio a Clientes
SIN COSTO:
01.800.503.9004



SOLUTIONS SERVICE SUSTAINABILITY™