

Potencial del forraje verde hidropónico de maíz como suplemento alimenticio durante la fase de engorde en pollos

David Leonardo Joya Sánchez, Jeisson Emilio Joya Joya

Trabajo de Grado para Optar el Título de Zootecnista

Director

José Eduardo Acevedo Espinel  
Médico Veterinario y Zootecnista

Codirectora

Gerly Damary Niño Guerrero  
Especialista en Producción Animal

Universidad Industrial de Santander  
Instituto de Proyección Regional de y Educación a Distancia IPRED  
Programa de Zootecnia  
Bucaramanga  
2023

### Dedicatoria

Esta tesis junto con toda mi carrera profesional va dedicada a la mujer más admirable e inteligente que habitó la Codillera de los Andes **“Blanca Sánchez”** quien es mi hermosa madre, una mujer campesina, luchadora y llena de alegría, ejemplo claro de la mujer Santandereana.

Con estas palabras evocó el dicho: **“lo efímero de un momento, siempre se hace eterno en la memoria”** porque ahora ella existe en la memoria y los recuerdos de todos los que la recordamos con amor. Tener un título profesional, se ha convertido en un logro muy común en la actualidad, sin embargo, para una madre rural de siete hijos, este era su mayor sueño. Es por eso que hoy con orgullo, miro a la inmensidad del cielo y repito muchas veces: **“lo hice madre, tu hijo consentido es un profesional”**.

Las palabras sobran y los sentimientos abundan, mientras escribo estas palabras. Madre querida nuestra relación no ha cambiado, te sigo pensando y hablando todos los días, así que no tengo la necesidad de contarte el camino que he tenido que atravesar para llegar hasta aquí, sin embargo plasmo eso de lo que todos los días te platico, gracias. **“Gracias”**... por creer, por consentir a tu hijo querido todos tus días en esta tierra y por seguir cuidando mis pasos incluso en la distancia. Siempre estarás presente en mi vida y como dijo Victor Frankl en su obra maestra **“El amor trasciende la persona física del ser amado y encuentra su significado más profundo en su propio espíritu, en su yo íntimo, que aunque este o no presente y aún siquiera continúe viviendo deja de algún modo su importancia”**

**“Con amor para mi madre, David”**

### **Agradecimientos**

A Dios nuestro creador, por permitirnos alcanzar el conocimiento necesario para desarrollar las habilidades prácticas de nuestra vida y profesión.

Muy especialmente a nuestros padres *Nelson Joya Joya, José Arsenio Joya Esteban, Gloria Inés Joya Correa y Blanca Aurelia Sánchez Rivera* por permitirnos venir a este mundo y educarnos con bases sólidas, por el acompañamiento durante cada una de las etapas de nuestras vidas, por el sacrificio y la paciencia, por forjarnos como personas con valores y con un gran sentido de pertenecía.

A nuestros familiares más cercanos por el apoyo incondicional.

A cada uno de los profesores de la carrera, a nuestros directores de tesis *José Eduardo Acevedo Espinel y Gerly Damary Niño Guerrero*, infinitas gracias por aportar su granito de arena, para que pudiéramos alcanzar la sabiduría y culminar este camino de aprendizaje, que es el comienzo de innumerables éxitos en la travesía de ser profesionales.

Al profesor *Leonardo Avendaño Vásquez y Dalexy Viviany Montoya Joya*, por su acompañamiento y apoyo durante la realización de esta tesis.

A nuestros compañeros de estudio y amigos por el acompañamiento, apoyo y las vivencias compartidas.

A la Universidad Industrial de Santander por ser el alma máter que nos acogió como estudiantes y que hoy nos despide como profesionales íntegros, para aportar a la sociedad y aplicar nuestro conocimiento de Zootecnistas.

***“Con Amor y Gratitud Jeisson y David”***

**Tabla de contenido**

Introducción .....	10
1. Objetivos... ..	12
1.1 Objetivo general.....	12
1.2 Objetivos específicos .....	12
2. Marco teórico .....	13
2.1 Generalidades de la hidroponía, el forraje y la germinación de las semillas de maíz .....	13
2.2 Características generales del maíz (zea mays).....	13
2.3 Forraje verde hidropónico de maíz .....	14
2.3.1 Definición del forraje verde hidropónico.....	14
2.3.2 Composición nutricional del forraje verde hidropónico de maíz.....	14
2.3.3 Ventajas del sistema hidropónico de maíz.....	15
2.3.4 Condiciones ambientales para el establecimiento del sistema verde hidropónico de maíz. 16	
2.3.5 Efectos del forraje verde hidropónico de maíz en pollos de engorde .....	16
2.3.6 Producción del forraje verde hidropónico de maíz .....	18
2.4 Harina hidropónica de maíz .....	19
2.4.1 Características de la harina hidropónica de maíz.....	19
2.4.2 Composición proximal de la harina de maíz.....	19
2.4.3 Efecto de la suplementación con harina hidropónica de maíz en pollos de engorde.....	21
3. Metodología .....	21
3.1 Localización.....	22
3.2 Alistamiento del galpón y fase previa a la experimental .....	22
3.3 Fase experimental .....	23

3.3.1 Manejo de los animales.....	23
3.3.2 Sistema integrado de la producción de harina hidropónica de maíz.....	23
3.3.3 Producción del forraje verde hidropónico de maíz .....	23
3.3.4 Obtención de la harina hidropónica de maíz.....	24
3.3.5 Fase de alimentación y tratamientos .....	25
3.3.6 Concentrado comercial .....	25
3.4.1 Valor nutricional de la harina hidropónica de maíz.....	26
3.4.2 Parámetros productivos.....	26
3.4.3 Curvas de crecimiento.....	27
3.5 Análisis estadístico.....	27
4. Resultados .....	28
4.1 Temperatura y humedad relativa .....	28
4.2 Valor nutricional de la harina hidropónica de maíz.....	29
6. Conclusiones .....	35
7. Recomendaciones .....	36
Referencias bibliográficas.....	37

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Composición nutricional del forraje verde hidropónico de maíz (zea mays) .....	15
Tabla 2. Composición nutricional de la harina de maíz (zea mays) (g/kg ms).....	20
Tabla 3. Composición nutricional del concentrado comercial.....	25
Tabla 4. Composición nutricional de la harina hidropónica de maíz (zea mays) .....	29
Tabla 5. Parámetros productivos evaluados durante la totalidad de la fase experimental .....	32

### Lista de Figuras

Figura 1. Elaboración del forraje verde hidropónico de maíz.....	18
Figura 2. Relación temperatura (°C) y humedad relativa (%).....	27
Figura 3. Estimación de la curva de crecimiento en la etapa de finalización (27-42 días).....	30

## Resumen

- Título:** Potencial de la harina de hidropónica de maíz como suplemento alimenticio durante la fase de finalización en pollos de engorde\*
- Autor:** David Leonardo Joya Sánchez  
Jeisson Emilio Joya Joya\*\*
- Palabras Clave:** Harina hidropónica de maíz, Forraje verde, Desempeño productivo, Pollos de engorde.

### Descripción:

El alimento representa el 70% de los costos de producción, siendo la soya y el maíz los principales piensos forrajeros empleados para la formulación de una dieta balanceada en un sistema de integral de alimentación, la harina hidropónica de maíz como suplemento alimenticio es una fuente bioactiva de proteína, energía, extracto etéreo, vitaminas del complejo B, carbohidratos, antioxidantes, flavonoides, polifenoles y aminoácidos sintéticos que en conjunto actúan para mejorar la palatabilidad, el valor nutricional, la digestibilidad del alimento y el desempeño productivo del ave. El presente estudio evaluó el potencial de inclusión de la harina hidropónica de maíz como suplemento alimenticio en la fase de finalización. Se emplearon 90 pollos de engorde machos de 27 días de edad, de la raza Ross 308, manejando la etapa de engorde (27-42 días). Las unidades experimentales fueron distribuidas aleatoriamente mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA), 3 réplicas/tratamiento, cada réplica correspondiente a 10 pollos, fueron establecidos 3 tratamientos (T<sub>0</sub>: Control, T<sub>1</sub>: inclusión del 10% de harina hidropónica de maíz y T<sub>2</sub>: inclusión del 30% de harina hidropónica de maíz). En el experimento se evaluó la composición proximal de la harina hidropónica de maíz, el peso corporal, la ganancia de peso acumulada, conversión alimenticia acumulada, eficiencia acumulada, eficiencia americana, índice de productividad, peso de la canal y el rendimiento en canal. Se evidenció que la harina hidropónica de maíz incluida al 30% mostró un efecto positivo al mejorar el peso corporal, la ganancia de peso acumulada y el rendimiento en canal ( $p < 0,05$ ), por su parte el 10% de inclusión de harina hidropónica de maíz mejoró el consumo de alimento ( $p < 0,05$ ) y para las demás variables no se presentaron diferencias estadísticamente significativas.

---

\*Trabajo de grado

\*\* Instituto de Proyección Regional y a Distancia IPRED. Programa de Zootecnia. Director: José Eduardo Acevedo Espinel Médico Veterinario Zootecnista. Codirector: Gerly Damary Niño Guerrero Especialista en Producción Animal

### Abstract

**Title:** Potential of hydroponic corn flour as a feed supplement during the finishing phase in broilers\*

**Author:** David Leonardo Joya Sánchez  
Jeisson Emilio Joya Joya\*\*

**Key Words:** Hydroponic corn flour, Green forage, Productive performance, Broilers.

### Description:

The feed represents 70% of production costs, being soybean and corn the main forage feed used for the formulation of a balanced diet in a comprehensive feeding system, hydroponic corn flour as a food supplement is a bioactive source of protein, energy, ether extract, B complex vitamins, carbohydrates, antioxidants, flavonoids, polyphenols and synthetic amino acids that together act to improve palatability, nutritional value, feed digestibility and the productive performance of the bird. The present study evaluated the potential for inclusion of hydroponic corn flour as a feed supplement in the finishing phase. They were 90 broilers of 27 day old male of the Ross 308 breed were used, managing the fattening stage (27-42 days). The experimental units were randomly distributed using a Completely Random Design (DCA), 3 replicates/treatment, each replicate corresponding to 10 chickens, 3 treatments were established (T<sub>0</sub>: Control, T<sub>1</sub>: inclusion of 10% hydroponic corn flour and T<sub>2</sub>: inclusion of 30% hydroponic corn flour). In the experiment, the proximal composition of hydroponic corn flour, body weight, accumulated weight gain, accumulated conversion, accumulated efficiency, American efficiency, productivity index, carcass weight and carcass yield were evaluated. It was evidenced that the hydroponic corn flour included at 30% showed a positive effect on improving body weight, accumulated weight gain and carcass yield ( $p < 0.05$ ), on the other hand, the 10% inclusion of flour corn hydroponics improved feed intake ( $p < 0.05$ ) and for the other variables there were no statistically significant differences.

---

\*Bachelor Thesis

\*\* Instituto de Proyección Regional y a Distancia IPRED. Programa de Zootecnia. Director: José Eduardo Acevedo Espinel Médico Veterinario Zootecnista. Codirector: Gerly Damary Niño Guerrero Especialista en Producción Animal

## Introducción

La creciente demanda de carne de pollo como una proteína animal de alto valor biológico para suplir las necesidades de los consumidores en el mundo es un desafío, conllevando a que los sistemas de producción avícola diseñen estrategias alternativas para mantener la sostenibilidad biológica, ambiental y económica, logrando así la síntesis de un alimento orgánico, completamente inocuo, rico en nutrientes, alcance de la canasta familiar y del productor agropecuario (Jemimah *et al.*, 2020).

En Colombia, la avicultura es una actividad indispensable para mantener la seguridad agroalimentaria, sin embargo, el mayor costo de producción es la alimentación que alcanza el 70% de la inversión total (Abdurofi *et al.*, 2017; Lassiter *et al.*, 2019), pero también es el factor más importante para alcanzar el máximo desempeño productivo del ave (Yadav y Jha, 2019). En contexto, el balanceo de raciones con base a los requerimientos nutricionales de la estirpe genera el uso intensivo de piensos forrajeros tales como la torta de soya y el maíz, materias primas convencionales de alta calidad, cuyos precios fluctúan, ya que son ingredientes que deben ser importados de China, Estados Unidos, Brasil, Argentina y la Unión Europea (Yadav y Jha, 2021). Por ende, la demanda en la disponibilidad de cereales y oleaginosas genera una tendencia negativa sobre los recursos alimenticios, haciendo que escaseen por la presión de consumo y la competencia adquisitiva a nivel de la industrial, animal y humano (Agida *et al.*, 2021).

Con el fin de optimizar el sistema integral de alimentación en las explotaciones avícolas en términos de sostenibilidad económica y ambiental, la frontera agrícola exige la implementación de estrategias que reemplacen total o parcialmente al maíz y a la soya (Verner *et al.*, 2021). La harina hidropónica de maíz como suplemento alimenticio es un método de solución, ya que es el

subproducto resultado del proceso deshidratación, molienda y tamizado del forraje verde hidropónico de maíz (Tambo *et al.*, 2019). En contexto, el forraje verde hidropónico es un modelo tecnológico poco tradicional de producción de biomasa verde a partir de la germinación viable de semillas de granos de cereal o leguminosas, que no emplea el suelo, ni fertilizantes químicos (Albert *et al.*, 2016), siendo una alternativa amigable con el medio ambiente al reducir la huella de carbono, reciclar el agua y los nutrientes también es un alimento inocuo altamente orgánico, succulento, palatable, digestible, rico en vitaminas liposolubles e hidrosolubles, minerales, enzimas, coenzimas, aminoácidos libres y caroteno (Bedoya *et al.*, 2021).

En el trópico una de las especies más cultivadas es el maíz (*Zea mays*) dado su alto rendimiento, fácil adaptabilidad y eficiente uso del agua ((Erenstein *et al.*, 2021; Peng *et al.*, 2020); sin embargo, es poca la literatura que se encuentra acerca del potencial de la suplementación de harina hidropónica de maíz y su efecto sobre los parámetros productivos del pollo de engorde, teniendo cuenta que los procesos de germinación y reducción del tamaño de la partícula interfieren en la inactivación de factores antinutricionales como el ácido fítico por la labor enzimática, también participan en la digestibilidad de la proteína y el catabolismo del almidón haciendo que el alimento aumente su valor nutritivo sin alterar las propiedades organolépticas (Sokrap *et al.*, 2012; Nkhata *et al.*, 2018; Tarasevičienė *et al.*, 2019; Niroula *et al.*, 2019; Choton *et al.*, 2020; Singha *et al.*, 2017).

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Evaluar la inclusión de la harina hidropónica de maíz (*Zea mays*) como suplemento alimenticio durante la fase de engorde en pollos.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Determinar la composición bromatológica de la harina hidropónica de maíz.

Evaluar el efecto del 10% y 30% de inclusión de harina hidropónica de maíz sobre la respuesta productiva de los pollos de engorde.

Estimar el crecimiento de los pollos de engorde mediante el modelo matemático Gompertz.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Generalidades de la hidroponía, el forraje y la germinación de las semillas de maíz

La palabra hidroponía se refiere al trabajo con agua (Grigas *et al.*, 2020), siendo el pasto considerado como una fuente bioactiva de proteína y energía, además de proporcionar ácidos grasos polinsaturados, tocoferoles, cotrienoles, diterpenos, vitamina E, antioxidantes y carotenoides que en conjunto mejoran la calidad de la canal de la carne de pollo (Almeida *et al.*, 2020).

Durante el proceso de la germinación de las semillas de maíz se potencializa la actividad de enzimas como la fitasa, reduciendo el contenido de ácido fítico (factor antinutricional), lo cual mejora la digestión y absorción del alimento, así como la biodisponibilidad de minerales (Sokrap *et al.*, 2012; Nkhata *et al.*, 2018) mediante este suceso también se acumulan compuestos funcionales tales como: polifenoles, flavonoides, antioxidantes, oligoelementos y vitaminas (Tarasevičienė *et al.*, 2019; Niroula *et al.*, 2019), además de contribuir con el catabolismo de proteínas a aminoácidos esenciales principalmente la lisina (Murthy *et al.*, 2020), en cuanto a los azúcares se estima la participación de las amilasas en la hidrólisis del almidón y su reducción a azúcares simples (glucosa, maltosa y sacarosa) aumentando la digestibilidad (Benincasa *et al.*, 2019).

### 2.2 Características generales del maíz (*Zea mays*)

El maíz (*Zea mays*) es una planta perteneciente a la familia de las poáceas (gramíneas), su aporte principal a la dieta es energético, ya que el grano de maíz es rico en carbohidratos estructurales principalmente el almidón (Amaral *et al.*, 2019), posee una tasa fotosintética alta propia del metabolismo C<sub>4</sub> y es el tercer cultivo más relevante después del trigo y el arroz,

caracterizado por ser una especie de alto rendimiento, fácil adaptabilidad y eficiente con el uso del agua (Erenstein *et al.*, 2021; Peng *et al.*, 2020), este cereal atesora una amplia gama de usos por su incorporación a la alimentación humana, animal o como materia prima para la generación de productos industriales y biocombustibles (Zhao *et al.*, 2021). Dentro de la calidad nutricional del maíz amarillo se encuentra materia seca 88,98%, cenizas 1,49%, proteína cruda 10,08%, extracto etéreo 4,40%, fibra detergente neutra 11,50%, fibra detergente ácida 3,58%, energía metabolizable 3320 kcal/kg (Mavasa *et al.*, 2022) además de contener compuestos bioactivos como carotenoides, fenoles y flavonoides (Hassan *et al.*, 2019).

## **2.3 Forraje Verde Hidropónico de Maíz**

### ***2.3.1 Definición del forraje verde hidropónico***

El forraje verde hidropónico es el cultivo de plantas en agua (con o sin emplear una solución nutritiva), que permite la germinación de granos de cereales o leguminosas en ausencia del componente edáfico (Telgote *et a.*, 2022), esta producción permite la síntesis de biomasa verde en épocas de sequía o de manera continua durante todo el año (Chirisdiana, 2018), se estima que por 1 kilogramo de semilla de maíz sembrada se obtienen 6 kg de forraje de maíz verde hidropónico (Lim *et al.*, 2021).

### ***2.3.2 Composición nutricional del forraje verde hidropónico de maíz***

Dentro de la calidad nutricional del forraje verde hidropónico de maíz aporta materia seca (en base seca) 86,60-90,93%, proteína cruda 9,78-19%, fibra cruda 5,40-25,10%, nutrientes digestibles totales 71,87-80,81% (Tera *et al.*, 2021) energía metabolizable de 3216 kcal/kg, su digestibilidad oscila del 83-90%, contiene caroteno 24,9 UI/kg, es una fuente significativa de vitaminas del complejo A (48 mg/kg), C (45 mg/kg) y E (26,3 UI/kg) también aglomera minerales como el calcio (0,104%), fósforo (0,48%), magnesio (0,145%), hierro (213 p.p.m), zinc (35 p.p.m)

y manganeso (310 p.p.m) (Zúñiga, 2019), cumpliendo lo exigido por la frontera agrícola, al obtenerse un alimento orgánico, inocuo, succulento, rico en nutrientes, antioxidantes y enzimas que aumentan el rendimiento productivo del pollo de engorde por sus propiedades funcionales (Suma *et al.*, 2020).

### 2.3.3 Ventajas del sistema hidropónico de maíz

Se encuentran las siguientes: el ahorro del agua, ya que el sustrato puede recircular libremente, haciendo que la planta absorba los nutrientes adecuados por medio de la raíz (evitando pérdidas por evaporación, infiltración o escorrentía) (Sapakov *et al.*, 2021), se estima que se requieren menos de 2 litros de agua para producir 1 kilogramo forraje y ahorra del 90-98% de agua en comparación con la producción convencional (Girma y Gebremariam, 2018), es amigable con el bolsillo del productor ya que el costo de producción es 10 veces menor que el espacio requerido en los cultivos tradicionales (Mauciere *et al.*, 2019), la síntesis de biomasa se da en un lapso de 10 a 14 días con un óptimo de 12 días para no afectar la calidad nutricional del forraje que alcanza una altura de 20 a 30 cm de altura (Hassen, 2022; Zeferino *et al.*, 2021).

**Tabla 1**

*Composición nutricional del forraje verde hidropónico de maíz (Zea mays)*

<b>Nutrientes</b>	<b>Raíces</b>	<b>Tallos</b>	<b>Hojas</b>	<b>Total</b>
Proteína Bruta (%)	12,2	27,2	35,3	16,0
Grasa (%)	5,7	4,6	3,8	5,4
Fibra Cruda (%)	10,3	26,3	21,5	12,9
Extracto Libre de Nitrógeno (%)	69,3	36,8	34,7	62,6
Ceniza (%)	2,6	5,2	4,8	3,0

Nutrientes Digestibles Totales (%)	84,1	61,3	76,3	80,1
------------------------------------	------	------	------	------

---

*Nota:* La tabla muestra el valor nutricional del forraje verde hidropónico de maíz. Adaptado de: Chavarría *et al.*, (2018). The hydroponic green fodder FVH corn as a nutritional and nutritional alternative for all farm animals. Journal Iberoamerican Bioeconomy and Climate Change, 4 (8), 1032-1039. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i8.6716>

#### ***2.3.4 Condiciones ambientales para el establecimiento del sistema verde hidropónico de maíz***

Para que el sistema hidropónico de maíz sea eficiente la semilla debe ser viable con un porcentaje de germinación del 80-90% para evitar pérdidas en el rendimiento, la temperatura óptima para estimular el crecimiento y la germinación es de 21 a 28°C (Adekeye *et al.*, 2020) (una disminución de la temperatura limita el crecimiento de las raíces, la absorción de agua, el intercambio de iones por deficiencia de elementos químicos, además de ralentizar la viscosidad disminuyendo el movimiento de agua radicular) (Maldonado *et al.*, 2013), el pH del riego debe estar en un rango de 5,5-6,5, la humedad relativa óptima es del 70-80%, rangos inferiores al 70% ocasionan la deshidratación del forraje verde hidropónico de maíz y valores superiores al 90% generan problemas fitosanitarios (Ghorbel *et al.*, 2022). En contexto, el éxito de la hidroponía depende de los factores tales como: calidad, variedad y viabilidad de la semilla, temperatura, intensidad lumínica, tiempo de cosecha, humedad, ventilación, suministro de nutrientes, tiempo de remojo, densidad de siembra, calidad del agua y la ausencia de fitopatógenos (Basak y Bhatia, 2022).

#### ***2.3.5 Efectos del forraje verde hidropónico de maíz en pollos de engorde***

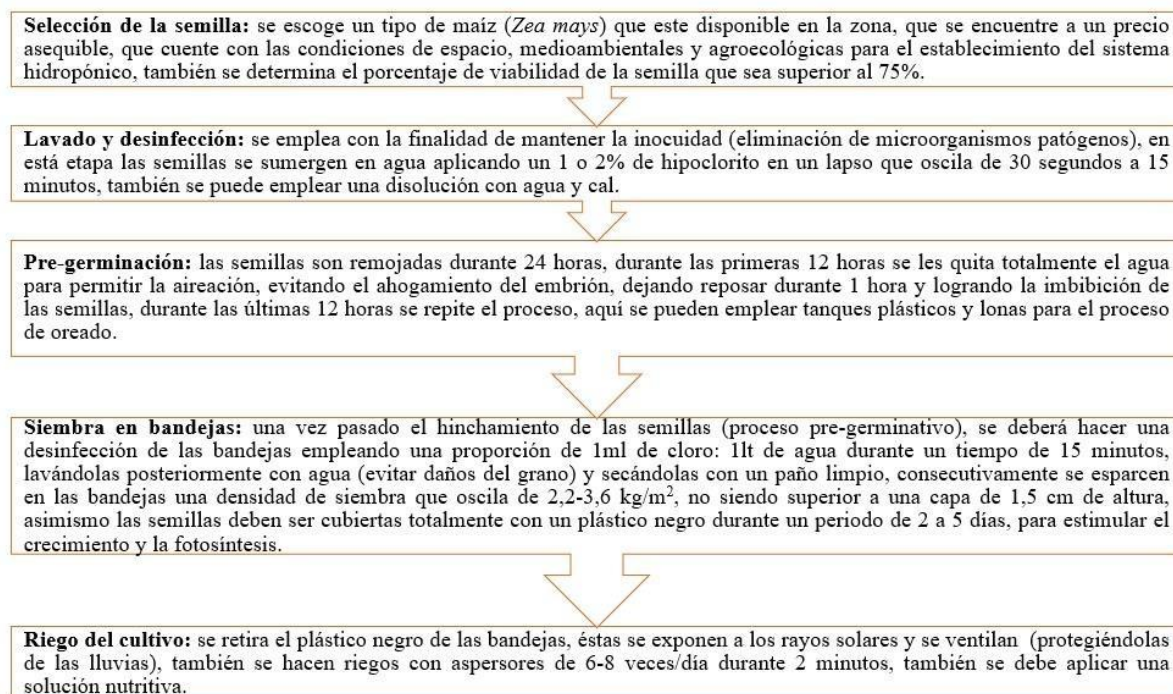
En el estudio denominado “Evaluación del forraje verde hidropónico como sustitución parcial de concentrado en pollos de engorde” se emplearon 60 unidades experimentales, divididas en 3 tratamientos experimentales con 20 pollos cada uno, en donde, (TI: 30% inclusión de F.V.H.M, TII: 40% inclusión de F.V.H.M y TIII: 50% de inclusión de F.V.H.M) no se encontró diferencias estadísticamente significativas, en cuanto a la conversión alimenticia  $T_I$  (1,24 a), seguido por TII (1,40 a) y finalmente por el TIII (1,64 a), en cuanto a la ganancia media diaria (kg) si se encontraron diferencias significativas siendo mejor el tratamiento TI (0,0494 a), seguido por el TII (0,0447 b) y finalmente TIII (0,0393 c), para el parámetro de la eficiencia económica ninguno de los tres tratamientos fue rentable (Pasquier y Davila, 2020).

En el trabajo investigativo denominado “Comportamiento productivo de pollos de engorde con la inclusión de diferentes niveles de forraje hidropónico de maíz en la alimentación” se realizó la aplicación de cuatro tratamientos experimentales, donde,  $T_0$ : 100% balanceados,  $T_1$ : nivel de inclusión del 10% F.V.H.M,  $T_2$ : nivel de inclusión del 20% F.V.H.M y  $T_3$ : nivel de inclusión del 30% F.V.H.M al hacer la evaluación de las variables productivas, se encontró que para el peso final (g) se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas siendo el mejor tratamiento el testigo (1984,1 a) seguido por el  $T_1$  (1835,7 b),  $T_2$  (1725,1 c) y  $T_3$  (1475,5 d), para la variable ganancia de peso (g) se observó la misma respuesta  $T_0$  (115,5 a),  $T_1$  (105,6 b),  $T_2$  (97,7 c) y  $T_3$  (79,7 d), para la conversión alimenticia se observó que el tratamiento testigo fue el mejor con respecto a los demás tratamientos experimentales (Quimi, 2021).

### 2.3.6 Producción del forraje verde hidropónico de maíz

#### Figura 1

##### Elaboración del forraje verde hidropónico de maíz



*Nota.* El gráfico representa los paso para la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*). Tomado de: Campo, F., y Villar, J. (2012). Organic alternative hydroponic green fodder for animal feed. *Journal Organic Agriculture*, 18 (3), 32-34.

[http://www.actaf.co.cu/revistas/revista\\_ao\\_95-2010/Rev%202012-](http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_ao_95-2010/Rev%202012-)

[3/09forrajeverdeAU.pdf?utm\\_content=buffer773c&utm\\_medium=social&utm\\_source=twitter.c](http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_ao_95-2010/Rev%202012-3/09forrajeverdeAU.pdf?utm_content=buffer773c&utm_medium=social&utm_source=twitter.c)

[om&utm\\_campaign=buffer](http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_ao_95-2010/Rev%202012-3/09forrajeverdeAU.pdf?utm_content=buffer773c&utm_medium=social&utm_source=twitter.c); Duarte, C y Borge, M. (2019). Evaluación de la inclusión de forraje verde hidropónico a base de maíz en pollos de engorde (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria, Camoapa, Nicaragua. <https://repositorio.una.edu.ni/4062/1/tnl02d812i.pdf>

<https://repositorio.una.edu.ni/4062/1/tnl02d812i.pdf>

## **2.4 Harina Hidropónica de Maíz**

### **2.4.1 Características de la harina hidropónica de maíz**

Es el subproducto sintetizado del secado, molienda y tamizado del forraje verde hidropónico de maíz (Tambo *et al.*, 2019). De acuerdo con Vázquez *et al.*, (2018) para el proceso de elaboración de una harina integral de maíz se deben tener en cuenta los siguientes pasos: a). Calcular la cantidad de maíz que se va a adquirir, b). Obtención de la materia prima en seco, c). Molido, ya sea con un molino mecánico o de martillo (para preservar parte del germen y la fibra) finalmente se realiza d). el tamizado preferiblemente con malla de 0,5 mm para lograr un tamaño de la partícula de 200-300  $\mu\text{m}$ , aunque dependiendo del grosor de la partícula clasifica a las harinas de maíz en tres categorías: harina gruesa (729-1190  $\mu\text{m}$ ), harina mediana (420-729  $\mu\text{m}$ ) y harina fina (212-420  $\mu\text{m}$ ) (Peña *et al.*, 2014).

En conclusión, la extrusión es el procesamiento mediante el cual se disminuye el tamaño de la partícula, por medio de reacciones fisicoquímicas (Pitts, 2014) al someterse a temperatura, presión y fuerzas mecánicas, las materias primas mejoran su funcionalidad, siendo capaz de desnaturalizar enzimas e inactivar factores antinutricionales aumentando la digestibilidad de la proteína y el almidón, sin afectar las propiedades organolépticas (Choton *et al.*, 2020; Singha *et al.*, 2017).

### **2.4.2 Composición proximal de la harina de maíz**

La harina de maíz de grano integral posee agua (10,4 g), energía (365 kcal) ,proteína bruta (6,9 g), extracto etéreo (3,9 g), carbohidrato (74,3 g), fibra (7,3 g), azúcares totales (0,6 g), tiamina (0,25 mg), riboflavina (0,08 mg), niacina (1,9 mg), ácido pantoténico (0,66 mg), vitamina B6 (0,37 mg), folato total (25  $\mu\text{g}$ ), colina (21,6 mg), calcio (7 mg), hierro (2,4 mg), magnesio (93 mg), fósforo (272 mg), potasio (315 mg), sodio (5 mg), zinc (1,7 mg), cobre (0,2 mg), manganeso (0,5

mg) y selenio (15,4  $\mu$ g) (Gwirtz y García, 2013). Por su parte Parsaei *et al.*, (2018) encontraron que la harina de maíz contiene una humedad (8,87 %), proteína (6,19 %), grasa (0,73 %), ceniza (0,58 %), fibra (2,82%) y un pH de 6,26.

**Tabla 2**

*Composición nutricional de la harina de maíz (Zea mays) (g/kg MS)*

Materia seca	902-905
Ceniza	21,9-25
Extracto etéreo	36,0-40,8
Proteína Cruda	97-113
Fibra Cruda	26
Fibra Detergente Neutra	233
Fibra Detergente Ácida	50
Almidón	500-662
Azúcar	27,9
Calcio (Ca)	1,8
Fósforo (P)	3,8
Lisina	2,98
Metionina	2,06
Treonina	3,65
Triptófano	0,75

*Nota:* En la tabla se muestra el valor nutricional de la harina de maíz (*Zea mays*) expresada en (g/kg MS). Adaptado de: El-Wahab *et al.*, (2021). Nutrient digestibility of a vegetarian diet with

or without the supplementation of feather meal and either corn meal fermented rye or rye and it is effect on fecal quality in dogs. *Journal Animals*, 11 (2), 1-12. <https://doi.org/10.3390/ani11020496> and Straub *et al.*, (2019). Experimental feeding studies with crickets and locusts on the use of feed mixtures composed of storable feed materials commonly used in livestock production. *Journal Animal Feed Science and Technology*, Vol. 255, p. 114215. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114215>

#### **2.4.3 Efecto de la suplementación con harina hidropónica de maíz en pollos de engorde**

En la tesis titulada “Parámetros productivos en pollos de engorde alimentados parcialmente con harina de maíz (*Zea mays* L.) hidropónica” donde se utilizaron 144 pollos de engorde (4 tratamientos experimentales, con 6 repeticiones cada uno), siendo los tratamientos experimentales T1: testigo, T2: inclusión del 20% de Hhm (Harina hidropónica de maíz), T3: inclusión del 15% HHM y T4: inclusión 10% HHM, se observó una mayor tasa de mortalidad en el tratamiento testigo (5 pollos), seguido por el tratamiento con inclusión del 10% HHM (2 pollos), consecutivamente por el tratamiento con inclusión del 15% HHM (1 pollo) y en el tratamiento con inclusión del 20% no se observó mortalidad; para la variable ganancia de peso el mejor tratamiento fue donde se adicionó el 15% HHM, seguidos por la adición del 10% y 20% HHM y finalmente por el testigo; en cuanto al consumo de alimento hubo variación de todos los tratamientos experimentales, en cuanto a la conversión alimenticia acumulada al día 42 el tratamiento testigo fue el mejor (1,88) los demás tratamientos se comportaron de forma similar T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> Y T<sub>4</sub> con valores respectivos de (2,18), (2,07) y (2,16) (Vélez, 2021).

### **3. Metodología**

### **3.1 Localización**

El proyecto se llevó a cabo en el Galpón Avícola de la Universidad Industrial de Santander, ubicado en la sede de Málaga. Este galpón se localiza a una altitud de 2229 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 18°C y humedad relativa promedio de 68%, el cual cuenta con coordenadas geográficas de latitud norte de 06°42'25.5'' y longitud oeste 72°43'39,9''.

### **3.2 Alistamiento del galpón y fase previa a la experimental**

El galpón contaba con un área de 33,6 m<sup>2</sup> (6 m de ancho x 5,6 m de largo) . Previo a la llegada de los pollos de engorde se realizó el alistamiento del galpón que constó con una desinfección de las paredes, el piso y los corrales empleando yodo al 10% que fue regado con una fumigadora, en cuanto a los equipos avícolas fueron desinfectados empleando una proporción de 120 ml de hipoclorito: 20 litros de agua, al piso que era de tierra se le esparció un bulto de cal y se realizó el flameado, previo a la llegada de las unidades experimentales se realizó un precalentamiento del galpón durante las primeras 24 horas, contando con una temperatura inicial fue de 13,7°C y la humedad inicial 87,2% y humedad relativa inicial , en la entrada se contó con un área de desinfección, a las camas se les colocó cartón, estivas y posteriormente se les esparció viruta, se manejó la burbuja (para controlar la humedad relativa y la temperatura del galpón), al momento del recibimiento se observó que los especímenes estuvieran en óptimas condiciones físicas y de salud.

Se emplearon criadoras continuas durante la primera semana de edad y se disminuyó las horas luz con el fin de mantener una temperatura constante en los corrales, al día 20 se retiraron. Las aves fueron alimentadas concentrado balanceado y agua a voluntad, al día 21 de edad se les suplemento con harina hidropónica de maíz como fase de acostumbramiento.

### **3.3 Fase Experimental**

#### ***3.3.1 Manejo de los animales***

Se utilizó 90 pollos de engorde machos de 27 días de edad, provenientes del municipio de Enciso (Santander) de la estirpe comercial Ross 308, las unidades experimentales pertenecían un mismo lote, siendo mantenidas bajo condiciones similares de manejo y ambientales. Para realizar la distribución aleatoria por tratamiento, las unidades experimentales fueron pesadas y distribuidas de acuerdo con el rango de peso, dejando de a 10 pollos por corral 1 m<sup>2</sup> (1mx1m), siendo cada corral una réplica experimental (30 aves por tratamiento con 3 réplicas cada uno), posteriormente se les suministro agua *ad libitum*. En cada corral se manejó un comedero tipo tolva y un bebedero manual hasta la culminación del experimento.

#### ***3.3.2 Sistema integrado de la producción de harina hidropónica de maíz***

El sistema estuvo integrado por un tanque plástico aéreo de almacenamiento de agua con capacidad volumétrica de 500 litros, 1 electrobomba de 1 pulgada con capacidad de distribución de agua a razón de 35 litros/minuto, conectada directamente a un temporizador digital que efectuaba los riegos mediante 16 aspersores, el sistema de recirculación fue elaborado con tubos PVC de ½ pulgada, uniones PVC y una llave de paso, para la estantería se contó con un mesón de cemento y dos plásticos negros de polietileno cuyas dimensiones fueron de (1,65 m ancho x 5,70 m largo), en cuanto al proceso de esterilización y recambio de agua se contó con bidón plástico azul con capacidad volumétrica de 120 litros. En cuanto a la síntesis de harina hidropónica de maíz se dispuso del invernadero presente en la Universidad Industrial de Santander, para el proceso de secado se contó con una malla plástica negra y una polisombra verde, para la molienda se dispuso de un molino mecánico y para el tamizado se contó con una cernidora manual.

#### ***3.3.3 Producción del forraje verde hidropónico de maíz***

Se adquirieron 80 kilogramos de maíz tipo nacional provenientes del municipio de Enciso (Santander), posteriormente se determinó la viabilidad de la semilla que fue del 82,3%, consecutivamente las semillas se sumergieron en un bidón plástico, haciendo una desinfección con una solución de hipoclorito de sodio y agua en proporción 2:1 (2 ml de hipoclorito de sodio: 1 lt de agua) durante 15 minutos, después de la esterilización se procedió al escurrimiento de la mezcla, en seguida las semillas se remojaron en agua durante 24 horas divididas en dos tiempos (11 horas de hidratación, escurrimiento y reposo durante 1 hora) y las 12 horas restante para la repetición del proceso de recambio, posteriormente las semillas fueron pesadas alcanzando un valor de 106,54 kg, posteriormente las semillas fueron esparcidas en plástico negro con dimensiones (1,65 m ancho x 5,70 m largo) a razón de un espesor de 1,5 cm de altura, en seguida se cubrieron con plástico negro de polietileno con las mismas dimensiones durante 6 días (iniciación del brote de la semilla), posteriormente se les retiro la cubierta y se dejaron expuestas para facilitar el proceso de ventilación e iluminación continua, también se manejó 6 riegos/día (7:00 am, 9:00 am, 11:00 am, 1:00 pm, 3:00 pm y a las 5:00 pm) cada riego tuvo una duración de 5 minutos y se efectuaba cada 2 horas, al día 10 se siguió manejando los 6 riegos/día, en donde cada riego tuvo una duración de 3 minutos durante 2 horas, la cosecha fue de 17 días, finalmente se pesó el forraje verde hidropónico alcanzando un valor de 242,40 kg.

#### ***3.3.4 Obtención de la harina hidropónica de maíz***

El forraje verde hidropónico de maíz obtenido fue trasladado al invernadero de la Universidad Industrial de Santander, una vez allí éste fue esparcido malla plástica negra dispuesta encima de una polisombra verde y dejado durante 10 días (tiempo en que se dio la deshidratación), posteriormente se realizó la molienda de manera tradicional, para ello se contó con un molino

mecánico y se tamizó en una cernidora manual, la harina hidropónica obtenida fue pesada y empacada en lonas de costal.

### ***3.3.5 Fase de alimentación y tratamientos***

El experimento tuvo una duración de 15 días, el suministro de alimento se proporcionó en una etapa (Engorde: 27-42 días) de acuerdo con la Tabla de Alimentación (Italcol, 2020). Se contó con tres tratamientos T<sub>0</sub>: Control (concentrado comercial), T<sub>1</sub>: concentrado balanceado+inclusión del 10% de harina hidropónica de maíz y T<sub>2</sub>: concentrado balanceado+inclusión del 30% de harina hidropónica de maíz en la dieta (3 réplicas/tratamiento). Para el tratamiento testigo fue 100% concentrado comercial de Italcol Línea Dorada, para los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> se realizó una dieta balanceada a base de materias primas alternativas con inclusión del 10% y 30% de harina hidropónica de maíz.

### ***3.3.6 Concentrado comercial***

En la Tabla. 3 se muestra la composición proximal del concentrado comercial de Italcol empleado para el tratamiento testigo de la fase experimental.

#### **Tabla 3**

##### *Composición nutricional del concentrado comercial*

---

Proteína (%)	19,0
Grasa (%)	2,5
Humedad	
(%)	13,0
Fibra (%)	5,0
Ceniza (%)	8,0

---

### **3.4 Variables evaluadas**

#### ***3.4.1 Valor nutricional de la Harina Hidropónica de Maíz***

En una bolsa plástica herméticamente cerrada se enviaron 500 gramos de harina hidropónica de maíz, para su evaluación de acuerdo con los protocolos descritos por la AOAC (2011) en el Laboratorio Enzipan con número de registro ICA LB0000572022, ubicado en la ciudad de Bogotá.

#### ***3.4.2 Parámetros productivos***

Las aves fueron pesadas con una balanza electrónica previamente calibrada con exactitud de 0,01 g durante los días 27, 32, 37 y 42, para la determinación de variables se emplearon las siguientes fórmulas GP (Ganancia de Peso) (gms)= (Pf-Pi)/t, donde Pf: es el peso final, Pi: peso inicial y t: tiempo que dura la etapa de engorde, esta variable fue medida con una periodicidad de 5 días y expresada como promedio acumulado.

Para hallar el consumo diario de alimento (gramos/día), se calculó por la diferencia entre la cantidad de alimento suministrado diariamente y el desperdicio, siendo expresado como consumo acumulado al finalizar la fase de engorde.

La conversión alimenticia (g/g) se obtuvo dividiendo la cantidad de alimento consumido sobre el peso corporal ganado y se expresó como promedio acumulado.

La eficiencia alimenticia (g/g) se calculó dividiendo el peso corporal ganado sobre la cantidad de alimento consumido y se expresó como promedio acumulado.

El índice de productividad se determinó al finalizar el período de evaluación dividiendo la eficiencia alimenticia sobre la conversión alimenticia.

La eficiencia americana (%) se logró multiplicando el peso corporal ganado por 100 dividido en la conversión alimenticia promedio acumulada.

Al día 42 se tomaron 3 aves al azar/tratamiento, a las cuales se le midió y registro el peso corporal, posteriormente fueron sacrificadas mediante sangría yugular a nivel del paladar, pasando por un escaldado de 56°C, pelado y eviscerado manual y se determinó el **Rendimiento canal (%)** = (peso canal kg \*100) /peso vivo kg; y **Peso canal (kg)**= peso vivo (kg) – peso (kg) (piel + vísceras + manos + patas + cabeza).

### 3.4.3 Curvas de crecimiento

Se tomó los valores promedios de peso corporal obtenidos a los días 27,32, 37 y 42 de edad, se utilizó el programa Curve Expert, los datos fueron tabulados y analizados, para estimar el peso adulto (g), donde **a**, correspondió a la fase descendente **b** a la edad al punto de inflexión (días) **c**, posteriormente se recurrió a realizar la parametrización del modelo matemático de Gompertz por medio de la fórmula  $y=a*\exp(-\exp(-b*(x-c)))$ , donde Y es el peso del animal a un tiempo t,  $a > 0$  es el peso adulto, el parámetro  $c > 0$  describió el índice de madurez o la tasa específica de crecimiento, y el parámetro  $b > 0$  controló la diferencia entre el peso inicial y el peso final a un tiempo t, el punto de inflexión fue el punto en el tiempo donde  $y = a/\exp$ , este da un  $t = b/c$ , finalmente se graficó la curva de crecimiento.

### 3.5 Análisis estadístico

Con la finalidad de determinar el efecto de los diferentes tratamientos experimentales sobre las variables: ganancia de peso, consumo de alimento, conversión alimenticia, eficiencia alimenticia, eficiencia americana, índice de productividad, peso de la canal y rendimiento en canal. Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) cuya descripción es  $Y_{ij} = M + T_i + E_{ij}$ , dónde: M: Media poblacional T: Efecto del tratamiento, E: Error experimental, i: 3 tratamientos experimentales, j: 3 réplicas. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza ANOVA y se empleó el complemento de Excel del Modelo Lineal Generalizado (GLM), cuando se presentó

diferencias ( $p < 0,05$ ) se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan para la separación de medias.

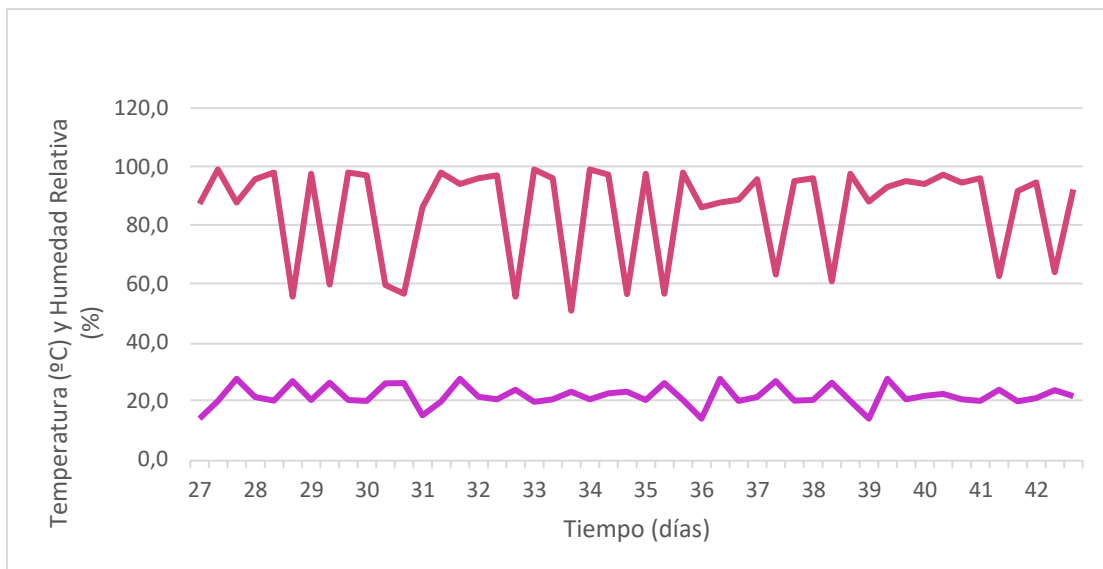
#### 4. Resultados

##### 4.1 Temperatura y humedad relativa.

Los valores de temperatura ambiental ( $^{\circ}\text{C}$ ) y humedad relativa (%) fueron registrados durante la totalidad del experimento (Figura 2). La temperatura promedio a las 7:00 am fue de  $19^{\circ}\text{C}$ , a las 12:00 pm fue de  $22,4^{\circ}\text{C}$  y a las 7:00 pm fue de  $23,6^{\circ}\text{C}$ ; en cuanto a la humedad relativa promedio a las 7:00 am fue de 94,1%, a las 12:00 pm fue de 81,7% y a las 7:00 pm fue de 80,5%. Durante los 15 días del experimento la temperatura y humedad relativa promedio registrada obtuvieron valores de  $21,6^{\circ}\text{C}$  y 85,4% respectivamente.

##### Figura 2

*Relación de la temperatura ambiental ( $^{\circ}\text{C}$ ) y la humedad relativa (%) tomada a las 7:00 am, 12:00 pm y 7:00 pm, durante los 15 días del experimento, correspondientes a la fase de engorde.*



*Nota:* En la Figura 2 se muestran los promedios de temperatura (°C) y humedad relativa (%) durante el período de finalización.

#### 4.2 Valor nutricional de la Harina Hidropónica de Maíz

En la Tabla 4 se apreció el valor nutricional de la harina hidropónica de maíz expresado (g/100 g) en base seca.

**Tabla 4**

*Composición nutricional de la harina hidropónica de maíz (Zea mays)*

<b>Composición nutricional</b>	<b>Valores</b>
Humedad (g/100g)	10,987
Proteína (g/100g)	10,991
Fibra Cruda (g/100g)	0,53
Grasa (g/100g)	5,28
Cenizas (g/100g)	7,74
Carbohidratos totales (g/100g)	65
Aporte Calórico (kcal/100 g)	351,48

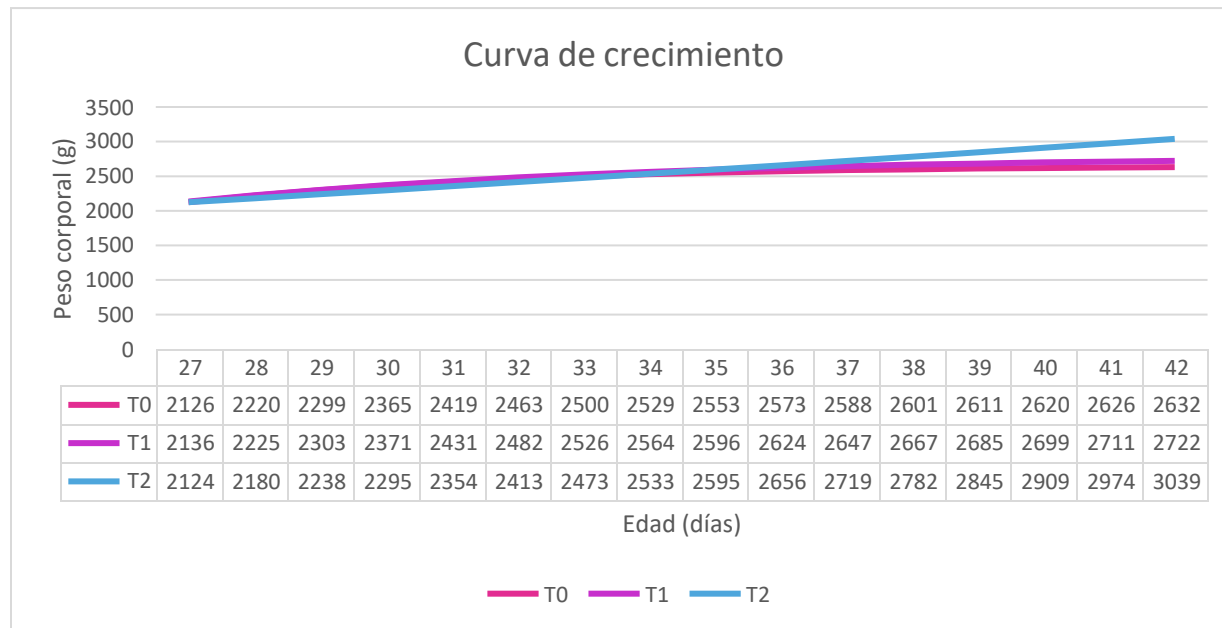
*Nota:* Composición proximal estimada en (g/100 g) en base seca.

#### 4.3 Curva de crecimiento

En la Figura 3 se observan las curvas de crecimiento estimadas mediante el modelo matemático de crecimiento Gompertz durante la fase de engorde. Se observó los mayores valores de peso corporal (g) para la inclusión del 30% de harina hidropónica de maíz que fue de (3039 g), seguido por el 10% de harina hidropónica de maíz (2722 g) y finalmente para el tratamiento control (2632 g).

**Figura 3**

*Estimación de las curvas de crecimiento a través del modelo matemático Gompertz durante el experimento.*



*Nota:* Estimación de la curva de crecimiento en la etapa de finalización (27-42 días).

### 4.3 Parámetros Productivos

En la Tabla 5 se aprecia el desempeño productivo del pollo de engorde evaluado durante el experimento, obteniendo los siguientes resultados.

- **Peso inicial (g)**

Al evaluar el peso inicial al inicio del experimento no se presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos experimentales.

- **Consumo de alimento (g/periodo)**

Se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre todos los tratamientos experimentales, el mejor consumo se alcanzó al incluir el 10% de harina hidropónica de maíz (2896,00 a), seguido por el tratamiento control (3116,00 b) y finalmente por el tratamiento con inclusión del 30% de harina hidropónica de maíz (3330,67).

- **Peso final (g/periodo)**

Al evaluar el peso final a la sexta semana, se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), en donde, el tratamiento con inclusión del 30% de harina de maíz hidropónica fue estadísticamente el mejor (3058,67 a), seguido por el tratamiento con inclusión del 10% de harina de maíz hidropónica el cual obtuvo un valor intermedio (2728,00 ab) y finalmente por el tratamiento control quien alcanzo el valor más bajo (2631,67 b).

- **Conversión alimenticia, eficiencia alimenticia, eficiencia americana (%), índice de productividad y peso en canal (g)**

Al evaluar los variables productivas de conversión alimenticia, eficiencia alimenticia, eficiencia americana (%), índice de productividad y peso en canal (g) a la sexta semana, todos los tratamientos experimentales se comportaron de manera estadísticamente igual ( $p < 0,05$ )

- **Ganancia acumulada (g/periodo)**

Se observó diferencias estadísticamente significativas, comportándose mejor el tratamiento con inclusión del 30% de harina (2916,67 a), seguido de los tratamientos con inclusión del 10% de harina hidropónica de maíz y el tratamiento control que mostraron un comportamiento estadísticamente igual con valores respectivos de (2585,67 b) y (2490,00 b)

- **Rendimiento Canal (%)**

Con respecto al rendimiento en canal (%) se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) el tratamiento con inclusión del 30% de harina hidropónica fue el mejor obteniendo un valor de (95,46 a), los tratamientos control y con inclusión del 10% de harina hidropónica de maíz se comportaron de manera estadísticamente igual obteniéndose valores respectivos de (78,23 b) y (80,63 b).

**Tabla 5**

*Parámetros productivos evaluados durante la totalidad de la fase experimental*

Parámetros productivos	Tratamientos experimentales			
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	C.V
Peso inicial (gramos)	2127,33 a	2134,00 a	2134,67 a	0,94
Consumo alimento (g/periodo)	3116,00 b	2896,00 a	3330,67 c	2,9
Peso final (g/periodo)	2631,67 b	2728,00 ab	3058,67 a	4,79
Conversión alimenticia	1,19 a	1,06 a	1,09 a	7,14
Eficiencia alimenticia	0,84 a	0,94 a	0,92 a	6,78
Eficiencia americana (%)	222,9 a	257,16 a	281,73 a	10,85
Índice de productividad	71,66 a	88,83 a	84,92 a	12,54
Ganancia de peso	2490,00 b	2585,67 b	2916,67 a	5,07

acumulada

(g/periodo)

Peso canal (g)	3371,67 a	3387,00 a	3206,67 a	3,87
Rendimiento canal (%)	78,23 b	80,63 b	95,46 a	7,02

C.V: Coeficiente de Variación

T0: Control

T1: inclusión 10% harina hidropónica de maíz

T2: inclusión 30% harina hidropónica maíz

*Nota:* Medias seguidas por letras diferentes son estadísticamente diferentes ( $p < 0,05$ ), prueba de rangos múltiples de Duncan

En la Tabla 5 se mostró los parámetros productivos evaluados durante el periodo de finalización.

## 5. Discusión

En cuanto al valor nutricional de la harina hidropónica de maíz obtenida en este estudio mostró mejores resultados en comparación con la harina de maíz tradicional, puesto que de acuerdo con Adeloje *et al.*, (2020) la composición proximal tuvo valores de 6,89 % humedad, proteína cruda 6,75%, grasa cruda 11,46%, cenizas totales (1,76%), fibra bruta (2,96%) y carbohidrato (70,19%) en gramos por cada 100 g/peso seco, las únicas diferencias marcadas se obtuvieron en la cantidad de fibra que fue mucho menor (0,53%), dato que no es relevante, que Loy y Lundy (2019) afirman que el grano de maíz es bajo en fibra y proteína; siendo rico en almidón y de mayor aprovechamiento cuando se da el procesamiento a harina, porque mejora el valor nutricional, la aceptabilidad del alimento y desempeño productivo del ave.

La variable consumo de alimento presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) obteniéndose el mejor valor al incluir el 10% de harina hidropónica de maíz, seguido por el tratamiento control y finalmente por la inclusión del 30% de harina hidropónica de maíz, si bien es cierto durante la totalidad del experimento hubo variación de la temperatura y la humedad relativa alcanzándose promedios de 19°C-23,6°C (temperatura) y 80,5%-90,1% (humedad relativa), lo cual pudo haber ocasionado estrés calórico, ya que al aumentar la temperatura se disminuye el consumo de alimento y viceversa, porque el ave carece de glándulas sudoríparas para efectuar el proceso de termorregulación (Liao *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2022) otros autores citan que el aumento de la temperatura y no la humedad relativa afectan la fisiología y el rendimiento del ave (Kim *et al.*, 2020).

En base al crecimiento, la influencia de agregar diferentes niveles de harina hidropónica en la dieta de los pollos de engorde a la sexta semana tuvo un comportamiento positivo y

estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ), esto pudo ser aludido a que la harina hidropónica de maíz contiene compuestos bioactivos que aumentan la calidad nutricional del alimento (Benincasa *et al.*, 2019) también a que durante los procesos de germinación y extrusión se degradan factores antinutricionales mejorando la biodisponibilidad de minerales, la digestibilidad del alimento y la absorción para el aprovechamiento de nutrimentos (Ikram *et al.*, 2021) así mismo otros autores sugieren que durante los procesos de molienda y tamizado se obtenga un tamaño de la partícula mayor a 540  $\mu\text{m}$ , lo cual se logra empleando un molino de martillo y un tamiz de 9 mm con la finalidad de mejorar el rendimiento expresado en el peso final del ave (Vukmirović *et al.*, 2017; Melo *et al.*, 2020) así mismo lo sugieren Pololnsky y Sumina (2021) quienes determinaron que tamaños más gruesos de la partícula, se asocian a un estómago más grande, lo cual mejora la motilidad y la colonización de microbiota a nivel gastrointestinal, logrando una mayor eficiencia de alimentación reflejado en el peso final y la ganancia de peso acumulada.

Para los parámetros productivos de conversión alimenticia, eficiencia alimenticia, eficiencia americana (%) , índice de productividad y peso canal (g) no se presentó diferencias estadísticamente significativas.

## 6. Conclusiones

La inclusión de harina hidropónica de maíz en un 30% influyó significativamente en el crecimiento del ave expresado mediante el peso corporal en la sexta semana, también se vio un efecto positivo para las variables productivas de ganancia de peso acumulada y rendimiento en canal.

Para la inclusión del 10% de harina hidropónica de maíz se evidenció el mejor valor para el parámetro productivo consumo de alimento y para el peso final al día 42 manifestando una cuantificación intermedia entre el tratamiento control y el tratamiento con adición del 30% de harina hidropónica de maíz.

La harina hidropónica de maíz siendo un subproducto alimenticio derivado del forraje hidropónico de maíz mostró valores aptos en comparación a estudios investigativos realizados en otros países, postulándose como una alternativa viable para su uso en cualquier producción animal.

## **7. Recomendaciones**

Sería importante realizar un estudio utilizando harina hidropónica de maíz con diferentes tamaños de la partícula, determinando el efecto sobre la microbiota intestinal, la biodisponibilidad de los nutrimentos, la composición proximal y la digestibilidad del alimento.

Se sugiere realizar un estudio en el que se evalúe la inclusión de forraje verde hidropónico de maíz sobre el desempeño productivo del ave, la integridad del sistema digestivo, la disminución de emisiones de gases efecto invernadero y la eficiencia en el uso del agua.

### Referencias bibliográficas

- Abdurofi, I., I-smail, M., Kamal, H., y Gabdo, B. (2017). Economic analysis of broiler production in Peninsular Malaysia. *International Food Research Journal*, 24 (4), 1387-1392. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85028427505&origin=inward&txGid=78a626d84d9f87c71f6bb7b44f552b30>
- Adekeye, A., Onifade, O., Amole, G., Aderinboye, R., y Jolaoso, O. (2020). Water use efficiency and fodder yield of maize (*Zea mays*) and wheat (*Triticum aestivum*) under hydroponic condition as affected by sources of water and days to harvest. *African Journal of Agricultural Research*, 16 (6), 909–915. <https://doi.org/10.5897/ajar2019.14503>
- Adeloye, J., Osho, H., y Idris, L. (2020). Defatted coconut flour improved the bioactive components, dietary fibre antioxidant and sensory properties of nixtamalized maize flour. *Journal of Agriculture and Food Research*, Vol. 2, p. 100042. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100042>
- Almeida, J., Valentim, J., Faria, D., Noronha, C., Velarde, J., Mendes, J., Pietramale, R., y Ziemniczak, H. (2020). Bromatological composition and dry matter production of corn hydroponic fodder. *Journal of Animal Sciences*, Vol. 43, p. 48800. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v43i1.48800>
- Amaral, L., Ferreira, I., Santos, N., Oliveira, A., Fagundes, A., y Carvalho, M. (2019) Biscoito com especiarias e farinhas de milho e semente de abóbora: desenvolvimento e avaliação da qualidade. *Demetra Journal of Alimentação Nutrição Saúde*, Vol. 14, 1-17. <https://doi.org/10.12957/demetra.2019.33380>

- Agida, C., Onunkwo, D., Ezenyilimba, B., Afam, E., Ukonu, A., John, U., y Adje, C. (2021). Carcass traits organ proportion and bio economic cost benefits analysis of broiler chickens fed different dietary plant protein sources In sorghum based diet. *Journal of Research on World Agricultural Economy*, 2(3), 17-22. <https://doi.org/10.36956/rwae.v2i3.425>
- Albert, G., Alonso, N., Cabrera, A., Rojas, L., y Rosthoj, S. (2016). Productive evaluation of green fodder hydroponics corn, oats and wheat. *Journal Compendium of Veterinary Sciences*, 6 (1), 7–10. <https://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2016.06.01.7-10>
- Basak, S., y Bhatia, A. (2022). Approximate climate analysis for assessing the suitability of Indian climate zones for hydroponic fodder applications. *Journal of Earth and Environmental Science*, 1084 (1), p. 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1084/1/012012>
- Bedolla, M., Palacios, A., Palacios, O., Contreras, C., Espinoza, J., Ortega, R., y Guillen, A. (2021). Effect of hydroponic green forage supplemented with a probiotic on productive performance and nutritional quality of broilers. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25(1). <https://doi.org/10.56369/tsaes.3905>
- Benincasa, P., Falcinelli, B., Lutts, S., Stagnari, F., y Galieni, A. (2019). Sprouted grains a comprehensive review. *Journal Nutrients*, 11(2), 421. <https://doi.org/10.3390/nu11020421>
- Campo, F., y Villar, J. (2012). Organic alternative hydroponic green fodder for animal feed. *Journal Organic Agriculture*, 18 (3), 32-34. [http://www.actaf.co.cu/revistas/revista\\_ao\\_95-2010/Rev%202012-3/09forrajeverdeAU.pdf?utm\\_content=buffere773c&utm\\_medium=social&utm\\_source=twitter.com&utm\\_campaign=buffer](http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_ao_95-2010/Rev%202012-3/09forrajeverdeAU.pdf?utm_content=buffere773c&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer)

- Chavarría, A., Castillo, S., y Blanco, N (2018). The hydroponic green fodder FVH corn as a nutritional and nutritional alternative for all farm animals. *Journal Iberoamerican Bioeconomy and Climate Change*, 4 (8), 1032-1039. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i8.6716>
- Choton, S., Gupta, N., Bandral, J. D., Anjum, N., y Choudary, A. (2020). Extrusion technology and its application in food processing a review. *Journal of The Pharma Innovation*, 9 (2), 162–168. <https://doi.org/10.22271/tpi.2020.v9.i2d.4367>
- Chrisdiana, R. (2018). Quality and quantity of sorghum hydroponic fodder from different varieties and harvest time: *Journal Earth and Environmental Science*, Vol. 119, p. 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/119/1/012014>
- Duarte, C y Borge, M. (2019). Evaluación de la inclusión de forraje verde hidropónico a base de maíz en pollos de engorde (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria, Camoapa, Nicaragua. <https://repositorio.una.edu.ni/4062/1/tnl02d812i.pdf>
- El-Wahab, A., Wilke, V., Grone, R., Visscher, C. (2021). Nutrient digestibility of a vegetarian diet with or without the supplementation of feather meal and either corn meal fermented rye or rye and it is effect on fecal quality in dogs. *Journal Animals*, 11 (2), 1-12. <https://doi.org/10.3390/ani11020496>
- Erenstein, O., Chamberlin, J., y Sonder, K. (2021). Estimating the global number and distribution of maize and wheat farms. *Journal of Global Food Security*, Vol. 30, p.100558. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100558>
- Girma, F., y Gebremariam, B. (2018). Review on Hydroponic Feed Value to Livestock Production. *Journal of Scientific and Innovative Research*, 7 (4), 106–109. <https://doi.org/10.31254/jsir.2018.7405>

- Ghorbel, R., Chakchak, J., Koşum, N., y Cetin, N. S. (2022). Hydroponic Technology for Green Fodder Production. <https://doi.org/10.52460/issc.2022.010>
- Grigas, A., Kemzūraitė, A., y Steponavičius, D. (2020). Hydroponic devices for green fodder production: a review. *Journal of Research and Innovation for Bioeconomy*, Vol. 1, 21–27. <https://doi.org/10.15544/rd.2019.003>
- Gwirtz, J., y García, M. (2013). Processing maize flour and corn meal food products. *Journal Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 66–75. <https://doi.org/10.1111/nyas.12299>
- Hassan, A., Von, D., y Ahmed, I. (2019). Effect of radio frequency heat treatment on protein profile and functional properties of maize grain. *Food Chemistry Journal*, Vol. 271, 142–147. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.190>
- Hassen, A. (2022). Contribution of Hydroponic Feed for Livestock Production and Productivity. *Journal Science Frontiers*, 3 (1), 1-7. [https://www.researchgate.net/profile/Abdi-Hassen-2/publication/361532255\\_Contribution\\_of\\_Hydroponic\\_Feed\\_for\\_Livestock\\_Production\\_and\\_Productivity/links/62b71b466ec05339cca27f55/Contribution-of-Hydroponic-Feed-for-Livestock-Production-and-Productivity.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Abdi-Hassen-2/publication/361532255_Contribution_of_Hydroponic_Feed_for_Livestock_Production_and_Productivity/links/62b71b466ec05339cca27f55/Contribution-of-Hydroponic-Feed-for-Livestock-Production-and-Productivity.pdf)
- Ikram, A., Saeed, F., Afzaal, M., Imran, A., Niaz, B., Tufail, T., Hussain, M., y Anjum, F. (2021). Nutritional and enduse perspectives of sprouted grains a comprehensive review. *Journal of Food Science and Nutrition*, 9 (8), 4617–4628. Portico. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2408>
- Jemimah, R., Gnanaraj, T., y Sundaram, M. (2020). Productivity and water use efficiency and nutritional composition of yellow maize fodder under hydroponic condition. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9 (1), 243-246. Recuperado de

[https://www.researchgate.net/publication/342503892\\_Productivity\\_and\\_water\\_use\\_efficiency\\_and\\_nutritional\\_composition\\_of\\_yellow\\_maize\\_fodder\\_under\\_hydroponic\\_condition](https://www.researchgate.net/publication/342503892_Productivity_and_water_use_efficiency_and_nutritional_composition_of_yellow_maize_fodder_under_hydroponic_condition)

Kim, D., Lee, Y., Kim, S., y Lee, K. (2020). The impact of temperature and humidity on the performance and physiology of laying hens. *Journal Animals*, 11(1), p. 56.

<https://doi.org/10.3390/ani11010056>

Lassiter, K., Kong, B., Piekarski, A., Dridi, S., y Bottje, W. (2019). Gene expression essential for myostatin signaling and skeletal muscle development Is associated with divergent feed efficiency in pedigree male broilers. *Frontiers in Physiology Journal*, V. 10, 10-14.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00126>

Liao, X., Li, W., Zhu, Y., Zhang, L., Lu, L., Lin, X., y Luo, X. (2018). Effects of environmental temperature and dietary zinc on egg production performance egg quality and antioxidant status and expression of heat-shock proteins in tissues of broiler breeders. *British Journal of Nutrition*, 120 (1), 3–12. <https://doi.org/10.1017/s0007114518001368>

Lim, W. C., Mohd Nadzir, M. N. H., Hiew, M. W. H., Mamat, Md. S., Nazli, M. H., & Shohaimi, S. (2021). Potential of open air hydroponic system in producing highly nutritional composition maize fodder for goat farming. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 45 (1), 115–131. <https://doi.org/10.47836/pjtas.45.1.07>

Loy, D y Lundy, E. (2019). Nutritional properties and feeding value of corn and its coproducts. *Journal of Chemistry and Technology*, p. 633-659.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128119716000231>

- Maldonado, R., Álvarez, M., Acevedo, D., y Ríos, E. (2013). Nutrición mineral de Forraje Verde Hidropónico. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19 (2), 211-213. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60927902007>
- Mavasa, N., Ng'ambi, J y Chitura, T. (2022). Partial replacement of maize meal with high-tannin sorghum meal affects finishing and methane emissions of Pedi goats. *South African Journal of Animal Science*, 52 (1), 8-16. doi: <https://doi.org/10.4314/sajas.v52i1.2>
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Os, E., Anseeuw, D., Havermaet, R., Junge, R. (2019). Hydroponic Technologies. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_4)
- Melo, D., Pérez, J., González, G., Sala, R., Villagómez, S., Bedford, M., Graham, H., y Solà, D. (2020). Influence of particle size and xylanase in corn-soybean pelleted diets on performance nutrient utilization microbiota and short chain fatty acid production in young broilers. *Journal Animals*, 10 (10), p. 1904. <https://doi.org/10.3390/ani10101904>
- Murthy, K., Chakravarthy, K., y Guduru, D. (2020). Effect of corn hydroponic forage supplementation on production performance in broilers. *Journal Forage Research*, 46 (1), 98-100. <https://forageresearch.in/wp-content/uploads/2020/07/98-100.pdf>
- Niroula, A., Khatri, S., Khadka, D., & Timilsina, R. (2019). Total phenolic contents and antioxidant activity profile of selected cereal sprouts and grasses. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 427–437. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1588297>
- Nkhata, S., Ayua, E., Kamau, E., y Shingiro, J. (2018). Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes. *Journal of Food Science and Nutrition*, 6 (8), 2446–2458. <https://doi.org/10.1002/fsn3.846>

- Parsaei, M., Goli, M., y Abbasi, H. (2018). Oak flour as a replacement of wheat and corn flour to improve biscuit antioxidant activity. *Journal Food Science and Nutrition*, 6 (2), 253–258. <https://doi.org/10.1002/fsn3.524>
- Pasquier, A y Davila, M. (2020). Evaluación del forraje verde hidropónico como sustitución parcial de concentrado en pollos de engorde (tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria, Camoapa, Nicaragua. <https://repositorio.una.edu.ni/4204/1/tnl02p284.pdf>
- Peng, J., Shang, B., Xu, Y., Feng, Z., y Calatayud, V. (2020). Effects of ozone on maize *Zea mays* L photosynthetic physiology biomass and yield components based on exposure and flux response relationships. *Environmental Pollution*, V. 256, p. 113466. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113466>
- Peña, J., García, M., Pachón, H., Mclean, M., y Arabi, M. (2014). Technical considerations for maize flour and corn meal fortification in public health consultation rationale and summary. *Journal Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 1–7. <https://doi.org/10.1111/nyas.12434>
- Pitts, K., Favaro, J., Austin, P., y Day, L. (2014). Coeffect of salt and sugar on extrusion processing rheology structure and fracture mechanical properties of wheatcorn blend. *Journal of Food Engineering*, 127, 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.11.026>
- Polonsky, V., y Sumina, A. (2021). Influence of grain physical characteristics on functional value of poultry feed. *Journal of Agronomy and Animal Industries*, 16 (2), 167–175. <https://doi.org/10.22363/2312-797x-2021-16-2-167-175>
- Quimi, F. (2021). Comportamiento productivo de pollos de engorde con la inclusión de diferentes niveles de forraje hidropónico de maíz en la alimentación (trabajo curricular). Universidad

Estatal Península de Santa Elena, Santa Elena, Ecuador.

<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6358/1/UPSE-TIA-2021-0075.pdf>

Sapakov, A., Sapakova, S., y Osser, D. (2021). Literature review of hydroponic devices for growing green fodder. *Journal of Izdenister Natigeler*, 3 (91), 85–95.

<https://doi.org/10.37884/3-2021/10>

Singha, P., Muthukumarappan, K., & Krishnan, P. (2017). Influence of processing conditions on apparent viscosity and system parameters during extrusion of distiller's dried grains-based snacks. *Journal of Food Science and Nutrition*, 6 (1), 101–110.

<https://doi.org/10.1002/fsn3.534>

Sokrab, A., Mohamed, I., y Babiker, E. (2012). Effect of germination on antinutritional factors total and extractable minerals of high and low phytate corn *Zea mays* L genotypes. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 11(2), 123–128.

<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.02.002>

Straub, P., Tanga, C., Osuga, I., Windisch, W., y Subramanian, S. (2019). Experimental feeding studies with crickets and locusts on the use of feed mixtures composed of storable feed materials commonly used in livestock production. *Journal Animal Feed Science and Technology*, Vol. 255, p. 114215. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114215>

Suma, T., Vivek, R., Sangeeta, T., y Malla, R. (2020). Review on hydroponics green fodder production enhancement of nutrient and water use efficiency. *Journal of International Chemical Studies*, 8(2), 2096-2102. doi: <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i2af.9060>

Tambo, S., Klang, J., Ndomou, S., Teboukeu, G., y Womeni, H. (2019). Characterization of corn cassava and commercial flours use of amylase rich flours of germinated corn and sweet potato in the reduction of the consistency of the gruels made from these flours influence on

the nutritional and energy value. *Journal of Food Science and Nutrition*, 7(4), 1190–1206.

<https://doi.org/10.1002/fsn3.902>

Tarasevičienė, Ž., Viršilė, A., Danilčenko, H., Duchovskis, P., Paulauskienė, A., y Gajewski, M.

(2019). Effects of germination time on the antioxidant properties of edible seeds. *CyTA*

*Journal of Food*, 17 (1), 447–454. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1553895>

Tera, R., Yuni, R., y Ratih, K. (2021). Kuantitas dan kualitas fodder jagung padi dan kacang hijau

dengan waktu panen yang berbeda menggunakan smart hydroponic fodder. *Jurnal Ilmu*

*Nutrisi dan Teknologi Pakan Journal*, 19 (2), 36-42. [https://doi.org/10.29244/jintp.19.2.36-](https://doi.org/10.29244/jintp.19.2.36-41)

[41](https://doi.org/10.29244/jintp.19.2.36-41)

Telgote, M., Chavan S., Sheike, R., Nage, S., y Bidve, K. (2022). Comparative study on chemical

composition of different feeding ingredients with hydroponically grown and conventionally

grown green maize fodder. *International Journal*, 14 (3), 656-659. Recuperado de

[https://www.researchtrend.net/bfij/pdf/111%20Comparative%20Study%20on%20Chemical](https://www.researchtrend.net/bfij/pdf/111%20Comparative%20Study%20on%20Chemical%20Composition%20of%20different%20Feeding%20Ingredients%20with%20Hydroponically%20Grown%20and%20Conventionally%20Grown%20Green%20Maize%20Fodder%20M.%20V.%20Telgote.pdf)

[1%20Composition%20of%20different%20Feeding%20Ingredients%20with%20Hydroponi](https://www.researchtrend.net/bfij/pdf/111%20Comparative%20Study%20on%20Chemical%20Composition%20of%20different%20Feeding%20Ingredients%20with%20Hydroponically%20Grown%20and%20Conventionally%20Grown%20Green%20Maize%20Fodder%20M.%20V.%20Telgote.pdf)

[cally%20Grown%20and%20Conventionally%20Grown%20Green%20Maize%20Fodder%](https://www.researchtrend.net/bfij/pdf/111%20Comparative%20Study%20on%20Chemical%20Composition%20of%20different%20Feeding%20Ingredients%20with%20Hydroponically%20Grown%20and%20Conventionally%20Grown%20Green%20Maize%20Fodder%20M.%20V.%20Telgote.pdf)

[20M.%20V.%20Telgote.pdf](https://www.researchtrend.net/bfij/pdf/111%20Comparative%20Study%20on%20Chemical%20Composition%20of%20different%20Feeding%20Ingredients%20with%20Hydroponically%20Grown%20and%20Conventionally%20Grown%20Green%20Maize%20Fodder%20M.%20V.%20Telgote.pdf)

Vázquez, M., Aparicio, L., Salinas, Y., Buendía, M., y Santiago, D. (2018). Nutraceutical

physicochemical and sensory properties of blue corn polvorones a traditional flour based

confectionery. *Journal Plant Foods for Human Nutrition*, 73 (4), 321–327.

<https://doi.org/10.1007/s11130-018-0692-z>

Vélez, G. (2021). Parámetros productivos en pollos de engorde alimentados parcialmente con

harina de maíz *Zea mays* L hidropónica. Universidad Estatal del Sur de Manabí (tesis de

pregrado). Universidad Estatal del Sur de Manabí, Manabí (Ecuador).

<http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3382/1/VELEZ%20RESABALA%20GEORGE%20HAGY%20DOCUMENTO%20DE%20TITULACION.pdf>

Verner, D., Roos, N., Halloran, A., Surabian, G., Ashwill, M., Vellani, S., y Konishi, Y. (2021). Hydroponics and insects in Africa the new circular food economy. [https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=OZZXEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT17&dq=Insect+and+Hydroponic+Farming+in+Africa&ots=B1fjsVXMFC&sig=VEYMG1ndslmFCCR Vu-Qqo-F3p3Q&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Insect%20and%20Hydroponic%20Farming%20in%20Africa&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=OZZXEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT17&dq=Insect+and+Hydroponic+Farming+in+Africa&ots=B1fjsVXMFC&sig=VEYMG1ndslmFCCR Vu-Qqo-F3p3Q&redir_esc=y#v=onepage&q=Insect%20and%20Hydroponic%20Farming%20in%20Africa&f=false)

Vukmirović, Đ., Čolović, R., Rakita, S., Brlek, T., Đuragić, O., & Solà-Oriol, D. (2017). Importance of feed structure (particle size) and feed form (mash vs. pellets) in pig nutrition – A review. *Animal Feed Science and Technology*, 233, 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.06.016>

Yadav, S., y Jha, R. (2019). Strategies to modulate the intestinal microbiota and their effects on nutrient utilization performance and health of poultry. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10 (1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0310-9>

Yadav, S., y Jha, R. (2021). Macadamia nut cake as an alternative feedstuff for broilers: Effect on growth performance. *Journal of Animal Feed Science and Technology*, 275 (7), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114873>

Zeferino, P., Vázquez, Dinora., Lara, D., Tadeo, P., Velázquez, M., y Rodríguez, A. (2021). Potential of native maize in the production of hydroponic green fodder under tropical conditions. *Tropical and Subtropical Agroecosystem Journal*, 24 (2), 1-9. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3659>

- Zhang, Y., Xie, L., Ding, X., Wang, Y., Xu, Y., Li, D., Liang, S., Wang, Y., Zhang, L., Fu, A., & Zhan, X. (2022). Mechanisms underlying the protective effect of maternal zinc ZnSO<sub>4</sub> or Zn Gly against heat stress induced oxidative stress in chicken embryo. *Journal Antioxidants*, 11 (9), p. 1699. <https://doi.org/10.3390/antiox11091699>
- Zhao, Y., Zhao, C., Tang, X., Zhou, J., Li, H., Zhang, H., y Liu, J. (2021). Physicochemical properties and microstructure of corn flour cellulose fiber extrudates. *Journal Food Science and Nutrition*, 9 (5), 2497–2507. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2195>
- Zúñiga, F. (2019). Análisis bromatológico en pollos camperos con alimentación del germinado de maíz hidropónico. (tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/40007>