



## Formulación de un alimento para pollos en su etapa inicial con inclusión de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y *Moringa* (*Oleífera* Lam.)

Rivero, Isvi Daniela; García, Óscar; García, Tonny y Acevedo Pons, Iria

Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", Decanato de Agronomía, Programa de Ingeniería Agroindustrial.  
Barquisimeto, Venezuela.

<https://orcid.org/0009-0001-4742-0737> [danielarivero0127@gmail.com](mailto:danielarivero0127@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-2180-8530> [oscargarcia@ucla.edu.ve](mailto:oscargarcia@ucla.edu.ve)

<https://orcid.org/0009-0005-3513-8143> [tonnygarcia@ucla.edu.ve](mailto:tonnygarcia@ucla.edu.ve)

<https://orcid.org/0000-0003-2252-7594> [iacevedo@ucla.edu.ve](mailto:iacevedo@ucla.edu.ve)

ASA/Artículo

doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.10390117>

Recibido: 22-05-2023

Aceptado: 04-12-2023

### RESUMEN

Las formulaciones alimenticias a través de modelos lineales es una alternativa para satisfacer los requerimientos nutricionales adecuados de las aves a un mínimo costo, es por ello que el objetivo de la investigación es el desarrollo del alimento su evaluación proximal y digestibilidad para aves en etapa inicial a las cuales se le incluyó moringa Oleífera lam y yuca *Manihot esculenta*. El diseño metodológico consistió: caracterización proximal de la harina de moringa y harina de yuca, formulación del alimento, II análisis proximales del alimento formulado y su digestibilidad in vitro del alimento balanceado y finalmente Establecimiento, organización de grupo control/experimental bajo aplicación del tratamiento. Los datos obtenidos en las primeras dos fases fueron analizados con estadística descriptiva en el paquete STATGRAPHICS y Programación lineal por el TORA. Los resultados de mayor relevancia fueron: la harina de moringa posee un contenido proteico de 20,40% del cual 70,22% es digerible. La solución de la función objetivo de la formulación fue minimizar el costo del producto resultando un precio total de 52.147,39 Bs Con base a la elaboración de 40 kg. El alimento formulado presentó valores de 24,67% de proteína, energía metabolizable de 2893 kcal/kg y una digestibilidad de 73,67% cumpliendo con lo exigido en la norma COVENIN 1881-83.

Palabras clave: Oleífera lam, *Manihot esculenta*, proteínas vegetales, digestibilidad



---

## Formulation of a chickens food in its initial stage with inclusion of yucca *Manihot Esculenta* and *Moringa Oleifera* Lam.

### ABSTRACT

Feed formulations through linear models are an alternative to satisfy the adequate nutritional requirements of birds at a minimum cost, which is why the objective of the research is the development of the feed, its proximal evaluation and digestibility for birds in the initial stage. which included moringa Oleifera lam and yucca Manihot esculenta. The methodological design consisted of: proximal characterization of moringa flour and cassava flour, food formulation, II proximal analysis of the formulated food and its in vitro digestibility of the balanced food and finally Establishment, organization of control/experimental group under application of the treatment. The data obtained in the first two phases were analyzed with descriptive statistics in the STATGRAPHICS package and Linear programming by TORA. The most relevant results were: moringa flour has a protein content of 20.40% of which 70.22% is digestible. The solution to the objective function of the formulation was to minimize the cost of the product, resulting in a total price of 52,147.39 Bs based on the production of 40 kg. The formulated food presented values of 24.67% protein, metabolizable energy of 2893 kcal/kg and a digestibility of 73.67%, complying with the requirements of the COVENIN 1881-83 standard. Spanish.

**Keywords:** Oleifera lam, *Manihot esculenta*, vegetable proteins, digestibility

## INTRODUCCIÓN

**A**nivel mundial, la avicultura comercial es la actividad más dinámica de la explotación animal, con una producción global para el año 2016 de 99 millones de toneladas de carne de pollo, siendo América el continente con mayor producción, específicamente países como Estados Unidos, Brasil y México; ahora bien, Venezuela se ubica como el octavo país latinoamericano productor de aves para engorde; generando para ese mismo año 401.592 unidades de pollos BB. Sin embargo, actualmente en el país ha disminuido la producción de pollos debido fundamentalmente a los altos precios de los concentrados; Delgado *et al*, (2016) refiere que el 71% de los costos de producción en la crianza de pollos para engorde provienen del alimento.

La producción avícola es una actividad pecuaria que amerita una inversión monetaria alta, debido principalmente a que la dieta total de este animal está basada en fórmulas balanceadas comercialmente,

generando altos costos por las compras del alimento, además de la adecuación de infraestructuras idóneas para el crecimiento y desarrollo de las aves hasta su etapa de beneficio. Es por ello, que los pequeños productores se han visto en la necesidad de buscar fuentes alternativas que logren satisfacer las necesidades del animal (Farfán y Gordon, 2013).

Sin embargo, en el país se cuenta con una gran diversidad de rubros agrícolas que pudieran utilizarse en la elaboración de fórmulas que cubran las necesidades alimenticias de los pollos de engorde como son la moringa y la yuca.

Para la formulación de raciones se implementará la programación lineal que es un algoritmo matemático mediante el cual se resuelve un problema indeterminado, formulado a través de ecuaciones lineales buscando siempre optimizar la función objetivo. En el caso de la formulación de raciones, la función objetivo consiste en determinar las proporciones en las cuales las materias primas deben ser mezcladas para satisfacer

los requerimientos del animal al mínimo costo posible (Rosero R *et al* 2011; Van Dooren 2018).

En el presente estudio tuvo como propósito evaluar la adición de harina de *Moringa Oleífera lam* y harina de yuca *Manihot esculenta* en la formulación de un alimento balanceado para aves en etapa inicial, para el logro del objetivo es necesario ejecutar la estandarización de los procesos de obtención de las harinas partiendo del producto fresco, realizar el proceso de formulación por medio de la programación lineal, llevar a cabo las caracterizaciones correspondientes a los análisis proximales de las harinas y del balanceado, evaluar la digestibilidad in vitro de la Moringa y el producto final.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se ejecutó en tres (III) fases para el cumplimiento de los objetivos planteados, en cada una de las fases se describe de manera detallada y sistemática cómo fue el proceso de investigación, iniciando por:

**Fase I.** Caracterización proximal de la harina de moringa *Oleífera lam* y harina de yuca *Manihot esculenta*. Digestibilidad in

vitro de la harina de la harina de moringa (Caro *et al*, 2015).

### Obtención de las harinas de moringa y yuca

Harina de moringa: Realización de un corte mecánico al forraje de la moringa proveniente del INIA Estado Portuguesa, las plantas presentaron entre 45 y 60 días de edad luego de la germinación, solo fueron recolectadas las hojas y tallos en buen estado, sin presencia de enfermedades o insectos. Posteriormente, fueron lavadas, utilizando para ello agua clorada (0,5 mg/L de cloro residual libre) según la normativa del ministerio de sanidad y asistencia social (1998). Luego se trituraron en un molino manual (Marca Corona), el cual actúa por compresión con el objetivo de disminuir el volumen del y favorecer el proceso de secado. La pasta obtenida fue llevada a un secador de bandeja, por un tiempo aproximado de secado de 4 horas a temperaturas de  $60 \pm 2$  °C o hasta un 12% de humedad, posteriormente el producto fue llevado a un proceso de molienda, introduciéndolo en un molino de martillos marca 38 (WILEY MILL), con malla o cernidor

número 30 cedazo de 0,5 mm, hasta obtener el polvo o harina con una granulometría de (600 micrones).

Harina de yuca: la raíz de yuca previa selección (libre hongos o podredumbre) fue lavada con agua clorada a 0,5 mg/L de cloro residual libre; luego se realizó un pelado, para la eliminación completa de la capa externa, este paso se ejecutó de forma manual con cuchillos de acero inoxidable, bajo condiciones de estricta inocuidad, luego del pelado se cortó la raíz de yuca en láminas de aproximadamente 1cm para aumentar la superficie de contacto y la eficiencia del secado, para el cual se establecieron las condiciones de: 6 horas de secado a temperaturas de  $60 \pm 2$  °C, en un secador de bandejas, finalmente las láminas de yuca seca fueron introducidas en un molino de martillos marca (WILEY MILL), con malla o cernidor número 30 cedazo de 0,5 mm, obteniendo de esta forma la harina. Obtenidas las harinas de yuca y moringa, se inició la caracterización proximal correspondiente (Hermida, 2015).

### **Determinación proximal de las harinas**

A través del método AOAC 2005. (Humedad, Grasa total., Fibra Cruda, Proteína, Cenizas), Calcio (COVENIN,1158-1982) y Fósforo (COVENIN 1178-83)

### **Determinación digestibilidad in vitro de proteínas de la moringa *Oleífera lam* por medio de pepsinas:**

La determinación de la digestibilidad in vitro de la harina de moringa se realizó según la metodología establecida en la norma venezolana (COVENIN, 1316-81) dirigida para animales monogástricos.

**Fase 2.** Formulación de la dieta idónea para aves en etapa inicial con incorporación de harina de moringa *Oleífera lam* y harina de yuca *Manihot esculenta*

Para lograr tal objetivo es necesario que el producto satisfaga las siguientes restricciones: La mezcla final de los elementos básicos se efectuará en función de un peso de 40 kg. La energía metabolizable a portada por el alimento no debe ser menor a 2800 Kcal/kg.

**Las Restricciones de la composición de nutrientes:** Fibra  $\leq 4.5$ , Grasa  $\geq 3$ , calcio  $\leq 1.1$ , fosforo  $\geq 0.7$  y Proteína  $\geq 20$ .

**Restricciones de los ingredientes:** Harina de Moringa  $\geq 10$ , Harina de Yuca  $\leq 30$ , Harina de Soya  $\geq 20$ , Maíz amarillo  $\leq 40$ , harina de pescado =12.

Se presentan las principales restricciones

del problema se presentan a continuación la composición de elementos básicos y variables del sistema las cuales permiten la creación de las ecuaciones necesarias a cargar en el programa (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Composición físico- química de elementos básicos de la Formulación.**

Composición (%)	Maíz FEDNA (2018)	Amarillos FEDNA 2018	Harina de Soya FEDNA (2018)	Harina de Pescado FEDNA (2018)
Grasa total	3.25	1	9.5	0.1
Fibra cruda	3	4.9	65	2.55
Proteína	7.5	48.22	2	3310
Calcio	0.12	0.29	2	1200
Fosforo	0.49	0.71		
Energía (Kcal/kg)	3730	2430		
Costo © Bs/kg	1300	2300		

## Identificación de variables

$$z = Ct_M \cdot X_1 + Ct_Y \cdot X_2 + Ct_S \cdot X_3 + Ct_{Ma} \cdot X_4 + Ct_{Pes} \cdot X_5 + Ct_{Nuc} \cdot X_6$$

Sujeto a:

$$X_1; X_5 > 0$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 = 40 \text{ Kg}$$

$$FB_M \cdot X_1 + FB_Y \cdot X_2 + 0,03 \cdot X_3 + 0,04 \cdot X_4 + 0,01 \cdot X_5 + 0 \cdot X_6 \leq 1,8$$

$$GM \cdot X_1 + G_Y \cdot X_2 + 0,03 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_4 + 0,15 \cdot X_5 + 0 \cdot X_6 \geq 1,2$$

$$CM \cdot X_1 + C_Y \cdot X_2 + 0,001 \cdot X_3 + 0,002 \cdot X_4 + 0,03 \cdot X_5 + 0,04 \cdot X_6 \leq 0,44$$

$$FM \cdot X_1 + F_Y \cdot X_2 + 0,004 \cdot X_3 + 0,007 \cdot X_4 + 0,03 \cdot X_5 + 0,02 \cdot X_6 \geq 0,28$$

$$PM \cdot X_1 + P_Y \cdot X_2 + 0,075 \cdot X_3 + 0,482 \cdot X_4 + 0,65 \cdot X_5 + 0 \cdot X_6 \geq 8$$

$$EM \cdot X_1 + E_Y \cdot X_2 + 3730 \cdot X_3 + 2430 \cdot X_4 + 3310 \cdot X_5 + 0 \cdot X_6 \geq 2800$$

$$X_1 \geq 4$$

$$X_2 \leq 12$$

$$X_3 \geq 8$$

$$X_4 \leq 16$$

$$X_5 \leq 4,8$$

$$X_6 = 0,8$$

Figura 1. Función objetivos y restricciones para introducir en el programa Tora.

Donde : X 1: Kilogramos de harina de moringa;-X 2: Kilogramos de harina de yuca; X 3: Kilogramos de maíz amarillo, X 4: Kilogramos de harina de soya, X 5: Kilogramos de harina de pescado, X 6: Kilogramos núcleo vitamínico, P M: Contenido de proteína de la harina de moringa, P Y: Contenido de proteína de la harina de yuca, FBM: Contenido de fibra de la harina de moringa, FBY: Contenido de fibra de la harina de yuca, GM: Contenido de grasa de la harina de moringa, GY: Contenido de grasa de la harina de yuca, CM: Contenido de calcio de la harina de moringa, CY: Contenido de calcio de la harina de yuca, FM: Contenido de fósforo de la harina de moringa, FY:

Contenido de fósforo de la harina de yuca, EM: Energía metabolizable de la harina de moringa, EY: Energía metabolizable de la harina de yuca, CtM: Costo de la harina de moringa, CtY: Costo de la harina de yuca, CtS: Costo de la soya, CtMa: Costo del maíz amarillo, CtPes: Costo de la harina de pescado, CtNuc: Costo núcleo vitamínico mineral.

Función objetivo.

$$Z=1300X_1+2300X_2+1200X_3+600X_4+950X_5+1000X_6$$

que la formulación con incorporación de harina de moringa y harina de yuca es capaz de cumplir con los requerimientos

nutricionales exigidos por las aves con un costo menor al que presentan los alimentos balanceados actuales.

### **Efecto de la harina de moringa y de yuca sobre los análisis proximales y digestibilidad in vitro del alimento balanceado dirigido a pollos en etapa inicial**

Para la obtención del valor de los análisis proximales y digestibilidad in vitro de la formulación óptima fue necesaria la realización del alimento balanceado simulado en la fase I, el mismo fue presentado en micro pellets; para la elaboración del alimento se utilizaron las harinas alternativas, y los otros ingredientes como la soya, maíz, harina de pescado y núcleo vitamínico para el cumplimiento total de los requerimientos nutricionales.

### **Etapas de elaboración del producto.**

Según la cantidad establecida se realizó un mezclado inicial del macro y micro elementos finalmente se adicionó agua, al tener todos los ingredientes combinados se ejecutó un mezclado final en un tanque de acero inoxidable de capacidad de 6 a 8 kg con 3 revoluciones por minuto, durante un tiempo aproximado de 15 a 20 minutos

para lograr la homogenización total de la mezcla, se procedió al peletizado a través de una máquina que tiene una capacidad de 20 a 47 Kg/h, la misma acepta materias primas con humedades comprendidas entre 10 a 15 % produciendo pellets largos, debido a que no cuenta con cortador en la salida de la boquilla, sin embargo, al terminar el peletizado se realizó un desmenuzado del alimento para disminuir su tamaño ya que esta característica que le confiere mejor palatabilidad al producto. Al tener el producto final se dejó en reposo, un período de enfriamiento de 2 horas a temperatura ambiente luego se fue ensacado el alimento, en sacos blancos de polipropileno de 40 kg y se almacenó.

### **Determinación proximal del alimento balanceado.**

Obtenido el alimento balanceado para aves en etapa inicial bajo las restricciones de la formulación idónea se procedió con el análisis del mismo, con el fin de obtener los valores proximales del alimento se siguió la misma metodología usada en la fase I. Para la determinación de coeficiente de digestibilidad del alimento, balanceado se ejecutó la metodología planteada en la



fase I, según Norma Venezolana COVENIN1789 (1981).

### **Análisis estadístico**

Se realizó una estadística descriptiva (media y desviación estándar) de las variaciones de los porcentajes de digestibilidad obtenidos, previo cumplimiento del supuesto de normalidad de la variable, para lo cual se utilizó el Software **Statgraphics**. En la formulación del alimento balanceado utilizando los valores obtenidos de la caracterización proximal de las harinas, los cuales fueron cargados el software Tora, dicho programa permitió simular raciones de mínimo costo, basado en la técnica de programación lineal (PL) y las restricciones nutricionales que se siguieron son establecidas por la Norma Venezolana (COVENIN1881-83 & Deptford et al, 2017).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Fase I. Digestibilidad in vitro, caracterización proximal de la harina**

### **de moringa *Oleífera lam* y harina de yuca *Manihot esculenta* y formulación del alimento.**

En el Cuadro 2, se presentan los resultados de la composición proximal de la harina de moringa; el valor obtenido para el contenido de proteína fue de 20,40 y Angulo (2014), presentó un valor cercano encontrando un contenido de proteínas de 20,76%, la cercanía entre los valores de proteína confirma el alto valor proteico que posee la combinación de hojas y tallos de moringa, recientemente Flores Chana (2021) encontró valores superiores en la hoja de moringa 23.19 % en cambio en la harina de moringa se incrementó a 26.41 %.

En referencia al resultado obtenido de humedad 5,01% es propio de los valores que debe tener una muestra de harina estén por debajo de 10% de humedad. Sin embargo, se encuentra por debajo a lo conseguido por Flores-Chana (2021) en la caracterización de harina de hojas y semillas en moringa.

**Cuadro 2. Análisis proximal de la harina de moringa a partir de sus hojas y tallos. Expresados en (%m/m)**

Composición	Y ± S
Humedad	5.01 ± 0.21
Grasa total	5.27 ± 0.2170
Fibra Cruda	13.98 ± 0.315
Proteína (factor 6.25)	20.40 ± 0.35
Cenizas	8.80 ± 0.26
Calcio	0.19 ± 0.12
Fosforo	0.15 ± 0.12

El valor de fibra cruda de la harina de moringa fue de 13,98%, el mismo es mayor al valor obtenido por Angulo (2014) el cual reflejó un contenido de fibra de 8,5%; atribuido a que la plantación de moringa utilizada para este ensayo presentó mayor lignificación en el tallo por tanto se ve aumentado directamente el porcentaje de fibra en la muestra.

El contenido de grasa presente en la harina de moringa fue de 5,27%; este resultado es cercano a los presentados por Quintana y Alvarado (2011) y Pérez (2022) quienes obtuvieron valores de 4,5% y 3,76% respectivamente, lo cual indica que la harina de moringa se puede utilizar como materia prima en la alimentación de aves ya que cumple con los requerimientos de aporte de grasa exigidos para la producción avícola según la normativa

COVENIN (1881-83).

El valor de cenizas encontradas en la harina de moringa fue de 8,80%, dicho contenido es similar al encontrado por Pérez B (2022) que presentó 10,8% de cenizas en muestras de esta planta, a través de este valor se evidencia el contenido de minerales presentes en la harina de moringa, lo cual permite su utilización dentro de la formulación ya que logra suplir los requerimientos nutricionales.

Con respecto a los valores de calcio y fósforo de la harina de moringa analizada fueron de 0,19% y 0,15% respectivamente, los mismos muestran concordancia con los resultados de 0,22% de calcio y 0,13% de fósforo (Madrigal y Ávalos, 2006; Barroeta 2015), por tanto, se evidencia que esta materia prima cuenta con

micronutrientes que pueden ser utilizados dentro de la formulación.

Al valorar la digestibilidad in vitro del contenido proteico en la harina de moringa *Oleífera lam* se obtuvo un valor de 70,22%  $\pm$  0,31 este resultado es cercano al encontrado por Muñoz (2011) para las hojas de moringa presentan un 79% de digestibilidad y diferente al encontrado por Delgado (2014) y Barroeta (2015) el cual expone que la digestibilidad proteica de las hojas y tallos de moringa es de 35% con un contenido de fibra de 33%, sin embargo esta discrepancia es atribuida al contenido de fibra total 13,98% presente en la harina de moringa usada en la presente investigación ya que el nivel de digestibilidad se ve disminuido directamente por el contenido de fibra. El valor de digestibilidad encontrado en la muestra de harina de moringa permite como sustituto de la soya ya que del contenido proteico aportado será

aprovechado por el animal en un 70,2 % se encuentra superior a la media aceptable del 50%.

En el Cuadro 3, son presentados los análisis proximales de la harina de yuca *Manihot esculenta*, que al compararlos con los encontrados por Techeria (2014) con respecto a contenido proteico 1,86% y cenizas 2,03% se evidencian similitud en los valores, de igual manera esta situación es semejante a la caracterización realizada por Molina (2013) donde presenta un contenido de grasa de 0,31%, fibra de 2,91%, calcio 0,32% y fósforo 0,17%. Por último, se aprecia los valores nutricionales obtenidos en la harina de yuca analizada con el establecido en las tablas de la Fundación Española para el desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA, 2018) se tiene que los resultados presentados se encuentran dentro de lo establecido en esta normativa.

**Cuadro 3. Valores proximales de harina de yuca *Manihot esculenta*, (%m/m).**

Composición	Y ± S
Humedad	9.14 ± 0.25
Grasa total	0.87 ± 0.220
Fibra Cruda	3.09 ± 0.32
Proteína (factor 6.25)	1.64 ± 0.34
Cenizas	2.93 ± 0.11
Calcio	0.28 ± 0.22
Fosforo	0.20 ± 0.21

La información nutricional de todas las materias primas y restricciones involucradas en la formulación fueron cargadas al software Tora, programa que luego de 21 interacciones encontró una solución óptima que logró satisfacer todas las restricciones previstas, dichos resultados son presentados en el Cuadro 4.

La solución de la función objetivo resultando 52.147,39 esto representa el costo de un saco de 40 kg de alimento balanceado expresado en Bolívares fuertes (Bs.), de manera general los alimentos balanceados existentes para la fecha en el mercado tienen un costo alrededor de 55.000 Bs. por saco, razón por la cual se evidencia

### **Fase 2. Formulación del alimento Balanceado de alimentos para pollos en primera etapa**

El valor asignado para las variables que

representan cada uno de los ingredientes involucrados en la formulación se encuentran en función de la elaboración del bache final de 40 kg; por tanto, con respecto al maíz conforma el 25,53% equivalente a 10,21 kg, la soya en un 20% es decir 8,00 kg finalmente las materias alternativas objetos de estudio la harina de moringa presente en un 10,47% equivalente a 4,19 kg. Para el caso de la harina de yuca 30% equivalente a 12,00 kg y las cantidades de núcleo vitamínico y harina de pescado son pre establecidas mediante una igualdad por tanto no se genera una variación, el ingrediente utilizado en mayor proporción es la harina de yuca, resultado que es lógico debido a que esta materia prima es capaz de aportar gran cantidad de nutrientes a un menor costo al ser comparada con los demás elementos. Con respecto al 10,47% de

harina de moringa incorporado en la formulación resulta suficiente para lograr una sustitución parcial de 4,19 kg de la soya, además el porcentaje incorporado de moringa se encuentra dentro de los rangos sugeridos por Bucardo y Pérez (2015).

Por último, en la misma tabla se encuentra el valor resultante para el renglón de costo

reducido, de forma general para todas las variables, el valor es cero por lo cual no es necesario aumentar o disminuir ninguno de los coeficientes objetivos para que el valor de la variable se comporte estrictamente positivo, es decir que los valores resultan ser óptimos para cada variable asignada (Van Dooren, 2018).

#### Cuadro 4. Solución óptima del alimento formulado.

Final Interacción N°:21				
Función Objetivo 52.147,39				
Variable	Valor	Coficiente Objetivo	Objetivo Val contrib	Costo reducido
X1 Maiz	10,2106	1300,00	13.273,73	0,00
X2 Soya	8,0000	2300,00	18.400,00	0,00
X3 Pescado	4,8000	1200,00	5.760,00	0,00
X4 Moringa	4,1894	600,00	2.513,66	0,00
X5 Yuca	12,0000	950,00	11.400,00	0,00
X6 Núcleo vitam.	0,8000	1000,00	800	0,00

En la solución generada se evidencian otras variantes que brindan mayor información para la interpretación de la formulación, dichos resultados se encuentran el Cuadro 5; con respecto a la columna de carencia o excedencia como dato relevante se tiene que existe un excedente de 0,7948 para la restricción de proteína es decir la misma es cumplida y sobrepasada por tanto el nivel proteico final será mayor a 8 equivalente a 21,9%

lo que supera el límite mínimo exigido por la normativa (COVENIN1181, 83), además se generó una formulación con alto contenido proteico con una incorporación mínima de fuentes proteicas como es el caso de la soya, moringa y pescado. En cuanto al contenido de grasa existe un excedente de 0,2562 resultando así que el contenido final de grasa teóricamente en la formulación es de 1,4562 equivalente a 3,6% este valor se

encuentra por encima de los límites mínimos establecidos por la normativa mencionada anteriormente, este resultado

es beneficioso ya que el animal obtendrá mayores reservas energéticas.

**Cuadro 5. Carencias, excedencias y precio dual de la solución óptima**

<i>Restricción</i>	<i>Restricción</i>	<i>Carencia(-)/ Excedencia(+)</i>	<i>Precio Dual</i>
<b>Proteína</b>	8,0000	0,79+	0,00
<b>Grasa</b>	1,2000	0,25+	0,00
<b>Fibra</b>	1,8000	0,00 -	-6.375,22
<b>Calcio</b>	0,4400	0,20-	0,00
<b>Fosforo</b>	0,2800	0,03+	0,00
<b>Energía Metb.</b>	2800,0000	138,00+	0,00
<b>Cantidad Moringa</b>	4,0000	0,18+	0,00
<b>Cantidad Yuca</b>	12,0000	0,00 -	-292,62
<b>Cantidad Soya</b>	8,0000	0,00+	1.121,12
<b>Cantidad Maíz</b>	16,0000	5,78+	0,00
<b>Cantidad Pescado</b>	4,8000	0,00 -	-227,50
<b>Cantidad N. Vitam.</b>	0,8000	0,00	-491,25
<b>Peso del bache</b>	40,0000	0,00	1.491,00
<b>X1</b>	0,0000	10,21+	0,00
<b>X2</b>	0,0000	8,00+	0,00
<b>X3</b>	0,0000	4,80+	0,00
<b>X5</b>	0,0000	12,00+	0,00

Con respecto al contenido de calcio presenta una carencia, ya que se utilizan 0,2029 unidades menos que las permitidas, lo que equivale a un valor final de 0,5% de calcio que cumple con el rango mínimo permitido de 1%, por otra parte, existe una excedencia de 0,0331 del contenido de fósforo lo que genera un contenido final de 0,78% valor que cumple con la restricción establecida proporcionando unidades de más de este micronutriente. Aunado a esto,

en la columna carencia/excedencia se evidencian valores iguales a cero como es el caso del contenido de fibra, eso refleja que las restricciones cumplen con la igualdad.

Los análisis de sensibilidad para los coeficientes mínimos o máximos referidos al costo de las materias primas involucradas y el análisis de las restricciones con precio dual generado por el programa son presentados en los

Cuadros 6 y 7 respectivamente. Para los costos resulta que la cantidad a utilizar de harina de moringa está limitada si el costo de esta alcanza el límite máximo de 1300

Bs., ahora el precio máximo hasta el cual es posible seguir incorporando la harina de yuca es de 1242,62 Bs.

**Cuadro 6. Análisis de sensibilidad de la solución óptima de costo de las variables.**

Variable	Coficiente actual	Coficiente mínimo	Coficiente máximo	Costo reducido
X1 Maiz	1300,00	1.107,54	2.655,72	0
X2 Soya	2300,00	1.178,87	Infinito	0
X3 Pescado	1200,00	infinito -	1.427,50	0
X4 Moringa	600,00	-2.969,99	1.300,00	0
X5 Yuca	950,00	infinito -	1.242,62	0
X6 Núcleo vit.	1000,00	infinito -	infinito	0

Un caso particular se evidencia con el costo de la harina de soya puede alcanzar precios máximos infinitos, lo cual expone que esta materia prima puede ser utilizada siempre en la formulación sin importar su costo, sin embargo, se generarían pérdidas monetarias si la misma es incorporada cuando presente un precio menor de 1178,87 Bs., sin embargo, la harina de soya es el ingrediente que presenta el mayor costo en toda la formulación.

Las cantidades mínimas y máximas en las que se pueden variar los recursos existentes o restricciones sin afectar la solución se tiene que el contenido de

proteína puede llegar a tener un máximo de 8,79 que equivale a un 21,9% de aporte proteico en el balanceado sin modificar el costo final del producto. El precio dual o sombra define la variación a cancelar para aumentar una unidad en cada restricción, por tanto, un valor notorio es la cantidad de soya a incorporar, este indica que es rentable hasta un costo mínimo de 1121,13 Bsf. para elevar la restricción de contenido proteico de 8 a 9; no obstante, para los valores iguales a cero se evidencia que las unidades exigidas en la formulación no llegan a su límite o no han sido agotadas.

**Cuadro 7. Análisis de sensibilidad de la solución (restricciones) y precio dual.**

Restricciones	Restricción actual	Restricción mínima	Restricción máxima	Precio dual
Proteína	8,0000	infinito -	8,794	0,00
Grasa	1,2000	infinito -	1,45	0,00
Fibra	1,8000	1,77	2,86	-6375,22
Calcio	0,4400	0,23	Infinito	0,00
Fosforo	0,2800	infinito -	0,31	0,00
Energía Metb.	2800,0000	infinito -	2.938,01	0,00
Cantidad Moringa	4,0000	infinito -	4,18	0,00
Cantidad Yuca	12,0000	5,69	14,31	-292,62
Cantidad Soya	8,0000	5,93	9,09	1121,12
Cantidad Maiz	16,0000	10,21	Infinito	0,00
Cantidad Pescado	4,8000	3,76	11,81	-227,50
Cantidad N. Vit.	0,8000	0,10	8,81	-491,25
Peso del bache	40,0000	34,31	40,69	1491,25
X1	0,0000	infinito -	10,21	0,00
X2	0,0000	infinito -	8,00	0,00
X3	0,0000	infinito -	4,80	0,00
X5	0,0000	infinito -	12,00	0,00

**Fase II. Efecto de la concentración de harina de moringa y la concentración de harina de yuca sobre los análisis proximales y digestibilidad in vitro del alimento.**

Luego de obtener la solución que logró satisfacer matemáticamente las restricciones involucradas se comprobó los valores proximales del alimento, los

cuales son presentados en el Cuadro 8, de estos resultados se estableció una comparación con los valores establecidos por las normativas (COVENIN1181-1983), la norma (FEDNA, 2018) de nutrición avícola y los valores de un alimento comercial.

**Cuadro 8. Valores proximales establecidos por las normativas COVENIN 1881-83, Manual de nutrición para aves FEDNA (2018) y valores de un alimento balanceado comercial.**

Composición (%)	Covenin 1881-83	FEDNA (2018)	Balanceado Comercial
Grasa Total	3 % min	2.8% min	6%
Fibra Cruda	4.5% Max	3.8% máx.	3%
Proteína	20% min	21.8% min	20%
Calcio	1.10% Max	1 % máx.	
Fosforo	0.70% min	0.69% min	



### **Efecto de la concentración de harina de moringa y la concentración de harina de yuca sobre los análisis proximales y digestibilidad in vitro del alimento balanceado.**

El contenido de proteína del alimento experimental se encuentra en  $24,67\% \pm 0,260$  este valor está por encima del mínimo de 20% requerido por (COVENIN1181, 83), esto es atribuido a la presencia de 3 fuentes proteicas en la formulación, como lo es la harina de moringa que aportó 20,40 % de proteínas, siendo esta una proteína de origen vegetal y digerible la harina de pescado y harina de soya aportaron 48,22% y 65% por cada 100 gramos incorporado de cada una respectivamente.

El aporte de grasa en el balanceado alternativo fue de  $5,42 \pm 0,104$ , este valor se encuentra por encima de los límites mínimos 2,8 y 3% establecidos por COVENIN1181, 1983; según el Manual para nutrición avícola de las normas (FEDNA, 2018).

El alimento experimental presentó en el Cuadro 9 con un valor de 2893,40 kcal/kg resultado concordante a lo exigido por el manual de nutrición (FEDNA, 2018) y la normativa (COVENIN1181- 1983) las cuales establecen que los valores de energía metabolizable en piensos para aves en etapa inicial deben estar en rangos de 2700 y 3000 kcal/kg; en este sentido la energía

metabolizable en el alimento es aportada por la yuca y el maíz porque son los ingredientes con mayor aporte de carbohidratos y carga energética. Un valor energético resulta altamente beneficioso en el crecimiento y ganancia de peso del animal, según Delgado *et al* (2013) y Sánchez (2015) establecieron que niveles inferiores a 2700 kcal/kg afectan directamente el crecimiento diario y el índice de conversión energética,

En relación a los valores presentes de calcio y fósforo en el alimento experimental se tienen que los mismos se encuentran dentro de los parámetros permitidos por (COVENIN 1158, 1983 y COVENIN 1178, 1983) siendo estos 0,53% y 0,80% respectivamente, en la formulación del alimento participó el aporte de un núcleo vitamínico. (FEDNA, 2018). Un alto valor energético resulta altamente beneficioso en el crecimiento y ganancia de peso del animal, según (Delgado *et al*, 2013, Muñoz 2011) niveles inferiores a 2700 kcal/kg afectan directamente el crecimiento diario y el índice de conversión energética, ahora bien, Venezuela por contar con un clima tropical reduce los niveles energéticos requeridos para producir calor razón por la cual el valor obtenido de energía metabolizable en el alimento experimental es adecuado.

Los valores presentes de calcio y fósforo en el alimento experimental se encuentran dentro de los parámetros permitidos por (COVENIN 1181, 1983) siendo estos 0,53% y 0,80%

respectivamente, en la formulación del alimento participó el aporte de un núcleo vitamínico que contribuyó para alcanzar estos niveles, sin embargo es de considerar el aporte de macronutrientes generado por parte de la harina de moringa y harina de pescado; este contenido de macronutrientes es fundamental para mantener el balance electrolítico (FEDNA, 2018).

En último lugar el valor de fibra que presenta el alimento fue de  $2,6\% \pm 0,10$  el cual se encuentra por debajo de los valores mínimos requeridos por la normativa (COVENIN1789-81), (FEDNA, 2018) y el alimento comercial, este valor corrobora la incorporación de harina de moringa y la harina de yuca dentro del balanceado, puesto que el contenido fibroso que presentó la moringa fue considerado alto, sin embargo al estar combinada con los demás ingredientes este valor es reducido; Farfán y Gordon (2013) en el manual de nutrición avícola FEDNA (2018) concluye que la fibra bruta reduce la palatabilidad, consumo y digestibilidad de los piensos.

**Cuadro 9. Valores proximales del alimento balanceado formulado con incorporación de harina de moringa *Oleífera lam* y harina de yuca *Manihot esculenta*, (%m/m)**

Composición	Y $\pm$ S
Humedad	5.58 $\pm$ 0.26
Grasa total	5.42 $\pm$ 0.10
Fibra Cruda	2.6 $\pm$ 0.10
Proteína (factor 6.25)	24.67 $\pm$ 0.26
Cenizas	5.47 $\pm$ 0.15
Calcio	0.53 $\pm$ 0.11
Fosforo	0.80 $\pm$ 0.10
Energía Metabolizable	2893,40

Por último, se presenta el nivel de digestibilidad in vitro del alimento balanceado se obtuvo un  $73,67\% \pm 0,40$  conociendo que el nivel de digestibilidad aceptable para aves se encuentra en los rangos de 60 a 65% se evidencia que el valor obtenido se encuentra por encima de los límites mínimos permitidos, corroborando que la utilización de harina de moringa y harina de yuca como sustitutos parciales de la soya y el maíz es viable en su totalidad. Finalmente se puede observar un alto porcentaje de digestibilidad debido al contenido proteico presente en la moringa.

## CONCLUSIONES

En el trabajo se estudiaron la digestibilidad y el proximal de la harina de hojas y tallos de moringa *Oleífera lam* las cuales poseen características nutricionales esenciales para ser utilizada en la formulación de alimentos balanceados en aves a un bajo costo de incorporación, contando además con un valor

proteico alto y de buena digestibilidad, aunado a que posee micronutrientes necesarios para satisfacer los requerimientos alimenticios.

La harina de yuca *Manihot esculenta* cuenta con un excelente aporte energético y valores indispensables para ser usada en la formulación de alimentos para aves logrando sustituir en totalidad al maíz. La formulación generada por el software Tora en este estudio logró satisfacer todos los requerimientos nutricionales basado en la programación lineal y cumpliendo los costos mínimos.

El alimento balanceado logró cumplir los límites mínimos exigidos por la normativa (COVENIN1881-83) para la alimentación de aves en etapa inicial, contando además con una alta digestibilidad proteica.

## REFERENCIAS

- Angulo J. (2014). Evaluación de la conversión alimento/peso de lechones en etapa de desarrollo sometidos a una dieta a base de moringa Oleífera lam.
- AOAC (2005). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 18ª edición, USA.
- Barroeta, E. (2015). Revolución del conocimiento: Proyecto Moringa de Venezuela (III). Caracas, Venezuela: Labranza. [Documento en línea]. Disponible [http://frebin.org.ve/static/media/uploads/labranza/labranza0305/20\\_conocimiento\\_3.pdf](http://frebin.org.ve/static/media/uploads/labranza/labranza0305/20_conocimiento_3.pdf) Consultado: 2016, noviembre 8.
- Bucardo, E. y Pérez, J. (2015). Inclusión de harina de hoja de Marango (*Moringa Oleífera*) en la alimentación de pollos de engorde y su efecto en el comportamiento productivo. Trabajo de grado no publicado. Universidad Nacional Agraria (UNA), Managua, Nicaragua. [Documento en línea]. Disponible: <http://repositorio.una.edu.ni/3243/1/tnl02b918.pdf> Consulta: 2016, septiembre 20.
- Caro, Y., Ly, J., Delgado, E. y Samkol, P. (2013). Digestibilidad in vitro ileal y total de *Morus alba* L. y *Trichanthera gigantea* (H & B), como alimento para cerdos. *Zootecnia Tropical* 31(4), 331-336.
- Flores Chana W. Caracterización De La Hoja Y Harina De Moringa Oleífera. Universidad Indígena Boliviana Comunitaria Intercultural Productiva Aymara “Tupak Katari”.DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i3.475](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.475)
- Delgado E, Orozco Y y Uribe P: ‘Comportamiento productivo de pollos alimentados a base de harina de plátano considerando la relación beneficio costo’. *Zootecnia Trop.* vol.31 no.4 Maracay dic. 2013
- Deptford A, Allieri T, Childs R, Damu C, Ferguson E, Hilton J 2017 Cost of the Diet: a method and software to calculate the lowest cost of meeting recommended intakes of energy and nutrients from local foods. *BMC Nutr.* (2017) 3:1–17. doi: 10.1186/s40795017-0136-4
- Farfán López ChJ. \* y Gordón Gustavo. 2013.Evaluación nutricional de una mezcla de harina de maíz con harina de víscera y harina de sangre y plumas utilizada en la alimentación de aves. *Zootecnia Trop.* vol.31 no.2 Maracay jun. 2013

- FEDNA 2018, normas de necesidades nutricionales de las aves. Disponible en <https://www.fundacionfedna.org/node/75>
- Hermida, H. (2015). Inclusión de harina de raíz de yuca en la dieta de pollos camperos K-53. *Revista científica*, 38(2), 143-149.
- Madrigal, H y Avalos T. (2006). *Moringa Oleífera*. [Documento en línea]. Disponible: <http://es.calameo.com/read/0027778179ce6b193e3a9> Consulta: 2016, octubre 20.
- Molina, (2013). Evaluación funcional y proximal de una harina a base de yuca *Manihot esculenta*. Trabajo de grado no publicado. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Lara, Venezuela. [/archivos/agrollania/2011/agro2011\\_11.pdf](/archivos/agrollania/2011/agro2011_11.pdf) Consulta: 2016, septiembre 15.
- Muñoz A. (2011). Suplementación con moringa oleífera en una dieta tradicional de pollos de engorde. Universidad Libre Seccional Socorro, Colombia.
- Norma Venezolana COVENIN (1158-1982). Alimentos: Determinación de calcio: Método de referencia (1era Revisión), COVENIN. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1158-82.pdf> Consulta: 2016, noviembre 1.
- Norma Venezolana COVENIN (1178-1983a). Alimentos: Determinación de fósforo [Documento en línea]. Disponible: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1178-83.pdf> Consulta: 2016, noviembre 1.
- Norma Venezolana COVENIN (1181-83b). Alimento completo para aves. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1881-83.pdf> Consulta: 2016, noviembre 1.
- Norma Venezolana COVENIN (1981c). Alimentos para animales. Determinación de la digestibilidad de las proteínas de origen animal, COVENIN 1316:1981. [Documento en línea]. Disponible <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/normas/1316-81.pdf> Consulta: 2016, noviembre 1.
- PEREZ, Byron. 2022. Optimización del proceso de extracción y precipitación de un concentrado proteico foliar de *Moringa oleífera* Lam. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* [online]., vol.75, n.1, pp.9813-9821. Epub Jan 31, 2022. ISSN 0304-2847. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v75n1.95163>.
- Quintana J y Alvarado A (2013). Condiciones para la precipitación de la proteína foliar a partir de la Moringa (*Oleífera* Lam). Trabajo de Grado no publicado. Barranquilla, Colombia. [Documento en línea]. Disponible <http://trabajos99/condiciones-precipitacion-proteina-foliar-partir-moringa-oleifera-lam/condiciones-precipitacion-proteina-foliar-partir-moringa-oleifera-lam2.shtml>.
- Rosero R, Posda SL, Ortíz DM. 2011. Programación lineal aplicada a la formulación de raciones para rumiantes. *Rev CES Med Vet Zootec*. Vol 6 (2): 53-60.
- Sánchez, J. (2015). Alimento balanceado para animales y abastecimiento. Caracas, Venezuela. [Documento en línea]. Disponible: <http://www.org/actualidad/a2129066.html> 1 Consulta: 2016, octubre 12.
- Van Dooren C. A Review of the Use of Linear Programming to Optimiz Diets, Nutritiously, Economically and Environmentally. *Front Nutr*. 2018; 5: 48.

Published online 2018 Jun  
21. doi: 10.3389/fnut.2018.00048