

# **Formulación de una dieta de costo mínimo para alimentación de cerdos incluyendo los insumos no convencionales suero y ariche**

**Sofía Anabel Tabi Fuérez**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2017

ZAMORANO  
CARRERA DE ADMINISTRACIÓN DE AGRONEGOCIOS

# **Formulación de una dieta de costo mínimo para alimentación de cerdos incluyendo los insumos no convencionales suero y ariche**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniera en Administración de Agronegocios en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Sofía Anabel Tabi Fuérez**

**Zamorano, Honduras**  
Noviembre, 2017

## **Formulación de una dieta de costo mínimo para alimentación de cerdos incluyendo los insumos no convencionales suero y ariche**

Sofía Anabel Tabi Fuérez

**Resumen.** En la producción comercial y producción a pequeña escala de cerdos, el costo de alimentación varía entre 60 y 85% del costo total de producción. Existe la necesidad de dietas que cumplan con los requerimientos nutricionales del cerdo y que sean de bajo costo. La programación lineal es una herramienta que permite la formulación de dietas, por medio de la combinación óptima de insumos que suplen los requerimientos nutricionales del cerdo considerando el costo del insumo y su aporte nutricional. El objetivo del estudio es minimizar los costos de alimentación al formular dietas para cerdos en etapa de finalización con la inclusión de los subproductos agroindustriales, suero y ariche. Suero y ariche están disponibles y seis dietas fueron formuladas bajo seis escenarios (E) en base a peso vivo del cerdo e insumo incluido. Para los cerdos de 50 a 75 kg, los escenarios del uno al tres son: E1: incluyendo ariche; E2: incluyendo suero; E3: combinación de suero y ariche; para cerdos de 75 a 100 kg, los escenarios del cuatro al seis son: E4: incluyendo ariche, E5: incluyendo suero y E6: combinación de ariche y suero. Las dietas fueron formuladas en el programa complemento de Microsoft Excel Solver que dio como resultado un costo de: L 8.10/kg, L 8.42/kg, L 7.96/kg, L 8.09/kg, L 8.44/kg y L 8.30/kg para E1, E2, E3, E4, E5 y E6, respectivamente. Los informes de sensibilidad presentados por Solver muestran que la dieta no es sensible al cambio en precios de los insumos.

**Palabras clave:** Pequeños productores, precios sombra, programación lineal.

**Abstract:** The cost of feeding in commercial and small-scale production of swine varies between 60 and 85% of the total production cost. There is a need for lower cost diets that meet the nutritional requirements of pigs. Linear programming is a tool that allows the formulation of diets, through the optimum combination of inputs that meet the nutritional requirements of pigs considering the input cost and its nutritional contribution. The objective of the study is to minimize feed costs when formulating diets for fattening pigs with the inclusion of agroindustry by-product, whey and ariche. Whey and ariche are available and six diets were formulated under six scenarios (S) based on body weight and input included. For pigs weighing 50 -75 kg, scenarios one to three are: S1: including ariche; S2: including whey; S3: combination of whey and ariche; for pigs weighing 75 to 100 kg, the scenarios four to six are: S4: including ariche, S5: including whey and S6: combination of whey and ariche. The diets were formulated Solver command in the Microsoft Excel which resulted in a cost of: L 8.10/kg, L 8.42/kg, L 7.96/kg, L 8.09/kg, L 8.44/kg and L 8.30/kg for S1, S2, S3, S4, S5 and S6, respectively. The sensitivity reports presented in Solver shows that the diet is not sensitive to the change in input prices.

**Key words:** Linear programming, shadow prices, small producers.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de Cuadros y Anexos .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>34</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>35</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>36</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>40</b>

## ÍNDICE DE CUADROS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Información de ubicación y costos de los proveedores de insumos para la formulación de dieta de cerdos, Honduras, 2017. ....	12
2. Requerimientos nutricionales de composición química para dieta de cerdos en etapa de finalización en base a peso vivo, Honduras, 2017. ....	13
3. Requerimientos nutricionales de composición de macrominerales para dieta de cerdos en etapa de finalización en base a peso vivo, Honduras, 2017. ....	14
4. Requerimientos nutricionales en composición de microminerales para dieta de cerdos en etapa de finalización en base a peso vivo, Honduras, 2017. ....	14
5. Requerimientos nutricionales de composición de vitaminas para dieta de cerdos en etapa de finalización en base a peso vivo, Honduras, 2017. ....	15
6. Requerimientos nutricionales de composición de amino ácidos para dieta de cerdos en etapa de finalización en base a peso vivo, Honduras, 2017. ....	15
7. Niveles recomendados de inclusión de los insumos en la formulación de dietas para cerdos de engorde en etapa de finalización, Honduras, 2017. ....	17
8. Distancia por recorrer del insumo desde su proveedor hasta la Planta de Concentrados de Zamorano, Honduras, 2017. ....	18
9. Costo total unitario de los insumos a utilizar en la formulación de la dieta para cerdos en etapa de finalización en base a peso vivo, Honduras, 2017. ....	19
10. Dietas propuestas por Solver para los distintos escenarios del estudio, Honduras, 2017. ....	21
11. Costo total de la dieta en contraste con la dieta de Zamorano, Honduras, 2017. ....	23
12. Costo total de las dietas en cada escenario con distintos precios de insumos según origen en contraste con el precio de venta de las dos dietas actuales de Zamorano, Honduras, 2017. ....	24
13. Dietas propuestas por Solver para los distintos escenarios del estudio con precios de Zamorano, Honduras, 2017. ....	25
14. Efecto del cambio en precio de los insumos para Escenario 1, Honduras, 2017. ....	26
15. Efecto del cambio en precios de los insumos para Escenario 2, Honduras, 2017. ....	27

16. Efecto del cambio en precios de los insumos para Escenario 3, Honduras, 2017. ....	28
17. Efecto del cambio en precios de los insumos para Escenario 4. Honduras, 2017. ....	29
18. Efecto del cambio en precios de los insumos para Escenario 5. Honduras, 2017 .....	30
19. Efecto del cambio en precios de los insumos para Escenario 6, Honduras, 2017. ....	31
20. Efecto del cambio en nivel de fibra en la dieta para los distintos escenarios, Honduras, 2017.....	32
21. Efecto del cambio en nivel de proteína en la dieta para los distintos escenarios, Honduras, 2017.....	32

Anexos	Página
1. Composición química de los insumos a usar para formulación de la dieta. ....	40
2. Composición de macrominerales de los insumos a usar para formulación de la dieta.....	41
3. Composición de microminerales de los insumos a usar para formulación de la dieta.....	42
4. Composición en vitaminas de los insumos a usar para formulación de la dieta. ....	43
5. Composición de amino ácidos de los insumos a usar para formulación de la dieta.....	44
6. Composición de amino ácidos de los insumos a usar para formulación de la dieta.....	45

## 1. INTRODUCCIÓN

América Latina tiene un consumo per cápita de carne de cerdo de 9.5 kg/persona/año y con un crecimiento estimado en demanda de carne del 6% en los próximos 10 años (OECD-FAO, 2016). El consumo per cápita de carne de cerdo en Honduras es de 5.06 kg/persona/año con una estimación de crecimiento tanto en producción como en consumo del 15% (Central AmericaData, 2017).

En Honduras, la producción de cerdos ha incrementado de 26 a 35 millones de libras en los últimos 5 años y el consumo nacional es superior a 100 millones de libras al año. Los productores nacionales son capaces de suplir solamente un 35% de la demanda, recurriendo a la importación para suplir la diferencia (Secretaría de Agricultura y Ganadería, 2014).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) prevé una tendencia hacia la baja del precio de los insumos básicos para la alimentación de los animales. Sin embargo, así como se prevé una disminución en el costo de los granos usados como materia prima para la elaboración de la dieta animal, se considera que habrá un aumento en el costo de producción relacionados a regulaciones ambientales (FAO RLC, 2017).

Productores y unidades de producción de cerdos incurren costos de alimentación que varían entre un 60 -70% (FAO AG, 2017) o entre un 80 - 85% del total de costos de producción (Campabadal, 2009). Los costos cambiantes de los insumos en el mercado son lo que determinan dicha variación en los costos de la dieta (Salguero y Lescano, 2016).

El problema con los insumos usados en la dieta convencional del cerdo es que son granos básicos en la dieta humana por lo que entra en debate el uso de los mismos para seguridad alimentaria o producción animal (Salguero y Lescano, 2016). El escenario actual conduce al productor a un análisis de opciones tanto de insumos sustitutos como sistemas de producción (Sofos, 2013).

Existen seis tipos de nutrientes que se deben suplir: agua, carbohidratos, grasas, proteínas (Amino Ácidos), minerales y vitaminas (Cromwell, 2017). Energía no es un nutriente pero es importante para el desarrollo normal de todos los procesos biológicos del animal, un balance entre energía y nutrientes es el inicio de una producción óptima dentro del sector porcino (Kil et al., 2013); (Sofos, 2013).

Las limitaciones para el sector pecuario son: costo de alimentación, disponibilidad limitada de forrajes, riesgo de plagas, enfermedades, degradación de recursos naturales y el impacto del cambio climático (FAO RLC, 2017). La limitante de costo de alimentación puede ser tratado con el uso de insumos sustitutos o subproductos que provean energía y proteína a la dieta a un menor costo (Salguero y Lescano, 2016).

La producción de cerdos puede ser clasificada en dos grupos: producción comercial y producción a pequeña escala. La Unidad Productiva de Cerdos de Zamorano es una producción comercial donde la optimización de recursos es primordial para términos de rentabilidad. La producción a pequeña escala abarca producciones de subsistencia como la de los pequeños productores de la Villa de San Francisco (FAO AG, 2017).

En la producción comercial dietas en base a etapas fisiológicas basadas en requerimientos nutricionales y energéticos maximiza las utilidades. Mientras que dietas en base a recursos locales y disponibles brindan oportunidad de participación en el mercado a los pequeños productores (FAO AG, 2017). El suero y ariche son subproductos agroindustriales de bajo costo y disponibles localmente, convirtiéndose en insumos atractivos para considerar su uso en formulación de dietas de bajo costo para cerdos.

El objetivo general del estudio es minimizar los costos de alimentación en cerdos en etapa de finalización al formular dietas con la inclusión de los subproductos agroindustriales, suero y ariche.

Los objetivos del estudio son:

- Evaluar la viabilidad del uso de suero y ariche en la dieta de cerdos en etapa de finalización para reducir costo de alimentación.
- Seleccionar los requerimientos nutricionales del cerdo, aportes nutricionales de los insumos y restricciones sobre composición para formulación de la dieta para cerdos.
- Determinar el costo total de la dieta para cerdos en base a sus etapas de finalización con la inclusión de insumos no convencionales para la Unidad Productiva de Cerdos de Zamorano y los pequeños productores de la Villa de San Francisco.
- Analizar el efecto de cambios en el precio de los insumos de la dieta para cerdos en etapa de finalización para la Unidad Productiva de Cerdos de Zamorano y los pequeños productores de la Villa de San Francisco.

## 2. METODOLOGÍA

La viabilidad del uso de insumos no convencionales en la dieta para cerdos en etapa de finalización se determinó en base a disponibilidad y cantidad del insumo mediante fuentes primarias de información. Los requerimientos nutricionales del cerdo, los aportes nutricionales de los insumos y las restricciones de formulación se seleccionaron de fuentes secundarias de información, manuales de nutrición. Para la formulación de la dieta de costo mínimo para cerdos en etapa de finalización para la Unidad Productiva de Cerdos de Zamorano y los pequeños productores de la Villa de San Francisco se utilizó un modelo de programación lineal descifrable por el programa complemento de Microsoft Excel, Solver. Los informes de sensibilidad presentados por Solver se usaron para evaluar el efecto en la dieta de los cambios en el precio de los insumos.

### **Recolección de datos**

La recolección de datos es la actividad de reunir, recolectar o resumir información relevante para el estudio mediante herramientas y técnicas que faciliten el trabajo del investigador sobre algún fenómeno. Las herramientas de recolección es todo recurso que ayuda al investigador a caracterizar el fenómeno. Las técnicas son el procedimiento a seguir para obtener información de dicho fenómeno (Leal, 2013).

Para la recolección de datos se usó como herramienta de investigación fuentes de información primarias y secundarias. Las técnicas usadas para obtener la información fueron la comunicación oral y escrita con los actores involucrados.

**Disponibilidad.** La disponibilidad de los insumos fue determinada por fuentes primarias. Las fuentes primarias de información son aquellas que brindan información específica sobre un problema o fenómeno estudiado y que no existían previamente, es decir, se elaboran y dan como resultado datos nuevos (Rivera y González, 2015).

Las técnicas usadas para la recolección de datos de fuentes primarias fueron:

- Entrevista al instructor del módulo de Planta de Lácteos de Zamorano para recolectar datos relacionados al suero y al jefe de la Unidad Productiva de Cerdos de Zamorano para detalles técnicos de la dieta.

- Historiales de ingresos de leche y producción de quesos fueron usados para el análisis y cálculo de producción de suero en la Planta de Lácteos de Zamorano.
- Llamadas telefónicas a proveedores de insumos para determinar precios de los insumos a usar en la formulación de la dieta.

**Requerimientos, aportes y restricciones para formulación de la dieta.** Los requerimientos, aportes y restricciones para formular la dieta se determinaron mediante fuentes secundarias de información. Las fuentes secundarias son datos e información resumida y recolectada por terceras personas. Estos datos facilitan el trabajo del investigador quién solo debe mejorar y adaptar los datos para beneficio de su estudio (Rivera y González, 2015).

Las fuentes de información secundaria usadas para el estudio son manuales y libros elaborados por entes relacionados con la nutrición animal:

- “Nutrient Requirement of Swine” elaborado por la “National Research Council”
- Necesidades Nutricionales para Ganado Porcino: Normas FEDNA elaborado por la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.
- Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos manual elaborado por la Universidad Federal de Viçosa (Brasil).

### **Programación lineal.**

Para comprender la base de la programación lineal y definir qué es lo que se busca optimizar en el estudio se utilizó el modelo matemático de la programación lineal. El modelo de programación lineal para una minimización se usó para identificar en que parte del modelo se ubica la información recolectada para formular una dieta de bajo costo. Las restricciones del modelo de minimización se usaron para incluir detalles nutricionales y técnicos que se deben cumplir para formular una dieta nutricionalmente óptima para el cerdo. Solver, programa complemento de Microsoft Excel fue la herramienta para formular la dieta de bajo costo y obtener los informes de sensibilidad. Los informes de sensibilidad permitieron el análisis de respuesta de la dieta a cambios en el precio de los insumos de la misma.

**Modelo matemático de la programación lineal.** El modelo matemático de la programación lineal puede ser formulado si existen expresiones lineales para un fenómeno con variables no negativas relacionadas por desigualdades o igualdades entre sí y limitantes o restricciones del fenómeno que contribuyan a la optimización de un objetivo (Modelo 1) (Arsham, 2017).

$$\begin{aligned} & \text{Optimizar } f(X_1, \dots, X_N) \\ & \text{Sujeto a: } g(X_1, \dots, X_N) \in S_1 \quad [1] \end{aligned}$$

donde:

$(X_1, \dots, X_N)$ : Es el conjunto de variables de decisión.

$f(X_1, \dots, X_N)$ : Función objetivo, usualmente de maximizar o minimizar.

$g(X_1, \dots, X_N) \in S_1$ : Restricción (es) o límite (s) del problema.

Para formular una dieta balanceada que ofrezca nutrientes digeribles y en proporciones correctas se debe considerar el requerimiento nutricional del cerdo en base a su etapa fisiológica, edad, peso, sexo y potencial genético (Paulino, 2016). Una combinación óptima de insumos disponibles con sus aportes nutricionales y el precio de los mismos es necesaria.

El uso de límites y restricciones en proteína para identificar combinación óptima de insumos para alcanzar un peso de 250 libras en cerdos (Christensen y Mighell, 1951) dio origen a la aplicación de programación lineal en alimentación animal, donde conocer el precio y valor nutricional de los insumos disponibles permite identificar la combinación óptima de insumos más económica y que cumpla todos los requerimientos animales necesarios para su desarrollo (Waugh, 1951).

La programación lineal es un método común dentro de la industria avícola, porcina y bovina para la elaboración de dietas (Sirisatien, Wood, Dong, y Morel, 2009) al permitir la integración de requerimientos nutricionales con costos de los insumos (Abd Rahman et al., 2010). En los últimos años se dio la inclusión de programación no lineal para reducir las asunciones de linealidad y complejidad de los diferentes nutrientes (Saxena, 2011) permitiendo el establecimiento de horarios de alimentación, mejoramiento en ganancia de pesos y maximización de ganancias en conjunto tomando el nombre de algoritmos genéticos (Alexander, Morel, y Wood, 2006).

El modelo de programación lineal permite realizar la combinación de insumos y costo por medio de la interacción de la función objetivo con sus restricciones. En este caso el objetivo es obtener una dieta que, combinando el precio de los insumos, su aporte nutricional, los requerimientos nutricionales del cerdo y la disponibilidad de los recursos sea al menor costo posible.

**Modelo de programación lineal para minimización.** Un modelo de programación lineal para un problema de minimización muestra la relación lineal entre las variables decisión y las restricciones, su objetivo debe ser maximizar o minimizar una función objetivo, en este caso minimizar (McCarl y Spreen, 2016). En el Modelo 2 se puede observar el modelo a seguir cuando el objetivo es minimizar costos.



El costo unitario de los insumos es el precio de venta de los insumos en las diferentes casas comerciales y empresas dedicadas al rubro de venta de materias primas para la elaboración de concentrado animal.

El costo de transporte es el resultado de multiplicar el costo por kilogramo del insumo por kilómetro recorrido desde el proveedor hasta la Planta de Concentrados de Zamorano. Para determinar la distancia en kilómetros del proveedor del insumo hasta Zamorano se usó la aplicación de mapas en línea de Google conocida como “Google Maps”.

**VARIABLES DE DECISIÓN.** Las variables de decisión son los insumos que se incluyen en el modelo para formular la dieta de costo mínimo. Los insumos seleccionados para la formulación de la dieta son aquellos considerados como fuente de energía y proteína, complementados con la inclusión de fuentes alternativas estandarizadas y rústicas.

Los insumos catalogados como fuente de energía son: harina de alfalfa, residuos de pastelería, aceites, grasas, melaza, avena, maíz, sorgo y salvado de trigo (DeRouchey et al., 2007). Para la formulación de dietas el maíz es considerado fuente principal de energía por su disponibilidad y propiedades nutricionales con un aporte de energía metabolizable de 3,3 Mcal/kg en promedio (Campabadal, 2009).

Fuentes de proteína y amino ácidos de origen vegetal son: harina de alfalfa, harina de algodón y harina de soya (DeRouchey et al., 2007). La harina de soya comúnmente usada en dietas por su aporte promedio de 45 - 48% de proteína y los de origen animal harina de pescado de 40 -70% de proteína, harina de carne y hueso entre 40 - 42% de proteína, estos dos últimos considerados más como fuente de calcio (12%) y fósforo (6%) (Campabadal, 2009).

El uso de subproductos agroindustriales para dietas animales está creciendo paulatinamente, los comúnmente incluidos en dietas para cerdos como fuente de energía son semolina de arroz, salvado de trigo y melaza, existen además fuentes de energía húmeda como el banano y la yuca. Subproductos para proteína son el suero en polvo, plasma porcino deshidratado y células sanguíneas (Campabadal, 2009).

En América Latina el uso de subproductos agroindustriales dentro de la nutrición animal está limitado. La falta de interés por parte de las empresas hacia los desechos orgánicos que generan hace que el conocimiento sobre composición e identificación de los subproductos aptos para ser incluidos en las dietas sea deficiente. La información disponible está en base a promedios y sin medir variaciones en composición o descripción detallada del subproducto (Vargas y Zumbado, 2001).

Cuando el proceso de extracción está en el proceso de clarificación se obtienen dos productos: el aceite crudo de palma y un desecho conformado por lodos, fibras y residuos aceitosos. El desecho llamado también ariche es uno de los subproductos de interés para el

estudio, considerando que por cada tonelada procesada el 1.2% de la misma es ariche y puede usarse dentro de la industria alimenticia (Aroca, 2014).

El suero es considerado como un desecho en las plantas procesadoras de leche, pero estudios realizados sobre el uso del mismo en la alimentación porcina muestran un ahorro en costos de ganancia de peso por la disminución en el consumo de materia seca (López et al., 2010).

Los insumos seleccionados para el estudio son:

- Fuentes de energía: aceite crudo de palma, maíz y melaza.
- Fuentes de proteína: soya
- Fuentes de minerales: biofos, carbonato de calcio y sal.
- Insumos alternos estandarizados: afrecho de arroz, harina de carne, harina de coquito, harina de pescado y salvado de trigo (Águila, 2009).
- Insumos alternos rústicos: ariche y suero de leche líquido (Águila, 2009).

#### **Restricciones del modelo de minimización.**

La inclusión de límites al modelo permite establecer un área factible donde un punto óptimo es elegido. La obtención del área factible es posible por la interacción de los coeficientes técnicos con el recurso disponible conocido también como límites del modelo.

**Coefficientes técnicos.** Los coeficientes técnicos son los aportes en composición química, mineral, vitaminas y amino ácidos de cada insumo considerado para la formulación de la dieta para cerdos. Estos aportes fueron seleccionados de las Tablas NRC registradas en el libro “(Committee on Nutrient Requirements of Swine et al., 2012 // 1900).

**Límites del modelo.** Los límites del modelo son los porcentajes máximos y mínimos que pueden ser incluidos de la parte química, mineral, vitaminas y amino ácidos de los insumos en la dieta para el normal desarrollo del cerdo en su etapa de finalización. Los niveles permitidos de inclusión fueron tomados de Necesidades Nutricionales para Ganado Porcino: Normas FEDNA y Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos.

**Escenarios.** Los escenarios del modelo se encuentran clasificados por etapa fisiológica del cerdo, consecuentemente el estudio se clasifica en dos etapas fisiológicas: cerdos en etapa de finalización con peso promedio de 50 a 75 kg y cerdos en etapa de finalización con peso promedio de 75 a 100 kg.

Adicionalmente, los escenarios se amplían en base al insumo incluido a la dieta. La inclusión de los insumos podía ser sólo ariche, sólo suero o la inclusión de los dos insumos. La separación por inclusión de un solo insumo se da para ajustarse a las necesidades de los productores, es decir para aquellos que no desean una dieta con ambos insumos, puede optar

por la que incluye suero o la que incluye ariche. Para efectos del estudio el productor que sólo desea usar ariche es la Unidad Productiva de Cerdos de Zamorano, considerando que por ahora la inclusión de suero o la combinación de ambos a la dieta no es de interés para la unidad.

Para los pequeños productores de la Villa de San Francisco se ofrece el escenario con el uso de suero en la dieta para cerdos y adicionalmente la combinación de ambos insumos: suero y ariche. Los escenarios resultantes para el estudio en base a la necesidad de los involucrados son:

- Escenario 1: Dieta considerando la inclusión de ariche a la dieta de cerdos en etapa de finalización con peso promedio de 50 a 75 kg para la Unidad Productiva de Cerdos Zamorano.
- Escenario 2: Dieta considerando la inclusión de ariche a la dieta de cerdos en etapa de finalización con peso promedio de 75 a 100 kg para la Unidad Productiva de Cerdos Zamorano.
- Escenario 3: Dieta considerando la inclusión de suero a la dieta de cerdos en etapa de finalización con peso promedio de 50 a 75 kg para los pequeños productores de la Villa de San Francisco.
- Escenario 4: Dieta considerando la inclusión de ariche y suero a la dieta de cerdos en etapa de finalización con peso promedio de 50 a 75 kg para los pequeños productores de la Villa de San Francisco.
- Escenario 5: Dieta considerando la inclusión de suero a la dieta de cerdos en etapa de finalización con peso promedio de 75 a 100 kg para los pequeños productores de la Villa de San Francisco.
- Escenario 6: Dieta considerando la inclusión de ariche y suero a la dieta de cerdos en etapa de finalización con peso promedio de 75 a 100 kg para los pequeños productores de la Villa de San Francisco.

**Solver.** Solver es el programa complemento de Microsoft Excel que desarrolla modelos de programación lineal. El desarrollo de los modelos para encontrar una solución óptima es el resultado de la interacción de la función objetivo con las restricciones establecidas. Está interacción permite identificar un área factible que cumple todas las restricciones y optimiza los recursos disponibles.

Una hoja de cálculo de Excel con datos de los requerimientos nutricionales del cerdo, aportes nutricionales de los insumos y el costo de los mismos, relacionados entre sí por la función objetivo permite a Solver encontrar una solución factible. En este caso las

interacciones de Solver da como resultado una dieta de mínimo costo para los distintos escenarios del estudio.

**Informes de Sensibilidad de Solver.** Los Informes de Sensibilidad de Solver son reportes que presenta Solver una vez el modelo de programación lineal para minimización ha encontrado una solución óptima, en este caso la formulación de una dieta.

Para análisis de los efectos del cambio en los precios de los insumos en el estudio se usaron los informes de sensibilidad de Solver, que dan a conocer los rangos en los que la solución óptima encontrada por Solver se puede mantener a pesar del cambio en precios de los insumos. Adicionalmente, muestra el rango en el que la solución óptima cambia a razón del cambio en los precios de los insumos.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Disponibilidad de los insumos.** La disponibilidad de los insumos se determinó por el contacto con los proveedores de los insumos, que están a disposición en el mercado local para negociar la adquisición de los insumos.

Para el estudio, se analizó la base de datos provista por la Planta de Lácteos de Zamorano en el primer semestre del 2017 que mostró un ingreso promedio de 5,120 litros de leche diarios, de los cuales el 40% es destinado para la producción de quesos.

El proceso de la elaboración de quesos en general hace uso efectivo de la leche en un 17%, aproximadamente. El residuo resultante del proceso es el suero. Es decir 2,123 litros diarios de suero en promedio son desechados en la Planta de Lácteos de Zamorano. Desecho que puede ser destinado para la alimentación animal.

En la Planta de Lácteos de Zamorano el suero es tratado como desecho y no se ha considerado la posibilidad de venderlo, por lo tanto, para fines del estudio sólo debe considerarse el costo de transporte y no del suero en sí (R. Choriego, 2017).

El ariche es producido por las plantas extractoras de aceite de palma. En Honduras existe un área de producción de 160 mil ha para el cultivo de palma con un rendimiento promedio de 17 tm/ha que generan 540,000 tm/año de aceite y una producción de desechos del 1.41% esto es 3,807,000 tm (Zelaya, 2016).

Para fines del estudio se considera a la Corporación Industrial Sula (COINSU) como proveedor del ariche, quiénes en el 2013 inauguraron una planta procesadora con capacidad para procesar cerca de 650 toneladas diarias de aceite de palma africana.

El proceso de extracción del aceite de palma genera entre 1.2% (Aroca, 2014) y 1.41% de desechos (ariche) (Zelaya, 2016). Consecuentemente, la producción de este desecho por COINSU en la extracción del aceite de palma es de 7.8 toneladas diarias. Insumo que es catalogado como desecho por la empresa al no contar con un control estandarizado para el mismo, por tanto, no hay precio de venta. El costo de transporte es el único a considerar por el momento.

La disponibilidad de los insumos restantes fue determinada por el contacto a los proveedores que cuentan con el insumo en inventario y facilitaron el precio de venta de los insumos que ellos ofrecen. En el Cuadro 1 podemos observar los insumos para la formulación de la dieta con información de sus respectivos proveedores.

**Cuadro 1. Información de ubicación y costos de los proveedores de insumos para la formulación de dieta de cerdos, Honduras, 2017.**

<b>Insumo</b>	<b>Proveedor</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo Unitario L</b>
Aceite crudo de palma	Corporación Industrial Sula	Choloma	kg	18.80
Afrecho de arroz	Alimentos Concentrados FAFER S. de R.L.	San Pedro Sula	kg	6.60
Ariche	Corporación Industrial Sula	Choloma	kg	0.00
Biofos	COHORSIL	Siguetepeque	kg	20.37
Carbonato de calcio	COHORSIL	Siguetepeque	kg	2.64
Harina de pescado	Aqua Finca San Peter Fish	Santa Cruz de Yojoa	kg	20.24
Harina de carne	Agroindustrias Del Corral	Siguetepeque	kg	30.80
Harina de coquito	Corporación Industrial Sula	Choloma	kg	2.53
Maíz	Alimentos Concentrados FAFER S. de R.L.	San Pedro Sula	kg	6.60
Melaza	Compañía Azucarera Hondureña S.A.	San Pedro Sula	kg	2.47
Sal común	Alimentos Concentrados FAFER S. de R.L.	San Pedro Sula	kg	1.98
Salvado de trigo	Alimentos Concentrados FAFER S. de R.L.	San Pedro Sula	kg	4.84
Soya	Alimentos Concentrados FAFER S. de R.L.	San Pedro Sula	kg	10.56
Suero	Planta de Lácteos de Zamorano	Valle del Yeguaré	Litros	0.00

En el Cuadro 1 se observa que el precio de los insumos: suero y ariche es de L 0.00/kg. El motivo de tal precio es que las plantas procesadoras que generan dichos insumos consideran a los mismos como un desecho y no cuentan con un precio establecido para la comercialización del mismo.

**Aportes nutricionales de los insumos.** La selección de las fuentes de información para recopilar datos de aportes nutricionales de los insumos para la formulación de la dieta dio como resultado la selección de los siguientes recursos:

- “Nutrient Requirement of Swine” para tablas de aportes nutricionales de los insumos.
- Necesidades Nutricionales para Ganado Porcino: Normas FEDNA para tablas de recomendaciones de insumos por etapa fisiológica para la formulación de piensos para cerdos.

De la información presentada en los recursos antes mencionados se seleccionó:

- Composición química de los insumos (Anexo 1).
- Composición de macrominerales de los insumos (Anexo 2).
- Composición de microminerales de los insumos (Anexo 3).
- Composición en vitaminas de los insumos (Anexo 4).
- Composición de amino ácidos de los insumos (Anexo 5); (Anexo 6).

**Requerimientos nutricionales del cerdo.** Los requerimientos nutricionales para cerdos en etapa de finalización en base a peso vivo fueron determinados con el uso de las tablas elaboradas y presentadas en el “Nutrient Requirement of Swine”.

Los requerimientos nutricionales del cerdo varían por etapa fisiológica, peso y composición nutricional de los insumos usados en la dieta. En el Cuadro 2 podemos observar los requerimientos de composición química que se deben suplir por la dieta suministrada a los cerdos en etapa de finalización en base al peso vivo del cerdo.

Cuadro 2. Requerimientos nutricionales de composición química para dieta de cerdos en etapa de finalización en base a peso vivo, Honduras, 2017.

Composición química	Unidad	Relación	Peso vivo (kg)	
			50 - 75	75 - 100
Materia seca	%	>=	90.000	90.000
Energía metabolizable	kcal/kg	==	3300.000	3300.000
Proteína cruda	%	>=	14.800	14.800
Proteína cruda	%	<=	18.000	17.000
FND	%	>=	0.000	0.000
FND	%	<=	7.000	7.000

Fuente: Nutrient Requirement of Swine Eleventh Revised Edition 2012, Necesidades Nutricionales para Ganado Porcino: Normas FEDNA, y Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos.

FND: Fibra Neutro Detergente.

La composición mineral de los insumos permite formular dietas que provean minerales que el cerdo no puede sintetizar por sí mismo. Si los minerales no son suplidos correctamente los ciclos de vida se acortan por los procesos que no se realizaron dentro del organismo. Además, la función que tiene cada mineral en el organismo no es reemplazable por otro.

Los requerimientos minerales del cerdo están clasificados en dos grupos: minerales macro y micro. En el Cuadro 3 podemos observar los minerales macro que debe suplir la dieta formulada para cerdos en etapa de finalización en base a su peso vivo.

Cuadro 3. Requerimientos nutricionales de composición de macrominerales para dieta de cerdos en etapa de finalización en base a peso vivo, Honduras, 2017.

Macromineral	Unidad	Relación	Peso vivo (kg)	
			50 - 75	75 - 100
Calcio	%	>=	0.59	0.52
Calcio	%	<=	0.80	0.80
Fósforo	%	>=	0.52	0.47
Fósforo	%	<=	0.55	0.53
Sodio	%	>=	0.10	0.10
Cloro	%	>=	0.08	0.08
Potasio	%	>=	0.19	0.17
Magnesio	%	>=	0.04	0.04

Fuente: Nutrient Requirement of Swine Eleventh Revised Edition 2012 y Necesidades Nutricionales para Ganado Porcino: Normas FEDNA.

Los microminerales deben ser suplidos por la dieta también. Son requeridos en menor cantidad, no obstante, son esenciales para que el cerdo exprese todo su potencial productivo. En el Cuadro 4 se detallan los requerimientos de microminerales que deben ser suplidos en la dieta para cerdos en etapa de finalización en base a su peso vivo.

Cuadro 4. Requerimientos nutricionales en composición de microminerales para dieta de cerdos en etapa de finalización en base a peso vivo, Honduras, 2017.

Micromineral	Unidad	Relación	Peso vivo (kg)	
			50 - 75	75 - 100
Cobre	%	>=	0.000350	0.00030
Hierro	%	>=	0.005000	0.00400
Manganeso	%	>=	0.000200	0.00020
Selenio	%	>=	0.000015	0.00002
Zinc	%	>=	0.005000	0.00500

Fuente: Nutrient Requirement of Swine Eleventh Revised Edition 2012.

Las vitaminas son compuestos orgánicos y similares a los minerales micro son requeridos en cantidades pequeñas y al no poder ser sintetizados por el animal deben ser suplidos por la dieta. En el Cuadro 5 se detallan los requerimientos en vitaminas que deben ser suplidos por las dietas para cerdos en etapa de finalización en base a su peso vivo.

Cuadro 5. Requerimientos nutricionales de composición de vitaminas para dieta de cerdos en etapa de finalización en base a peso vivo, Honduras, 2017.

Requerimiento	Unidad	Relación	Peso vivo (kg)	
			50 - 75	75 - 100
Biotina	%	>=	0.000005	0.000005
Colina	%	>=	0.000300	0.000300
Folacina	%	>=	0.000030	0.000030
Niacina	%	>=	0.003000	0.003000
Ácido pantoténico	%	>=	0.000700	0.000700
Riboflavina	%	>=	0.000200	0.000200
Tiamina	%	>=	0.000100	0.000100
Vitamina B6	%	>=	0.000100	0.000100

Fuente: Nutrient Requirement of Swine Eleventh Revised Edition 2012.

El requerimiento de proteína está ligado directamente con el requerimiento de amino ácidos del cerdo. La proteína hidrolizada de los alimentos da como resultado los amino ácidos, los mismos que están clasificados en esenciales y no esenciales.

Para el normal desarrollo de los cerdos los amino ácidos esenciales son los que deben ser suplidos en la dieta considerando que no pueden ser sintetizados por el organismo del animal. En el cuadro 6 están detallados los requerimientos en amino ácidos que deben ser suplidos en la dieta para cerdos en etapa de finalización en base a su peso vivo.

Cuadro 6. Requerimientos nutricionales de composición de amino ácidos para dieta de cerdos en etapa de finalización en base a peso vivo, Honduras, 2017

Amino Ácido	Unidad	Relación	Peso vivo (kg)	
			50 - 75	75 - 100
Lisina	%	>=	0.970	0.840
Metionina	%	>=	0.280	0.250
Treonina	%	>=	0.640	0.560
Triptofano	%	>=	0.170	0.150
Lisina	%	<=	1.040	0.900
Metionina	%	<=	0.320	0.280
Treonina	%	<=	0.680	0.580

Cuadro 6.1. Continuación

Amino Ácido	Unidad	Relación	Peso vivo (kg)	
			50 - 75	75 - 100
Triptofano	%	<=	0.200	0.170
Agrinina	%	>=	0.440	0.380
Histidina	%	>=	0.340	0.300
Isoleucina	%	>=	0.520	0.450
Leucina	%	>=	0.980	0.850
Cistina	%	>=	0.290	0.250
Fenilalanina	%	>=	0.590	0.510
Tirosina	%	>=	0.350	0.310
Valina	%	>=	0.650	0.570

Fuente: Nutrient Requirement of Swine Eleventh Revised Edition 2012 y Necesidades Nutricionales para Ganado Porcino: Normas FEDNA.

**Restricciones de composición.** Las restricciones de composición para la formulación de dietas en base a peso vivo se determinaron con el uso de las tablas elaboradas y presentadas en las siguientes fuentes:

- “General Nutrition Principles for Swine” para tablas de niveles máximos de inclusión de insumos a la dieta en base a su aporte de energía, proteína y minerales.
- Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos para tablas de niveles prácticos y máximos de inclusión de insumos a la dieta de cerdos.
- Necesidades Nutricionales para Ganado Porcino: Normas FEDNA para tablas de recomendaciones de insumos por etapa fisiológica para la formulación de piensos para cerdos.

Para la formulación de una dieta se debe considerar el efecto en el comportamiento biológico del cerdo por la combinación de distintos insumos en la dieta ofrecida. Niveles de inclusión han sido establecidos por distintos grupos de investigación para obtener una dieta equilibrada en nutrientes, biológicamente óptima y palatable para el cerdo. En el Cuadro 7 podemos observar las restricciones de niveles óptimos de inclusión de los insumos en la dieta.

Cuadro 7. Niveles recomendados de inclusión de los insumos en la formulación de dietas para cerdos de engorde en etapa de finalización, Honduras, 2017.

Insumo	Unidad	Relación	Restricción
Melaza	kg	>=	0.030
Sal	kg	>=	0.003
Suero	litros	>=	0.000
Aceite	kg	<=	0.050
Afrecho de arroz	kg	<=	0.100
Ariche	kg	<=	0.050
Biofos	kg	<=	0.013
Carbonato calcio	kg	<=	0.011
Harina carne	kg	<=	0.050
Harina coquito	kg	<=	0.050
Harina pescado	kg	<=	0.000
Maíz	kg	<=	0.750
Melaza	kg	<=	0.050
Sal	kg	<=	0.005
Salvado trigo	kg	<=	0.100
Soya	kg	<=	0.700
Suero	litros	<=	5.000

Fuente: Necesidades Nutricionales para Ganado Porcino: Normas FEDNA, “General Nutrition Principles for Swine” y Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos.

En el caso de la harina de pescado como es visible en el Cuadro 7 tiene un nivel de inclusión máximo de 0.00 kg en la dieta. El nivel de inclusión recomendado máximo y promedio es del 5%, siguiendo la aclaración técnica de un experto en el área, quién indico que para etapas de finalización en cerdos no es conveniente su inclusión. El insumo a pesar de ser una fuente alta en proteína tiene efectos negativos en el olor de la carne (R. Castillo, 2017).

En el caso del ariche y harina de coquito son fuentes ricas en fibra por lo que su uso es restringido y modificado para evitar problemas de digestibilidad en el cerdo. De acuerdo a Castillo (2017) la inclusión de un 10% de ariche en la dieta es aceptable, en el caso de la harina de coquito el nivel de inclusión es del 10% también (Vargas y Zumbado, 2001). Sin embargo, Zambrano (2013) recomienda no superar el 6% de inclusión de insumos altos en contenido de polisacáridos no amiláceos es decir fibra difícil de digerir en intestinos monogástricos. Como resultado se ha establecido que la suma de inclusión de ariche y harina de coquito no debe superar el 10% en la dieta pudiendo ser un aporte de 5% de cada uno, este porcentaje puede cambiar de acuerdo a las necesidades del productor.

**Costo total de la dieta.** El costo total de la dieta es el resultado de la interacción del costo total unitario de los insumos con la cantidad a utilizar de cada insumo. La cantidad por

utilizar de cada insumo es el resultado del desarrollo del programa complemento de Microsoft Excel, Solver, que es capaz de resolver el modelo de programación lineal para problemas de minimización.

**Costo total unitario.** El costo total unitario permite que Solver resuelva el modelo de minimización al ser los coeficientes de la función objetivo. Para el cálculo del costo total unitario se determinó el costo del insumo puesto en la Planta de Concentrados de Zamorano. En el Cuadro 8 se detalla la distancia desde el proveedor hasta la planta para proceder con el cálculo del costo total unitario.

Cuadro 8. Distancia por recorrer del insumo desde su proveedor hasta la Planta de Concentrados de Zamorano, Honduras, 2017

<b>Proveedor</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Distancia Km</b>
Agroindustrias Del Corral	Siguetepeque	159.00
Alimentos Concentrados FAFER S. de R.L.	San Pedro Sula	280.00
Aqua Finca San Peter Fish	Santa Cruz de Yojoa	226.00
COHORSIL	Siguetepeque	155.00
Compañía Azucarera Hondureña S.A.	San Pedro Sula	269.00
Corporación Industrial Sula	Choloma	318.00

Un cuadro general de las distancias a recorrer de los insumos fue desarrollado considerando que la dieta para cerdos en etapa de finalización en base a su peso vivo para la Unidad Productiva de Cerdos de Zamorano y los pequeños productores de la Villa de San Francisco será elaborado en la Planta de Concentrados de Zamorano.

En el caso del suero, este no debe ser transportado hacia la Planta de Concentrados de Zamorano para su procesamiento a concentrado animal. Este será ofrecido a los cerdos en estado líquido por los pequeños productores de la Villa de San Francisco, quienes sólo deben cubrir el costo de transporte de HNL 2.96 por los 37 km desde la Planta de Lácteos de Zamorano hacia la Villa de San Francisco.

En el Cuadro 9 podemos observar la distancia el costo por kilómetro recorrido de los insumos hasta ser puestos en la Planta de Concentrados de Zamorano. El costo de transporte es de L 0.002 km/kg, considerando un costo de transporte de HNL 17,000.00 por recorrer 280 km desde San Pedro Sula a Zamorano con una carga de 600 qq de 45,45 kg cada uno.

El cálculo de los costos totales unitarios de cada insumo considerando el costo de HNL 0.002 km/kg como factor de multiplicación por distancia recorrida de cada insumo a incluir en la dieta se detalla en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Costo total unitario de los insumos a utilizar en la formulación de la dieta para cerdos en etapa de finalización en base a peso vivo, Honduras, 2017.

Insumo	Unidad	Costo unitario	Costo transporte	Costo total
		HNL	km/kg	km/kg
Aceite crudo de palma	kg	18.80	0.696	19.50
Afrecho de arroz	kg	6.60	0.612	7.21
Ariche	kg	0.00	0.696	0.70
Biofos	kg	20.37	0.339	20.71
Carbonato de calcio	kg	2.64	0.339	2.98
Harina de pescado	kg	42.11	0.494	42.60
Harina de carne	kg	30.80	0.348	31.15
Harina de coquito	kg	2.53	0.696	3.23
Maíz	kg	6.60	0.612	7.21
Melaza	kg	2.47	0.588	3.06
Sal común	kg	1.98	0.612	2.59
Salvado de trigo	kg	4.84	0.612	5.45
Soya	kg	10.56	0.612	11.17

En el cuadro 9 el costo total de suero no está detallado por razones de unidad de medida. El costo total unitario del suero es 0.08 km/L, el suero no cuenta con precio de venta al ser catalogado como un desecho en la Planta de Lácteos de Zamorano, en consecuencia, su costo es únicamente el de transporte.

Obtenidos los costos totales unitarios de los insumos el establecimiento de la función objetivo está completo y el desarrollo del modelo de programación lineal por el programa complemento de Microsoft Excel, Solver, es posible. Se designó a cada insumo (variable decisión) una variable que representa la incógnita por resolver.

Las variables que representan incógnita son: Aceite de palma (X1), afrecho de arroz (X2), ariche (X3), biofos (X4), carbonato de calcio (X5), harina de pescado (X6), harina de carne (X7), harina de coquito (X8), maíz (X9), melaza (X10), sal común (X11), salvado de trigo (X12), soya (X13) y suero (X14).

La Ecuación 1 es la función objetivo a desarrollar para la Unidad Productiva de Cerdos de Zamorano por el programa complemento de Microsoft Excel:

$$\text{Costo Total (Z)} = 19.50 X1 + 7.21 X2 + 0.70 X3 + 20.71 X4 + 2.98 X5 + 20.73 X6 + 31.15 X7 + 3.23 X8 + 7.21 X9 + 3.06 X10 + 2.59 X11 + 5.19 X12 + 11.17 X13 + 0.003 X14 \quad [1]$$

La Ecuación 2 es la función objetivo a desarrollar para la Unidad Productiva de Cerdos de Zamorano por el programa complemento de Microsoft Excel se detalla es:

$$\text{Costo Total (Z)} = 19.50 X1 + 7.21 X2 + 0.70 X3 + 20.71 X4 + 2.98 X5 + 20.73 X6 + 31.15 X7 + 3.23 X8 + 7.21 X9 + 3.06 X10 + 2.59 X11 + 5.19 X12 + 11.17 X13 + 0.08 X14 \quad [2]$$

**Solver.**

Solver desarrolló los modelos de programación lineal combinando la función objetivo con las restricciones de cada variable decisión encontrando soluciones óptimas para cada escenario del estudio.

A los valores finales de la función objetivo, los cuales son costos totales de las diferentes dietas en base a los diferentes escenarios propuestos, se agregó el costo del suplemento de minerales y vitaminas. Se consideró un costo promedio de HNL 50.04 /kg de suplemento que será adicionado a la dieta en una proporción de 0.30%, es decir HNL 0.15/ kg.

El costo de mezclado es agregado también a los costos totales, el cual es de \$ 2.00 por tonelada, considerando mano de obra, encendido de motor (8 – 10 minutos) y motor (20 – 30 caballos de fuerza) (E. Moncada, 2017). En términos de moneda local a última actualización al 22 de agosto del presente de L 23.37 por dólar el costo de mezclado es de HNL 0.05/kg. El costo adicional total que abarca costo de mezclado y adición de suplemento es de HNL 0.20 por kilogramo, este costo debe ser adicionado al costo total de la dieta propuesta por Solver.

La combinación óptima que cumple con los requerimientos nutricionales del cerdo y niveles de inclusión de insumos para dieta de cerdos en etapa de finalización con peso promedio de 50 a 75 kg y 75 a 100 kg para la Unidad Productiva de Cerdos de Zamorano y los pequeños productores de la Villa de San Francisco recomendados por Solver para los distintos escenarios del estudio está detallado en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Dietas propuestas por Solver para los distintos escenarios del estudio, Honduras, 2017.

Insumo	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
Aceite crudo de palma	%	-£	-	-	-	-	-
Afrecho de arroz	%	-	1.05	0.22	-	-	-
Ariche	%	2.78	-	5.00	5.00	-	1.07
Biofos	%	1.29	1.30	1.30	1.30	1.27	1.13
Carbonato de calcio	%	1.02	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Harina de pescado	%	-	-	-	-	-	-
Harina de carne	%	1.83	-	-	1.46	-	-
Harina de coquito	%	5.00	0.27	3.82	5.00	0.90	1.70
Maíz	%	60.22	73.28	68.40	56.96	75.00	73.36
Melaza	%	3.37	5.00	3.40	3.40	3.63	3.84
Sal común	%	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Salvado de trigo	%	-	-	-	1.30	-	-
Soya	%	23.70	17.21	15.96	23.68	17.31	17.00
Suero	Litros	-	4.69	4.64	-	4.62	4.62

£: Representa valores menores a 0.001

El Escenario 1 y 4 fueron formulados con una restricción de inclusión de suero de “mayor o igual” a cero para productores y escenarios donde el uso de suero representa problemas de sanidad, por ejemplo presencia de plagas como ser aves y roedores atraídos por el insumo, derivándose en problemas que afectan la productividad de las unidades productoras de cerdos (R. Castillo, 2017).

La formulación de los Escenarios 2, 3, 4 y 5 es considerando una disminución en consumo del 25% por el uso de suero (Bauzá et al., 2007). Consecuentemente, se realizó un ajuste al aporte nutricional por kilogramo consumido considerando que el consumo de materia seca tiene una relación inversamente proporcional al consumo de suero.

Para los Escenarios 2, 3, 5 y 6 no se usó la restricción de suero y se dejó a libertad del programa el incluir o descartar el suero en la formulación de la dieta para los cerdos en etapa de finalización. Sin embargo, para los Escenarios 2 y 5 se usó una restricción de “mayor o igual” a cero para el ariche, esto para productores que desean una dieta solo con la inclusión de suero y no de ariche.

En los Escenarios 2, 5 y 6 se relajó la restricción de inclusión de maíz del 70% (Rostagno et al., 2011) a un 75% considerando la recomendación de que el maíz no tiene restricción alguna para su inclusión en la dieta para cerdos (DeRouchey et al., 2007). En el escenario 1 y 4 se relajó la restricción de inclusión de soya del 20% (Rostagno et al., 2011) a un 24% considerando la inclusión de soya en la dieta actual (Ferrera, 2017) y que no hay restricción de inclusión en la dieta para cerdos (DeRouchey et al., 2007).

El porcentaje de fibra de las dietas es del 7% menor al 11% mínimo recomendado (Blas, Gasa, y Mateos, 2013). El contenido de fibra de una dieta no debe ser alta porque puede disminuir la digestibilidad de otros nutrientes al acelerar el paso del alimento por el tracto intestinal, es decir menor tiempo para la absorción de nutrientes (FAO, 2012). La fibra tiene relación directa con la ingesta de alimento del cerdo por su digestibilidad por ello el contenido de fibra es menor en las dietas formuladas.

Las dietas cumplen con los mínimos requeridos recomendados de calcio, fósforo, metionina, treonina y triptófano. En el caso de la lisina para los cerdos de los Escenarios 1, 2 y 3 no se alcanzaron los mínimos requeridos recomendados, no obstante, brindan un aporte mayor al de la dieta actual. La dieta actual y la formulada son complementadas con la adición de suplementos de vitaminas, minerales, amino ácidos, según corresponda.

Una vez Solver ha encontrado una solución óptima dentro del área factible reporta los valores de las variables de decisión, mostrados anteriormente en el Cuadro 10. El valor de la función objetivo es el costo total de la dieta detallado en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Costo total de la dieta en contraste con la dieta de Zamorano, Honduras, 2017.

Escenarios	Costo (HNL/kg)			Reducción	
	Solver	Suplemento y molienda	Total	Dieta UPCZ <sup>1</sup>	%
Escenario 1	7.90	0.20	8.10	8.73	7
Escenario 2	8.14	0.28 <sup>2</sup>	8.42	8.73	4
Escenario 3	7.68	0.28 <sup>2</sup>	7.96	8.73	9
Escenario 4	7.89	0.20	8.09	10.78	25
Escenario 5	8.16	0.28 <sup>2</sup>	8.44	10.78	22
Escenario 6	8.02	0.28 <sup>2</sup>	8.30	10.78	23

UPCZ: Unidad Productiva de Cerdos de Zamorano.

1. Dieta correspondiente al mes de junio.
2. Adicionado el costo de transporte de Zamorano a la Villa de San Francisco, HNL 0.08.

En el Cuadro 11 se observa una reducción mayor al 4% para los Escenario 1, 2 y 3, por otro lado, la reducción es mayor al 20% en los Escenarios 4, 5 y 6 en relación con el costo por kilogramo de Zamorano para cada etapa de finalización. La diferencia en el porcentaje de reducción entre etapas de finalización puede ser atribuida a la diferencia en requerimientos nutricionales. Esto se debe a que el requerimiento nutricional en cerdos de 75 a 100 kg es menor a la de los cerdos de 50 a 75 kg, además la combinación de suero y ariche hace que la dieta sea más económica por el precio de venta de los insumos al productor.

Los diferentes experimentos realizados sobre la inclusión de suero en la dieta del cerdo presentan resultados favorables. En un estudio se encontró que el uso de dietas con insumos alternativos y suero no alteró la velocidad de crecimiento, en cambio mejoró eficiencia de conversión alimenticia y a un menor costo con relación a la dieta sin inclusión de suero (Bauzá et al., 2005). En el 2010 otro estudio fue realizado con niveles de inclusión de ninguno, 6 y 12 litros de suero en dieta de cerdos de 50 kg que alcanzaron un peso final de 98.5 kg y una reducción en los costos por kilogramo ganado (López et al., 2010).

Las dietas formuladas por Solver están en base a los precios de los proveedores externos localizados durante el estudio. En busca de contrastar eficazmente la diferencia en precios el modelo fue desarrollado una vez más con los precios en bodega con los que cuenta la Planta de Concentrados de Zamorano. En el Cuadro 12 es posible visualizar el costo de la dieta formulada por Solver con precios de Zamorano.

Cuadro 12. Costo total de las dietas en cada escenario con distintos precios de insumos según origen en contraste con el precio de venta de las dos dietas actuales de Zamorano, Honduras, 2017.

Escenarios	Origen de precio de insumos		Dieta Zamorano	Reducción %
	Externo	Zamorano		
Escenario 1	8.10	8.30	8.73	5
Escenario 2	8.42	8.55	8.73	2
Escenario 3	7.96	8.30	8.73	5
Escenario 4	8.09	8.29	10.78	23
Escenario 5	8.44	8.80	10.78	18
Escenario 6	8.30	8.66	10.78	20

En el Cuadro 12 se observa que para los Escenarios 1, 2 y 3 el porcentaje de reducción en el costo es menor que los encontrados para los Escenarios 4, 5 y 6. Sin embargo, en todos los escenarios se visualiza un ahorro al seguir las formulaciones encontradas en el estudio.

Las nuevas formulaciones cumplen con los mínimos requeridos recomendados de calcio, fósforo, metionina, treonina y triptófano. En el caso de la lisina para los cerdos de los Escenarios 1, 2 y 3 no se alcanzaron los mínimos requeridos recomendados, no obstante, brindan un aporte mayor al de la dieta actual. La dieta actual y la formulada son complementadas con la adición de suplementos de vitaminas, minerales, amino ácidos, según corresponda.

Para las nuevas formulaciones el porcentaje de fibra del 7% se mantuvo para evitar que la dieta presente un alto contenido de fibra. Como se mencionó anteriormente el contenido alto de fibra puede disminuir la digestibilidad de otros nutrientes importantes para el desarrollo del cerdo.

En el Cuadro 13 es posible observar las nuevas formulaciones encontradas por Solver dentro del área factible con la interacción de los nuevos coeficientes de la función objetivo y manteniendo las restricciones que dieron como resultado las formulaciones del Cuadro 11.

Las dietas que cumplen con los requerimientos nutricionales del cerdo y niveles de inclusión de insumos para dietas de cerdos en etapa de finalización con peso promedio de 50 a 75 kg y 75 a 100 kg para la Unidad Productiva de Cerdos de Zamorano y los pequeños productores de la Villa de San Francisco recomendados por Solver para los distintos escenarios del estudio con precios en bodega de la Planta de Concentrados de Zamorano está detallado en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Dietas propuestas por Solver para los distintos escenarios del estudio con precios de Zamorano, Honduras, 2017.

Insumo	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
Aceite crudo de palma	%	-	-	-	-	-	-
Afrecho de arroz	%	0.35	0.35	0.22	0.48	-	-
Ariche	%	5.00	-	5.00	5.00	-	1.12
Biofos	%	1.27	1.30	1.30	0.99	1.27	1.30
Carbonato de calcio	%	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Harina de pescado	%	-	-	-	-	-	-
Harina de carne	%	1.78	-	-	2.02	-	-
Harina de coquito	%	5.00	3.12	3.82	5.00	0.90	1.99
Maíz	%	59.44	69.45	68.40	58.24	75.00	72.78
Melaza	%	3.00	7.24	3.40	3.40	3.63	4.01
Sal común	%	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Salvado de trigo	%	-	-	-	-	-	-
Soya	%	22.26	16.64	15.96	22.97	17.31	16.90
Suero	Litros	-	4.84	4.64	-	4.62	4.65

La inclusión de ariche en las dietas para la nueva formulación ha cambiado en relación con la encontrada en el Cuadro 10. La inclusión del 5% de ariche es recomendada para los Escenarios 1, 3 y 4. Los escenarios 2 y 5 cuentan con una restricción de un nivel de inclusión de ariche de “menor o igual” a cero considerando que son escenarios para productores que no desean la inclusión de ariche en las dietas.

**Análisis por cambio en precio de los insumos.** Los análisis por cambio en precio de los insumos usados para la formulación de las dietas son provistos por Solver una vez este ha encontrado una solución que satisface todas las restricciones del modelo propuesto. Los informes de sensibilidad presentados son para las dietas formuladas con los precios de proveedores externos. En el Cuadro 14 está el informe de sensibilidad para el Escenario 1 que muestra la respuesta de la dieta a cambios en el precio de mercado de los insumos.

Cuadro 14. Efecto del cambio en precio de los insumos para Escenario 1, Honduras, 2017.

<b>Insumo</b>	<b>Costo reducido</b>	<b>Coefficiente objetivo</b>	<b>Permisible aumentar</b>	<b>Permisible disminuir</b>
Aceite crudo de palma	24.43	19.50	1.00E+30	24.43
Afrecho de arroz	£	7.21	1.14E+01	0.11
Ariche	-	0.70	9.67	1.00E+30
Biofos	-	20.71	29.15	1.00E+30
Carbonato de calcio	-	2.98	50.04	7.43E+15
Harina de pescado	32.24	42.60	1.00E+30	3.22E+01
Harina de carne	-	31.15	1.00E+30	14.13
Harina de coquito	-	3.23	9.22	1.00E+30
Maíz	-	7.21	0.20	1.67
Melaza	-	3.06	8.00	4.28E-01
Sal común	-	2.59	50.43	1.00E+30
Salvado de trigo	-	5.45	1.63E-01	31.02
Soya	-	11.17	2.23	9.36E+01
Suero	1.95	0.00	1.00E+30	1.95E+00

£: Representa valores menores a 0.001.

En el Cuadro 14 es posible observar el comportamiento de los insumos en relación con un aumento o disminución en el precio de los mismos. Para este escenario el ariche, biofos, harina de pescado, harina de coquito, melaza, sal común, soya y suero no son sensibles a una disminución en el precio, es decir se mantendrá la formulación encontrada por Solver. Los insumos sensibles a una disminución en el precio son maíz y afrecho de arroz, su sensibilidad expresa que una reducción mayor a HNL 1.67/kg y HNL 0.11/kg respectivamente dará paso a una reformulación de la dieta.

Los insumos sensibles a un aumento en el precio son maíz y soya. Si, el precio sube en más de HNL 0.20/kg y HNL 2.23/kg, respectivamente, la formulación cambiará. Los insumos indiferentes a un aumento en precios son aceite crudo de palma, afrecho de arroz, harina de pescado, harina de carne y salvado de trigo.

El informe permite analizar escenarios de establecimiento de precios en el ariche cuyo precio actual en el estudio es solo el incurrido en el transporte. El precio del ariche puede alcanzar hasta un L10.37/kg y el nivel de inclusión de 2.78% se mantiene, caso contrario se debe reformular la dieta.

En el Cuadro 15 se detalla el informe presentado por Solver del efecto del cambio en precios de los insumos incluidos en la dieta para el escenario 2 y los rangos que permiten mantener la solución óptima encontrada.

Cuadro 15. Efecto del cambio en precios de los insumos para Escenario 2, Honduras, 2017.

<b>Insumo</b>	<b>Costo reducido</b>	<b>Coefficiente objetivo</b>	<b>Permisible aumentar</b>	<b>Permisible disminuir</b>
Aceite crudo de palma	41.30	19.50	1.00E+30	41.30
Afrecho de arroz	-£	7.21	6.04	4.64
Ariche	-	0.70	11.06	1.00E+30
Biofos	-	20.71	113.52	1.00E+30
Carbonato de calcio	-	2.98	10.89	1.00E+30
Harina de pescado	14.45	42.60	1.00E+30	1.44E+01
Harina de carne	19.91	31.15	1.00E+30	19.91
Harina de coquito	-	3.23	0.15	4.13
Maíz	-	7.21	6.87	0.08
Melaza	-	3.06	9.71	1.00E+30
Sal común	-	2.59	11.67	1.00E+30
Salvado de trigo	8.41	5.45	1.00E+30	8.41
Soya	-	11.17	0.15	6.13
Suero	-	0.08	0.14	0.25

£: Representan valores menores a 0.001.

En el Escenario 2 los insumos indiferentes a una reducción en el precio son ariche, biofos, carbonato de calcio, harina de pescado, melaza y sal común. Los insumos sensibles a una disminución en el precio son afrecho de arroz y maíz si el precio disminuye en L 3.10/kg y L 0.08/kg, respectivamente, se debe reformular.

Los insumos indiferentes a un aumento en el precio son aceite crudo de palma, harina de carne y salvado de trigo, es decir su nivel de inclusión se mantendrá. Los insumos sensibles al aumento en precios es harina de coquito, soya y suero, si el precio aumenta en HNL 0.15/kg, HNL 0.15/kg y HNL 0.14/litro, respectivamente, se debe reformular.

En el Cuadro 16 se detalla la dieta propuesta para los cerdos del Escenario 3, escenario en el que se considera el uso de ambos insumos, suero y ariche en busca de cumplir con los requerimientos nutricionales del cerdo.

Cuadro 16. Efecto del cambio en precios de los insumos para Escenario 3, Honduras, 2017.

<b>Insumo</b>	<b>Costo reducido</b>	<b>Coefficiente objetivo</b>	<b>Permisible aumentar</b>	<b>Permisible disminuir</b>
Aceite crudo de palma	61.94	19.50	1.00E+30	61.94
Afrecho de arroz	- <sup>£</sup>	7.21	4.35	4.16
Ariche	-	0.70	15.01	1.00E+30
Biofos	-	20.71	203.23	1.00E+30
Carbonato de calcio	-	2.98	27.33	1.00E+30
Harina de pescado	10.90	42.60	1.00E+30	1.09E+01
Harina de carne	26.55	31.15	1.00E+30	26.55
Harina de coquito	-	3.23	4.05	2.75E+00
Maíz	-	7.21	5.29	3.06
Melaza	-	3.06	9.71	29.81
Sal común	-	2.59	28.37	1.00E+30
Salvado de trigo	19.92	5.45	1.00E+30	19.92
Soya	-	11.17	5.56	5.51
Suero	-	0.08	0.12	1.45

£: Representan valores menores a 0.001.

Los insumos sensibles a una disminución en precios son afrecho de arroz y soya, por otro lado, los insumos indiferentes a una disminución son ariche, biofos, carbonato de calcio, harina de coquito, maíz, melaza, sal común.

El ariche se usa a razón del 5% en la dieta, recomendación que se mantiene aún si el precio del mismo llega a ser cero. El análisis de un escenario donde el insumo tiene precio de venta es posible. Los productores del Escenario 3 pueden incluir el insumo en la proporción indicada hasta que el producto alcance un precio de HNL 15.71/kg.

En el caso del suero este es sensible a un aumento en el precio. Si el precio del mismo aumenta a más de HNL 0.12/L la dieta debe ser reformulada, es decir un nuevo punto óptimo dentro del área factible debe ser identificado.

En el Cuadro 17 se detalla la dieta propuesta para los cerdos del Escenario 4, escenario en el que se considera el uso de ariche en busca de cumplir con los requerimientos nutricionales del cerdo.

Cuadro 17. Efecto del cambio en precios de los insumos para Escenario 4. Honduras, 2017.

<b>Insumo</b>	<b>Costo reducido</b>	<b>Coefficiente objetivo</b>	<b>Permisible aumentar</b>	<b>Permisible disminuir</b>
Aceite crudo de palma	24.42	19.50	1.00E+30	24.42
Afrecho de arroz	0.11	7.21	1.00E+30	0.11
Ariche	- <sup>£</sup>	0.70	9.68	1.00E+30
Biofos	-	20.71	27.82	1.00E+30
Carbonato de calcio	-	2.98	50.36	9.79E+13
Harina de pescado	32.47	42.60	1.00E+30	32.47
Harina de carne	-	31.15	1.00E+30	14.13
Harina de coquito	-	3.23	9.25	1.00E+30
Maíz	-	7.21	0.20	1.81
Melaza	-	3.06	9.53	0.43
Sal común	-	2.59	50.75	1.00E+30
Salvado de trigo	-	5.45	0.16	125.11
Soya	-	11.17	2.23	97.38
Suero	-	0.00	1.00E+30	1.97E+00

£: Representan valores menores a 0.001.

Los insumos indiferentes a una disminución en precios son: ariche, biofos, carbonato de calcio, harina de coquito, sal común, salvado de trigo y suero. Los insumos sensibles a una reducción en precios son el afrecho de arroz, maíz y melaza.

Los insumos sensibles a un aumento en precios son: aceite crudo de palma, afrecho de arroz, harina de pescado, harina de carne. Los insumos sensibles al aumento en precios son maíz, salvado de trigo y soya, donde aumentos mayores a HNL 0.20/kg, HNL 0.16/kg y HNL 2.23/kg, respectivamente, requerirán una reformulación de la dieta.

En el caso del afrecho de arroz requiere una disminución en HNL 0.11/kg para ser incluido en la dieta. El ariche se incluye a una razón de 5% en la dieta, el aumento en la proporción no es recomendado aún si el precio disminuye. Los productores en este escenario pueden incluir el ariche en la proporción recomendada por el programa si el precio del insumo no sobrepasa de HNL 10.38 /kg.

En el Cuadro 18 se detalla la dieta propuesta para los cerdos del Escenario 5, escenario en el que se considera la inclusión del suero para suplir los requerimientos nutricionales del cerdo.

Cuadro 18. Efecto del cambio en precios de los insumos para Escenario 5. Honduras, 2017

<b>Insumo</b>	<b>Costo reducido</b>	<b>Coefficiente objetivo</b>	<b>Permisible aumentar</b>	<b>Permisible disminuir</b>
Aceite crudo de palma	48.49	19.50	1.00E+30	48.49
Afrecho de arroz	11.95	7.21	1.00E+30	11.95
Ariche	- <sup>£</sup>	0.70	15.62	1.00E+30
Biofos	-	20.71	1.00E+30	4.36
Carbonato de calcio	-	2.98	21.35	1.00E+30
Harina de pescado	39.51	42.60	1.00E+30	39.51
Harina de carne	53.17	31.15	1.00E+30	53.17
Harina de coquito	-	3.23	8.46	3.18
Maíz	-	7.21	1.56	1.00E+30
Melaza	-	3.06	19.59	4.97
Sal común	-	2.59	21.73	1.00E+30
Salvado de trigo	19.63	5.45	1.00E+30	19.63
Soya	-	11.17	9.70	84.40
Suero	-	0.08	1.00E+30	0.20

£: Representan valores menores a 0.001.

El insumo con mayor sensibilidad a un aumento en precios es el maíz donde solo tolera un aumento de HNL 1.56/kg. El insumo con mayor sensibilidad a una disminución en el precio es el biofos donde a una reducción mayor HNL 4.36/kg la inclusión del mismo puede aumentar a 1.30% de inclusión en la dieta.

Los insumos indiferentes a un aumento en precios son aceite crudo de palma, afrecho de arroz, biofos, harina de carne, salvado de trigo y suero. Por otro lado, los insumos indiferentes a una disminución en precios son ariche, carbonato de calcio, maíz, sal común. Es decir, se mantendrá la formulación que encontró Solver.

La recomendación de inclusión de suero para este escenario de 4.62 L/kg, se mantendrá indiferentemente si el precio del mismo aumenta. La inclusión de 17.31 % de soya en la dieta se mantendrá solo si su precio no aumenta en más de HNL 9.70 /kg.

En el Cuadro 19 se detalla la dieta propuesta para los cerdos del Escenario 6, escenario en el que se considera el uso de suero y ariche en busca de cumplir con los requerimientos nutricionales del cerdo.

Cuadro 19. Efecto del cambio en precios de los insumos para Escenario 6, Honduras, 2017.

<b>Insumo</b>	<b>Costo reducido</b>	<b>Coefficiente objetivo</b>	<b>Permisible aumentar</b>	<b>Permisible disminuir</b>
Aceite crudo de palma	88.08	19.50	1.00E+30	88.08
Afrecho de arroz	17.13	7.21	1.00E+30	17.13
Ariche	-	0.70	5.63	1.92
Biofos	-	20.71	398.78	0.57
Carbonato de calcio	-	2.98	19.43	1.00E+30
Harina de pescado	-	42.60	28.60	1.00E+30
Harina de carne	50.36	31.15	1.00E+30	50.36
Harina de coquito	-	3.23	6.76	0.35
Maíz	-	7.21	0.17	3.98
Melaza	-	3.06	6.49	0.59
Sal común	-	2.59	19.82	1.00E+30
Salvado de trigo	30.09	5.45	1.00E+30	30.09
Soya	-	11.17	1.04	6.40
Suero	-	0.08	0.16	0.03

£: Representan valores menores a 0.001.

Los insumos indiferentes a una disminución en precios son carbonato de calcio, harina de pescado y sal común. Los insumos indiferentes a un aumento en precio son aceite crudo de palma, afrecho de arroz, harina de carne y salvado de trigo.

En este escenario el costo reducido no es de utilidad considerando que, para la inclusión de aceite crudo de palma, afrecho de arroz, harina de carne y salvado de trigo el precio de venta de los mismos debe ser menor a cero.

El ariche se usa en un 1.07% en la dieta, la recomendación se mantiene siempre y cuando el precio del mismo no sobrepase de HNL 6.5/kg. La inclusión 4.62 litros/kg se mantiene si el precio permanece en un rango de HNL 0.05 /litro y HNL 0.24/litro caso contrario es necesario reformular.

En el caso del maíz y soya insumos comunes en la formulación de dietas cuando el precio aumenta en HNL 0.17/kg y HNL 1.04/kg será necesario formular. Al reformular el programa reduce la cantidad de inclusión de los mismos y selecciona otros insumos.

Una vez analizados los efectos de los cambios en precios sobre la dieta, se analiza el efecto de cambios en las restricciones de la dieta y el valor final de la función objetivo es decir el costo total de la dieta. El análisis se realizó sobre cambios en los niveles de fibra y proteína en la dieta. En el Cuadro 20 se detallan los efectos en el costo de la dieta los cambios en los niveles de inclusión de fibra en la formulación para los distintos escenarios.

Cuadro 20. Efecto del cambio en nivel de fibra en la dieta para los distintos escenarios, Honduras, 2017.

<b>Escenarios</b>	<b>Precio sombra</b>	<b>RHS</b>	<b>Permisible aumentar</b>	<b>Permisible disminuir</b>
Escenario 1	-0.39	7	0.08	0.19
Escenario 2	-0.65	7	0.04	0.02
Escenario 3	-1.13	7	0.05	0.08
Escenario 4	-0.39	7	0.07	0.23
Escenario 5	-0.80	7	0.03	0.00
Escenario 6	-1.18	7	0.29	0.09

RHS: “Right Hand Side” o límite de la restricción

En el Cuadro 20 se detalla los efectos de aumentar un punto porcentual a la restricción de inclusión de fibra. Para todos los escenarios el aumento de fibra en la dieta representa una disminución en el costo de la misma.

Estudios sobre inclusión de fibra en la dieta están divididos, un estudio que recopiló estudios de fibra indica que a mayor porcentaje de fibra en la dieta la digestibilidad de los nutrientes proteína, energía, fibra y lisina disminuye (López y Tapia, 2005). Por otro lado, un estudio con cerdos en etapa de finalización con dietas altas en fibra de 11%, 13% y 19.8% no reportó diferencia en consumo de alimento entre dietas de 11 y 19.8%. de fibra (Gómez, Benavides, y Diaz, 2007).

Para la formulación de las dietas en el estudio se consideraron niveles de hasta 15.5% de fibra reduciendo así el costo de la dieta. Sin embargo, para la formulación final se mantuvo el porcentaje de fibra del 7% para evitar problemas en el consumo de alimento.

El contenido de proteína en la dieta se analiza en el Cuadro 21 donde se detallan los efectos en el costo de la dieta de los distintos escenarios del estudio el cambio en los niveles de proteína.

Cuadro 21. Efecto del cambio en nivel de proteína en la dieta para los distintos escenarios, Honduras, 2017.

<b>Escenarios</b>	<b>Precio sombra</b>	<b>RHS</b>	<b>Permisible aumentar</b>	<b>Permisible disminuir</b>
Escenario 1	-0.108	18	0.04	0.30
Escenario 2	-0.003	18	2.90	0.11
Escenario 3	-0.297	18	0.22	0.13
Escenario 4	-0.109	18	0.03	0.31
Escenario 5	-0.327	18	0.04	0.01
Escenario 6	-1.099	18	0.25	0.08

RHS: “Right Hand Side” o límite de la restricción

En el Cuadro 21 se observa que para todos los escenarios cambios pequeños en los niveles de proteína cambiarán la solución óptima y el valor de la función objetivo. Es decir, cambiarán los niveles de inclusión de los insumos a la dieta y el costo total de la misma. Adicionalmente como se puede observar el precio sombra para los distintos escenarios es negativo, por lo que el aumento en un punto porcentual del contenido de fibra en la dieta disminuirá el costo total de la misma.

El límite de aporte de proteína se mantuvo en 18% para todos los escenarios, no obstante, el aporte de proteína final en los Escenarios 2 y 4 fue de 17.6 y 17% respectivamente. Los otros escenarios alcanzaron el límite de 18%.

En los seis escenarios analizados en el estudio, los niveles de inclusión de los insumos presentan un cambio mínimo cuando hay un cambio en el precio de estos, evidenciado en la variación mínima de estos niveles al reformular la dieta.

La reformulación estricta se da por el aumento o disminución en los precios fuera del rango permisible. Un aumento en el precio de harina de coquito, maíz, salvado de trigo, soya, suero requerirá una reformulación al igual que lo requerirá por una disminución en el precio de afrecho de arroz, harina de coquito, maíz, melaza, suero. Sin embargo, hay insumos que son indiferentes al cambio en precios como ser: biofos, carbonato de calcio, harina de pescado y sal común. Esta estabilidad se debe mayormente a los aportes nutricionales de ciertos insumos difícilmente reemplazables económicamente por otros.

Los cambios en niveles de inclusión de los insumos en la dieta se deben hacer respetando las recomendaciones de los libros de nutrición animal mencionados en este estudio debido a que permiten formular una dieta económica y nutritiva. Una dieta económica que no supe los requerimientos del cerdo ni contribuye a expresar su potencial genético no es de ayuda para el productor.

## 4. CONCLUSIONES

- El suero y ariche para alimentación de cerdos son viables debido a su costo razonable y a que están disponibles en cantidad y frecuencia en la Planta de Lácteos de Zamorano y la planta de extracción de aceite de palma COINSU en la Costa Norte de Honduras, respectivamente.
- La combinación de parámetros de los libros “Nutrient Requirement of Swine”, Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos, y Normas FEDNA sirven para formular una dieta donde el primer libro aporta información sobre los requerimientos nutricionales del cerdo y aportes nutricionales de los insumos y los últimos dos indican el nivel de inclusión de los insumos y restricciones de composición.
- El costo de la dieta para cerdos en etapa de finalización con peso promedio de 50 a 75 kg con insumos no convencionales fue de HNL 8.10/kg usando ariche, HNL 8.42/kg usando suero y HNL 7.96/kg usando la combinación de suero y ariche. El costo de la dieta para cerdos en etapa de finalización con peso promedio de 75 a 100 kg con insumos no convencionales fue de HNL 8.09/kg usando ariche, HNL 8.44/kg usando suero y HNL 8.30/kg usando la combinación de suero y ariche.
- La dieta en general no es sensible al cambio en precios de los insumos debido a los aportes nutricionales específicos de estos insumos con costos relativamente bajos que los hace difícilmente reemplazables.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Ampliar la cantidad de insumos alternos estandarizados o insumos rústicos de este estudio para evaluar posibilidad de formular dietas de menor costo al encontrado en este estudio.
- Ampliar la información sobre el perfil nutricional y vida de anaquel del ariche.
- Evaluar la posibilidad de formular dietas bajas en proteína sin incluir el aporte nutricional del suero a la dieta en la formulación.
- Evaluar la efectividad de las dietas encontradas en el estudio por medio de ensayos experimentales con cerdos en etapa de finalización con pesos promedios de 50 a 75kg y cerdos en etapa de finalización con pesos promedios de 75 a 100 kg.

## 6. LITERATURA CITADA

Águila, R. (2009). Ingredientes alternos para cerdos. Retrieved from <https://www.engormix.com/porcicultura/articulos/ingredientes-alternos-cerdos-conocer-t28143.htm>

Alexander, D., Morel, P., y Wood, G. (2006). *Feeding strategies for maximising gross margin in pig production: Scientific and engineering case studies. Nonconvex optimization and its applications: Vol. 85*. New York: Springer.

Aroca, F. (2014). *Cogeneración de Electricidad para Autoconsumo en Industria Extractoras de Aceite de Palmiste en Base a Biomasa Residual del Proceso: Perspectiva y Técnica y Económica* (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil - Ecuador. Retrieved from <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/89320/D-79906.pdf>

Arsham, H. (2017). *Deterministic Modeling: Linear Optimization with Applications*. Retrieved from <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640a/partVIII.htm>

Bauzá, R., González, A., Panissa, G., Petrocelli, H., y Miller, V. (2005). Evaluación de dietas para cerdos en recría incluyendo forraje y suero de queso. *Revista Argentina de Producción Animal*, 25. Retrieved from [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_porcina/00-produccion\\_porcina\\_general/80-Bauza.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_porcina/00-produccion_porcina_general/80-Bauza.pdf)

Bauzá, R., González, A., Silva, D., Capra, G., Echenique, A., y Grompone, M. (2007). Evaluación de la inclusión de grano de soja desactivado, afrechillo de arroz integral o suero de queso en la dieta de cerdos engorde: Efecto sobre el comportamiento.

Blas, C. de, Gasa, J., y Mateos, G. (2013). *Necesidades Nutricionales para Ganado Porcino: Normas FEDNA*. Madrid, España: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.

Campabadal, C. (2009). *Guía Técnica para Alimentación de Cerdos*. Retrieved from <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00144.pdf>

Castillo, R. (2017). Detalles técnicos en la formulación de la dieta para cerdos en etapa de finalización (Entrevista).

Central AmericaData. (2017). Honduras: Optimismo en industria porcicultora. Retrieved from

[http://www.centralamericadata.com/es/article/home/Honduras\\_Optimismo\\_en\\_industria\\_porcicultora](http://www.centralamericadata.com/es/article/home/Honduras_Optimismo_en_industria_porcicultora) Choriego, R. (2017). Detalles sobre la Planta de Lácteos de Zamorano (Correo electrónico, entrevista).

Christensen, y Mighell. (1951). Food Production Strategy and the Protein-Feed Balance. *Journal of Farm Economics*, 33(2), 183–191. Retrieved from [https://www.jstor.org/stable/1233585?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/1233585?seq=1#page_scan_tab_contents)

Committee on Nutrient Requirements of Swine, Board on Agriculture and Natural Resources, Division on Earth and Life Studies y National Research Council, Council, N. R., Studies, D. o. E. a. L., y Resources, B. o. A. a. N. (2012 // 1900). *Nutrient Requirements of Swine // Nutrient Requirements of Swine (11th Revised Edition)* (11th ed.). Washington, D.C.: National Academies Press.

Cromwell, G. L. (2017). Nutritional Requirements of Pigs - Management and Nutrition - Veterinary Manual. PhD, Professor, Department of Animal and Food Science, University of Kentucky. Retrieved from <http://www.msdivetmanual.com/management-and-nutrition/nutrition-pigs/nutritional-requirements-of-pigs>

DeRouchev, J., Dritz, S., Goodband, R., Nelssen, J., y Tokach, M. (2007). General Nutrition Principles for Swine.

FAO. (2012). *Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar*. Buenos Aires, Argentina.

FAO AG. (2017). Cerdos y nutrición y los alimentos. Retrieved from [http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/pigs/ap\\_nutrition.html](http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/pigs/ap_nutrition.html)

FAO RLC. (2017). Producción pecuaria en América Latina y el Caribe. Retrieved from <http://www.fao.org/americas/perspectivas/produccion-pecuaria/es/>

Ferrera (2017). Datos sobre costo de concentrado animal (Correo electrónico).

Gómez, A., Benavides, C., y Diaz, C. (2007). Evaluación de torta de palmiste (*Elaeis guineensis*) en alimentación de cerdos de ceba. *Revista Biotecnología*, 5(1).

Kil, D. Y., Kim, B. G., y Stein, H. H. (2013). Feed energy evaluation for growing pigs. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 26(9), 1205–1217. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.r.02>

Leal, N. (2013). Definición de instrumentos de recolección de datos. Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/130049422/Definicion-de-instrumento-de-recoleccion-de-datos>

López, Calderón, Valladares, y Sánchez. (2010). Rasgos de comportamiento en cerdos cebados con niveles variables de suero de queso. *Revista Computarizada de Producción Porcina*, 17(4). Retrieved from [http://www.iip.co.cu/RCP/174/174\\_09artMLRguez.pdf](http://www.iip.co.cu/RCP/174/174_09artMLRguez.pdf)

López, J. L., y Tapia, L. (2005). EL FOLLAJE DE LEGUMINOSAS COMO ALIMENTO PARA CERDOS 2. DESARROLLO DEL SISTEMA DIGESTIVO, EFECTO DE LA FIBRA Y RESPUESTA BIOLÓGICA. *Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 9(2), 325–335. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/260/26012697006.pdf>

McCarl, B. A., y Spreen, T. H. (2016). Applied mathematical programming using algebraic systems. Retrieved from <http://agecon2.tamu.edu/people/faculty/mccarl-bruce/mccspr/thebook.pdf>

Moncada, E. (2017). Detalles técnicos sobre procesamiento de insumos en concentrado animal (Oral, correo electrónico).

OECD-FAO. (2016). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025: Special Focus: Sub-Saharan Africa*. Paris: OECD Publishing. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i5778e.pdf>

Paulino, J. (2016). Nutrición de los cerdos en crecimiento y finalización. Retrieved from <http://www.elsitioporcino.com/articulos/2683/nutrician-de-los-cerdos-en-crecimiento-y-finalizacian-1-introduccian/>

Rivera, M., y González, M. (2015). Fuentes de información. Retrieved from <http://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/16700/LECT132.pdf?sequence=1>

Rostagno, H., Teixeira, L., Lopes, J., Gomes, P., Oliveira, R. de, Lopes, D., . . . Euclides, R. (2011). *Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos: Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales* (Tercera edición). Brasil.

Salguero, S., y Lescano, D. (2016). Fuentes de proteína alternativas a la soja en la alimentación de ganado porcino. Retrieved from [https://www.3tres3.com/nutricion/fuentes-de-proteinas-alternativas-a-la-soja-en-la-alimentacion-de-gana\\_36523/](https://www.3tres3.com/nutricion/fuentes-de-proteinas-alternativas-a-la-soja-en-la-alimentacion-de-gana_36523/)

Saxena, P. (2011). Comparison of Linear and Nonlinear Programming Techniques for Animal Diet. *Journal Applied Mathematics*, 1(2), 106–108. <https://doi.org/10.5923/j.am.20110102.17>

Secretaría de Agricultura y Ganadería. (2014). En aumento producción nacional porcina. Retrieved from <http://www.sag.gob.hn/sala-de-prensa/noticias/ano-2014/mayo-2014/en-aumento-produccion-nacional-porcina/>

Sirisatien, D., Wood, G. R., Dong, M., y Morel, P. C. H. (2009). Two aspects of optimal diet determination for pig production: Efficiency of solution and incorporation of cost variation. *Journal of Global Optimization*, 43(2-3), 249–261. <https://doi.org/10.1007/s10898-007-9262-x>

Sofos. (2013). Reduciendo el costo de alimentación en la industria porcina. Retrieved from <http://www.sofoscorp.com/reduciendo-el-costo-de-alimentacion-en-la-industria-porcina/>

Vargas, E., y Zumbado, M. (2001). Composición de los subproductos de la industrialización de la palma africana utilizados en la alimentación animal en Costa Rica. Retrieved from [http://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v27n01\\_007.pdf](http://www.mag.go.cr/rev_agr/v27n01_007.pdf)

Waugh, F. (1951). *The Minimun-Cost Dairy Feed (An Application of Linear Programming)*. Oxford University. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/pdf/1233608.pdf?refreqid=excelsior%3Af69935c3996c09ee83c585c3d0e51960>

Zelaya, R. (2016). Aprovechamiento y valorización energética de biomasa y biogás. *Palmas*, 37(Especial). Retrieved from [http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/Memorias%20de%20la%20XVIII%20Conferencia%20Internacional%20sobre%20Palma%20de%20aceite/M\\_2\\_16\\_%20Aprovechamiento%20y%20valorizacion.pdf](http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/Memorias%20de%20la%20XVIII%20Conferencia%20Internacional%20sobre%20Palma%20de%20aceite/M_2_16_%20Aprovechamiento%20y%20valorizacion.pdf)

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Composición química de los insumos a usar para formulación de la dieta.

Insumo	Materia seca	Energía metabolizable	Proteína cruda	NDF
	%	kcal/kg	%	%
Aceite de palma	92.00	3063	16.64	56.48
Afrecho de arroz	91.60	2997	15.11	26.28
Ariche <sup>1</sup>	90.00	3620	13.00	-
Biofos <sup>2</sup>	95.00	-	-	-
Carbonato de Calcio	99.00	-	-	-
Harina de pescado	93.70	3528	63.28	-
Harina de carne	96.12	30.68	56.40	31.60
Harina de coquito <sup>3</sup>	93.80	3021	15.74	18.60
Maíz	88.31	3395	8.24	9.11
Melaza	74.10	2333	4.80	-
Sal común <sup>2</sup>	99.00	-	-	-
Salvado de trigo	87.38	2318	15.08	32.28
Soya	95.57	3903	45.13	-
Suero <sup>5</sup>	6.90	231	0.80	-

Fuente: Nutrient Requirement of Swine Eleventh Revised Edition 2012

1. Datos extraídos de estudio realizado en Guatemala, Castillo (2017).
2. Datos extraídos de etiqueta de composición nutricional del producto
3. Datos extraídos del trabajo de Vargas y Zumbado (2003), “Composición de los subproductos de la industrialización de la palma africana utilizados en la alimentación animal en Costa Rica”.
4. Datos extraídos del informe “Whey Protein Concentrate” (2015) del “Agricultural Marketing Service” del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y del “Nutrition and Feeding of Organic Pigs (2007).

Anexo 2. Composición de macrominerales de los insumos a usar para formulación de la dieta

<b>Insumo</b>	<b>Calcio</b> %	<b>Fósforo</b> %	<b>Sodio</b> %	<b>Cloro</b> %	<b>Potasio</b> %	<b>Magnesio</b> %
Aceite de palma	0.31	0.52	-	-	-	-
Afrecho de arroz	0.22	2.16	0.03	0.07	1.56	0.900
Ariche <sup>1</sup>	0.21	0.05	-	-	-	-
Biofos <sup>2</sup>	16.00	21.00	-	-	-	-
Carbonato de calcio	38.60	0.01	0.07	0.02	0.07	0.300
Harina de pescado	4.28	2.93	-	-	0.62	0.130
Harina de carne	6.37	3.16	0.80	0.97	0.57	0.350
Harina de coquito <sup>3</sup>	0.27	0.60	0.09	0.49	0.61	0.290
Maíz	0.02	0.26	0.02	0.05	0.32	0.120
Melaza	0.82	0.08	-	-	-	-
Sal común <sup>2</sup>	0.29	0.08	388.50	-	-	2.900
Salvado de trigo	0.10	0.99	0.04	0.07	1.26	0.520
Soya	-	-	-	-	-	-
Suero <sup>4</sup>	0.05	0.04	0.54	-	0.15	0.008

Fuente: Nutrient Requirement of Swine Eleventh Revised Edition 2012

1. Datos extraídos de estudio realizado en Guatemala, Castillo (2017).
2. Datos extraídos de etiqueta de composición nutricional del producto
3. Datos extraídos del trabajo de Vargas y Zumbado (2003), “Composición de los subproductos de la industrialización de la palma africana utilizados en la alimentación animal en Costa Rica”.
4. Datos extraídos del informe “Whey Protein Concentrate” (2015) del “Agricultural Marketing Service” del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y del “Nutrition and Feeding of Organic Pigs (2007).

Anexo 3. Composición de microminerales de los insumos a usar para formulación de la dieta.

<b>Insumo</b>	<b>Cobre %</b>	<b>Hierro %</b>	<b>Manganeso %</b>	<b>Selenio %</b>	<b>Zinc %</b>
Aceite de palma	-	-	-	-	-
Afrecho de arroz	0.000900	0.01900	0.022800	0.000040	0.003000
Ariche <sup>1</sup>	-	-	-	-	-
Biofos <sup>2</sup>	-	-	-	-	-
Carbonato de calcio	-	0.06200	0.001200	-	-
Harina de pescado	0.000800	0.04110	0.003890	-	0.008898
Harina de carne	0.001000	0.04400	0.001000	0.000037	0.009400
Harina de coquito <sup>3</sup>	0.002775	0.04020	0.020850	-	0.004975
Maíz	0.000341	0.00184	0.000431	0.000007	0.001651
Melaza	-	-	-	-	-
Sal común <sup>2</sup>	-	0.00020	-	-	-
Salvado de trigo	0.001400	0.01700	0.011300	0.000051	0.010000
Soya	-	-	-	-	-
Suero <sup>4</sup>	0.000004	0.00006	0.000001	0.000002	0.000130

Fuente: Nutrient Requirement of Swine Eleventh Revised Edition 2012

1. Datos extraídos de estudio realizado en Guatemala, Castillo (2017).
2. Datos extraídos de etiqueta de composición nutricional del producto
3. Datos extraídos del trabajo de Vargas y Zumbado (2003), “Composición de los subproductos de la industrialización de la palma africana utilizados en la alimentación animal en Costa Rica”.
4. Datos extraídos del informe “Whey Protein Concentrate” (2015) del “Agricultural Marketing Service” del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y del “Nutrition and Feeding of Organic Pigs (2007).

Anexo 4. Composición en vitaminas de los insumos a usar para formulación de la dieta.

<b>Insumo</b>	<b>Biotina</b> %	<b>Colina</b> %	<b>Folacina</b> %	<b>Niacina</b> %	<b>Ácido pantoténico</b> %	<b>Riboflavina</b> %	<b>Tiamina</b> %	<b>Vitamina B6</b> %
Aceite de palma	-	-	-	-	-	-	-	-
Afrecho de arroz	0.000035	0.1135	0.000220	0.0293	0.00230	0.000250	0.00225	0.00260
Ariche <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
Biofos <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbonato de calcio	-	-	-	-	-	-	-	-
Harina de pescado	-	-	-	-	-	-	-	-
Harina de carne	0.000008	0.2077	0.000050	0.0057	0.00050	0.000470	0.00006	0.00024
Harina de coquito <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
Maíz	0.000006	0.0620	0.000015	0.0024	0.00060	0.000120	0.00035	0.00050
Melaza	-	-	-	-	-	-	-	-
Sal común <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
Salvado de trigo	0.000036	0.1232	0.000063	0.0186	0.00310	0.000460	0.00080	0.00120
Soya	-	-	-	-	-	-	-	-
Suero <sup>4</sup>	0.000004	0.0128	0.000001	0.0001	0.00038	0.000158	0.00004	-

Fuente: Nutrient Requirement of Swine Eleventh Revised Edition 2012

1. Datos extraídos de estudio realizado en Guatemala, Castillo (2017).
2. Datos extraídos de etiqueta de composición nutricional del producto
3. Datos extraídos del trabajo de Vargas y Zumbado (2003), “Composición de los subproductos de la industrialización de la palma africana utilizados en la alimentación animal en Costa Rica”.
4. Datos extraídos del informe “Whey Protein Concentrate” (2015) del “Agricultural Marketing Service” del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y del “Nutrition and Feeding of Organic Pigs (2007).

Anexo 5. Composición de amino ácidos de los insumos a usar para formulación de la dieta.

<b>Insumo</b>	<b>Lisina</b> %	<b>Metionina</b> %	<b>Treonina</b> %	<b>Triptofano</b> %	<b>Agrinina</b> %	<b>Histidina</b> %
Aceite de palma	-	-	-	-	-	-
Afrecho de arroz	0.670	0.300	0.56	0.19	1.24	0.42
Ariche <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-
Biofos <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-
Carbonato de calcio	-	-	-	-	-	-
Harina de pescado	4.560	1.730	2.58	0.63	3.84	1.44
Harina de carne	3.200	0.830	1.89	0.40	3.65	1.24
Harina de coquito <sup>3</sup>	0.660	0.350	0.65	0.18	2.60	0.38
Maíz	0.250	0.180	0.28	0.06	0.37	0.24
Melaza	0.020	0.020	0.05	0.01	0.02	0.01
Sal común <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-
Salvado de trigo	0.520	0.220	0.60	0.22	0.77	0.39
Soya	2.790	0.600	1.73	0.69	3.02	1.14
Suero <sup>4</sup>	0.110	0.015	0.08	0.02	0.02	0.02

Fuente: Nutrient Requirement of Swine Eleventh Revised Edition 2012

1. Datos extraídos de estudio realizado en Guatemala, Castillo (2017).
2. Datos extraídos de etiqueta de composición nutricional del producto
3. Datos extraídos del trabajo de Vargas y Zumbado (2003), “Composición de los subproductos de la industrialización de la palma africana utilizados en la alimentación animal en Costa Rica”.
4. Datos extraídos del informe “Whey Protein Concentrate” (2015) del “Agricultural Marketing Service” del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y del “Nutrition and Feeding of Organic Pigs (2007).

Anexo 6. Composición de amino ácidos de los insumos a usar para formulación de la dieta.

<b>Insumo</b>	<b>Isoleucina</b> %	<b>Leucina</b> %	<b>Cistina</b> %	<b>Fenilalanina</b> %	<b>Tirosina</b> %	<b>Valina</b> %
Aceite de palma	-	-	-	-	-	-
Afrecho de arroz	0.51	1.04	0.27	0.65	0.40	0.78
Ariche <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-
Biofos <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-
Carbonato de calcio	-	-	-	-	-	-
Harina de pescado	2.56	4.47	0.61	2.47	1.88	3.06
Harina de carne	1.82	3.70	0.56	1.98	1.35	2.61
Harina de coquito <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-
Maíz	0.28	0.96	0.19	0.39	0.26	0.38
Melaza	0.04	0.06	0.04	0.03	0.03	0.11
Sal común <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-
Salvado de trigo	0.47	0.80	0.74	0.49	0.69	0.66
Soya	1.90	3.21	0.72	2.15	1.47	2.01
Suero <sup>4</sup>	0.05	0.09	0.04	0.03	0.02	0.05

Fuente: Nutrient Requirement of Swine Eleventh Revised Edition 2012

1. Datos extraídos de estudio realizado en Guatemala, Castillo (2017).
2. Datos extraídos de etiqueta de composición nutricional del producto
3. Datos extraídos del trabajo de Vargas y Zumbado (2003), “Composición de los subproductos de la industrialización de la palma africana utilizados en la alimentación animal en Costa Rica”.
4. Datos extraídos del informe “Whey Protein Concentrate” (2015) del “Agricultural Marketing Service” del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y del “Nutrition and Feeding of Organic Pigs (2007).