

# **Tiempo óptimo de sacrificio de cerdos en Zamorano, Honduras**

**Jorge Francisco Morán Martínez**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2016

ZAMORANO  
CARRERA DE ADMINISTRACIÓN DE AGRONEGOCIOS

# **Tiempo óptimo de sacrificio de cerdos en Zamorano, Honduras**

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

Presentado por

**Jorge Francisco Morán Martínez**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2016

## Tiempo óptimo de sacrificio de cerdos en Zamorano, Honduras

Jorge Francisco Morán Martínez

**Resumen.** En la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano (UPCZ) se desconoce la función de margen bruto para la producción de cerdos, por lo que se generó un modelo para dicha función. El modelo está compuesto por una función de costos variables y una función de ingresos, para encontrar el tiempo óptimo de sacrificio. La función de ingresos está compuesta por un precio variable en el tiempo por kilogramo de cerdo en pie en la granja, la función de crecimiento (kg) de un cerdo promedio y el número de cerdos. La función de crecimiento, y costos variables acumulados, incluyen parámetros obtenidos mediante regresiones utilizando datos recolectados en la UPCZ. Los datos recolectados fueron: peso del cerdo, ración diaria de alimento, número de días a la medición de variables, número de cerdos, tiempos y costos de labores. La función de ingresos estimada fue:  $I_t = 54.00 [74 \times (7.1641 + 0.1805t + 0.0088t^2 - 0.000034t^3)]$ , mientras que la función de costos variables acumulados totales fue:  $CVAT_t = [74 \times (740.6684 + 11.9569t + 0.0912t^2)]$ . El día óptimo a sacrificio determinado fue de 167 días luego del nacimiento. El margen bruto para este tiempo óptimo es de HNL 1,901/cerdo y de HNL 140,654 por los 74 cerdos utilizados. El margen dejado de ganar por la UPCZ por enviar los cerdos a la Planta de Cárnicos de Zamorano a los 154 días después del nacimiento (tiempo normal de envío) es de HNL 54/cerdo y de HNL 4,006 por los 74 cerdos que se utilizaron.

**Palabras clave:** Función de costos variables acumulados, función de producción, margen bruto, producción de cerdos.

**Abstract.** At the Swine Production Unit in Zamorano (UPCZ for its Spanish acronym) the gross margin function for the production of pigs is unknown, and due to this, a model for this function was created. The model includes a variable cost function and an income function with the objective of finding the optimal time to slaughter pigs. The income function includes a time variable price per kilogram weight at the farm gate, the growth function (kg) of an average pig and the number of pigs. The gross margin function includes parameters obtained by regressions using data collected at the UPCZ. The data collected were: weight of the pig, daily feed amount, dates of variable measurement, number of pigs, and the labor time and costs. The estimated income function was:  $I_t = 54.00 [74 \times (7.1641 + 0.1805t + 0.0088t^2 - 0.000034t^3)]$ , whereas the cumulative total variable cost function was:  $CTVC_t = [74 \times (740.6684 + 11.9569t + 0.0912t^2)]$ . The estimated optimal time to slaughter the pig was 167 days after birth. The gross margin at the optimal slaughter time is of HNL 1,901/pig and of HNL 140,654 in total of the 74 pigs used. The lost gross margin of by the UPCZ obtained by sending slaughter pigs to the Zamorano Slaughter Plant at 154 days after birth (the usual time pigs are sent) is of HNL 54/pig and of HNL 4,006 for the 74 pigs used.

**Key Words:** Cumulative total variable cost function, gross margin, pig production, production function.

## CONTENIDO

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>3</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	<b>16</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>17</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>18</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>20</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

### Cuadros Página

1. Resumen del costo variable acumulado por cerdo de cada insumo al tiempo óptimo (167 días después de nacimiento del cerdo) en Lempiras (HNL) y en porcentaje (%) del costo variable total en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, junio del 2016..... 14
2. Margen bruto por cerdo y total (HNL) para el tiempo óptimo de sacrificio de 167 días después del nacimiento y para una variación de 13 días antes a este tiempo óptimo (en días después del nacimiento) de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, junio del 2016. .... 15

### Figuras Página

1. Función de crecimiento en peso (en kilogramos) de un cerdo promedio en función del tiempo (en días después del destete) en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, de diciembre del 2015 a junio del 2016..... 9
2. Función de producción de 74 cerdos en función del tiempo (en días después del destete) en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, de diciembre del 2015 a junio del 2016. .... 10
3. Precios por kilogramo en pie a nivel de granja en función del tiempo (en días después del destete) en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, de diciembre del 2015 a junio del 2016. .... 11
4. A) Función de ingresos y costos variables acumulados (CVA) de un cerdo en función del tiempo (en días después del destete) en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, de Diciembre del 2015 a junio del 2016. B) Función de margen bruto de la producción de un cerdo en función del tiempo (en días después del destete) en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, de diciembre del 2015 a junio del 2016. .... 13

1. Resultados de la regresión  $CVA_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2$ , para obtener los parámetros de la función de costos variables de un cerdo de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, junio del 2016. .... 20
2. Resultados de la regresión  $Wt = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3$ , para obtener los parámetros de la función de crecimiento en peso de un cerdo de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, junio del 2016. .... 20

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en Honduras, la demanda nacional de carne de cerdo está cubierta por la producción nacional en un 30-35% y el 65-70% restante es cubierto por importaciones de carne congelada, primordialmente procedente de los Estados Unidos y de Canadá. En los últimos años el control de las importaciones ha mejorado, lo cual incentiva a la producción nacional. La porcicultura nacional tiene una buena oportunidad para posicionarse en el mercado, aunque dependa de los precios internacionales de la carne (Medina, 2016).

Uno de los problemas que aluden frecuentemente los productores pecuarios, como causa que impide generar mejores ingresos, es cuando el productor pecuario no tiene los elementos para calcular el valor de su producto (INIFAP, s.f.). Debido a esto, se estimó una función de margen bruto, la cual está compuesta de una función de ingresos y de una función de costos variables acumulados totales, de las cuales la Unidad de Producción de Cerdos carece. Si la granja no cuenta con esta función de margen bruto puede tener pérdidas para su producción.

En estudios previos realizados en Zamorano por Aguilera y Arango (2015), el peso vivo y la edad promedio de los cerdos al momento de enviarlos al rastro fue de 92 kilogramos y 155 días, respectivamente, valores que se encuentran dentro de los rangos estándares de cosecha establecidos en la Escuela Agrícola Panamericana.

Encontrar el tiempo óptimo de sacrificio del cerdo permitirá generar mayores ingresos para la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano y al mismo tiempo será un dato de referencia para otras granjas dedicadas a la producción de cerdos con la misma genética y las mismas características climatológicas que tiene la Escuela Agrícola Panamericana. Castillo (2016)<sup>1</sup> indicó que en la Unidad de Producción Porcina de Zamorano el cerdo es cosechado a un tiempo aproximado de cinco meses (155 días después de nacimiento) con un peso entre 90 kg y 100 kg.

Este estudio limita sus resultados a granjas porcinas que se encuentren a una altura de 800 m.s.n.m., con una temperatura promedio anual de 24 °C y con genética Landrace, Yorkshire y Duroc, incluyendo los cruces de las mismas.

Este estudio tiene como objetivo general maximizar la utilidad en la producción de cerdos de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano. Los objetivos específicos a desarrollar son:

- Determinar la función de producción de los cerdos en función del tiempo.
- Determinar la función de costos de producción del cerdo en función del tiempo.
- Evaluar el tiempo óptimo de sacrificio del cerdo.
- Evaluar pérdidas asociadas a desviaciones al tiempo óptimo de sacrificio.

## 2. METODOLOGÍA

Para determinar el tiempo óptimo de sacrificio del cerdo de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano se utilizó un modelo de análisis marginal, también llamado “análisis de las relaciones costos, volumen y utilidad” y se implementó una función de margen bruto (ingresos menos costos variables). Para obtener el margen bruto se estimó la función de producción y la función de costos variables para un nivel de tecnología especificada en las prácticas de campo. La función de producción está compuesta de una función de crecimiento en peso y del total de cerdos. Las funciones de crecimiento y costos variables se obtuvieron con regresiones estimadas con variables tomadas en la granja utilizando una función cúbica para la función de producción y una cuadrática para la de costos.

**Modelo.** Para maximizar la utilidad de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano y así reducir de manera significativa el riesgo de presentar pérdidas, se implementó un modelo de análisis marginal en el corto plazo. En este se estableció la utilidad operativa, expresada como margen bruto, como centro del análisis y los costos fijos no tendrán relevancia debido a que es un análisis en el corto plazo (Rossi, 2013). La expresión del margen bruto del cerdo se debe obtener en función del tiempo y luego se maximiza para encontrar el tiempo óptimo de sacrificio a través del uso de la herramienta “Solver” de Microsoft Excel.

**Función de margen bruto:** El margen bruto se obtuvo de una simple resta entre los ingresos totales y los costos variables acumulados totales de la producción de cerdos. El modelo de la función de margen bruto (Ecuación 1) se presenta a continuación:

$$MB_t = P_t Y_t - CVAT_t \quad [1]$$

Donde:

$MB_t$ : margen bruto por la producción de cerdos en función del tiempo “t” (en días después del destete).

$P_t$ : precio del cerdo en pie a nivel de granja en función del tiempo “t” (en días después del destete).

$Y_t$ : función de producción en función del tiempo “t” (en días después del destete).

$CVAT_t$ : costo variable acumulado total en tiempo “t” (en días después del destete).

Precio. El precio del cerdo en pie en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano se determina transformando el precio por kilogramo en canal de la Planta de Cárnicos de Zamorano al precio en pie en la misma planta. Esto se realiza multiplicando el precio en canal por el rendimiento en canal. Luego se restan los costos de transporte de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano a la Planta de Cárnicos de Zamorano para obtener el precio del cerdo en pie en la unidad de cerdos. Para conocer el precio variable que se

utilizó en este estudio, se entrevistó a la persona encargada de la Planta de Cárnicos de Zamorano para obtener el precio por kilogramo del cerdo en canal y conocer los parámetros de compra que se deben cumplir relacionados con el tamaño y el peso del cerdo.

Función de producción. La función de producción “ $Y_t$ ” (indicada en la Ecuación 1), está compuesta por la función de crecimiento en peso y el número total de cerdos.

La función de producción (Ecuación 2) se presenta de la siguiente manera:

$$Y_t = N \times W_t \quad [2]$$

Donde:

$Y_t$ : función de producción, indicando el peso total en función del tiempo “ $t$ ” (en días después del destete).

$N$ : número de cerdos.

$W_t$ : función de crecimiento en peso, indicando el peso en kilogramos de un cerdo en función del tiempo “ $t$ ” (en días después del destete).

Función de crecimiento en peso. La función de crecimiento en peso en un determinado tiempo, se obtiene del modelo de regresión lineal múltiple que arrojó como resultado los parámetros de la función cúbica. En otros estudios la forma de obtener esta función ha sido con el modelo de crecimiento de Gompertz (Casas, 2010), con la función de crecimiento de Richards (Agudelo, 2007), o con la función logística de crecimiento (Parés, Caballero y Perezgrovas, 2015). La función de crecimiento en peso (Ecuación 3) para correr la regresión en este estudio se define como:

$$W_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3 \quad [3]$$

Donde:

$W_t$ : función de crecimiento en peso, indicando el peso en kilogramos de un cerdo en función del tiempo “ $t$ ” (en días después del destete).

$t$ : tiempo (en días después del destete).

$\beta_i$ : parámetros a estimar para  $i = 0, 1, 2, 3$ .

**Función de costos variables acumulados.** La función de costos variables acumulados en este estudio, se obtuvo del modelo de regresión lineal múltiple solamente para un cerdo promedio (Ecuación 4), dando como resultado una función cuadrática o función polinomial de segundo grado. Según Morales (2001), también se puede utilizar la función cúbica del costo total, que se analiza en microeconomía y que su forma se deriva de la función de producción neoclásica.

La regresión de este estudio fue estimada por el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (Gujarati, 2004), que se define de la siguiente forma:

$$CVA_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 \quad [4]$$

Donde:

$CVA_t$ : costos variables acumulados de un cerdo en función del tiempo “t” (en días después del destete).

t: tiempo “t” (en días después del destete).

$\alpha_i$ : parámetros a estimar para  $i = 0, 1, 2$ .

La regresión de los costos variables acumulados se realizó a partir del destete hasta que los cerdos fueron enviados a la Planta de Cárnicos de Zamorano. Esto fue debido a que se estimó el costo de producción de un lechón desde que nació (día 0) hasta el día que fue destetado (día 28). Este costo de producción de un lechón fue estimado con datos registrados en el programa PigCHAMP de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano. Los datos que se obtuvieron del programa PigCHAMP fueron: número de reproductoras, edad al destete, partos por hembra al año, lechones destetados por parto, lechones destetados por hembra por año, número de verracos y total de cerdos producidos por año. Luego se estimaron los costos de alimentación anuales de la reproductora durante la etapa de lactancia, gestación y durante los días que aún no se ha preñado luego de que sale de maternidad. De igual forma, los costos de alimentación anuales por verraco y los costos de alimentación anuales del total de lechones producidos al año durante la etapa de maternidad. Finalmente, se estimaron los costos anuales de mano de obra y medicamentos. La suma de todos estos costos dividido para el total de cerdos producidos por año arroja como resultado el costo de producción de un lechón.

Esta función de costos variables acumulados se obtuvo por medio de los costos diarios acumulados (a tiempo “t”). En el costo acumulado influyen algunos factores, por lo que varía a lo largo del tiempo. Los factores que influyen en el costo acumulado se mencionan a continuación: costo del lechón al destete, mano de obra, alimento y el plan sanitario. Los costos de energía eléctrica y agua no se tomaron en cuenta porque la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano no paga por estos servicios y porque no se tuvo acceso a mediciones confiables de su uso.

Los costos de mano de obra por limpieza y alimentación, se estimaron realizando observaciones de 6 repeticiones del tiempo que se utilizó para cada actividad en diferentes etapas del crecimiento del cerdo, obteniendo el promedio de estas repeticiones y multiplicándola por el salario mínimo por hora. Para estimar el costo acumulado diario de mano de obra por limpieza y alimentación desde el destete (día 28) hasta el sacrificio del cerdo (día 161), se realizó una interpolación del promedio de las 6 repeticiones del tiempo que se utilizó para cada actividad en diferentes etapas del crecimiento del cerdo. El costo de alimentación se estimó con el registro de la cantidad diaria proporcionada de cada tipo de alimento según la etapa de crecimiento del cerdo y multiplicándola por el respectivo precio para cada alimento. Finalmente, el costo del plan sanitario se obtuvo por cada dosis de medicamento aplicado, multiplicándola por el costo correspondiente de cada medicamento.

**Función de costos variables acumulados totales.** La función de costos variables acumulados totales para los 74 cerdos utilizados resultó de la multiplicación del número total de cerdos utilizados, por la función de costos variables acumulados en función del tiempo (en días después del destete), la cual es presentada a continuación (Ecuación 5):

$$CVAT_t = N \times [\alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2] \quad [5]$$

Donde:

CVAT<sub>t</sub>: costos variables acumulados totales de “N” cerdos en función del tiempo “t” (en días después del destete).

t: tiempo “t” (en días después del destete).

α<sub>i</sub>: parámetros a estimar para i = 0, 1, 2.

N: Número total de cerdos.

**Obtención del precio del cerdo en pie.** El precio por kilogramo en canal de cerdo es el precio con el que se cuenta de la Planta de Cárnicos de Zamorano. Para obtener el precio ajustado del cerdo a peso en pie en la Unidad de Producción de Cerdos, se tomaron en consideración el rendimiento en canal (RC) y el costo de transporte por kilogramo de cerdo. A continuación se presenta la Ecuación 6 o ecuación del precio ajustado por kilogramo de cerdo a peso vivo:

$$P_{pvc} = (RC \times P_{cpc}) - CT \quad [6]$$

Donde:

P<sub>pvc</sub>: Precio por kilogramo de carne a peso vivo o en pie en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano.

P<sub>cpc</sub>: Precio por kilogramo en canal en la Planta de Cárnicos de Zamorano.

CT: Costo de transporte por kilogramo de carne de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano a la Planta de Cárnicos de Zamorano.

**Obtención del tiempo óptimo de sacrificio.** El tiempo óptimo de sacrificio se obtuvo utilizando la herramienta Solver de Excel, luego de maximizar la Ecuación 7 que es presentada a continuación:

$$MB_t = P_t \times N [\beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3] - N [\alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2] \quad [7]$$

Luego de obtener los parámetros de las Ecuaciones 3, 4 y 6 se sustituyeron en cada uno de los componentes en la función de margen bruto (Ecuación 7) y se obtuvo el valor del margen bruto. El día óptimo de sacrificio del cerdo se estimó utilizando la función del margen bruto mediante la herramienta Solver, en la cual la expresión de la derecha de la Ecuación 7, se coloca con los parámetros estimados en la celda objetivo y el parámetro que se utiliza a variar en la celda cambiante es “t”.

**Cálculo de pérdidas.** El margen dejado de ganar o la estimación de pérdidas de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, se realizó comparando el margen bruto obtenido en el tiempo óptimo de sacrificio y el tiempo normal en que la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano envía los cerdos al sacrificio a la Planta de Cárnicos de Zamorano.

**Recolección de datos:** La recolección de datos se realizó en diferentes momentos del crecimiento de los cerdos para medir distintas variables como: peso (kg), tiempos de limpieza, tiempos de alimentación y costos (HNL).

**Recolección de datos para peso:** La variable de peso, se recolectó realizando pesajes en diferentes edades del cerdo. Se utilizaron 74 cerdos en total realizando un pesaje para cada cerdo en los siguientes días después del nacimiento: día de nacimiento, día 15, día 28 (destete), día 42, día 56, día 70, día 87, día 105, día 122, día 140, día 150 y día 161 (sacrificio del cerdo).

**Recolección de datos para costos:** Para determinar los costos de mano de obra se tomaron 6 repeticiones del tiempo de limpieza y de alimentación con un cronómetro en diferentes etapas del crecimiento de los cerdos. Los tiempos fueron tomados en los días 28, 43, 70, 105, 140 y 161 después de nacidos. Luego, los tiempos promedios (en horas) de cada día de las 6 repeticiones se multiplicaron por el costo mínimo de mano de obra (Lempiras por hora). Para determinar los costos de alimentación se registró la cantidad diaria ofrecida del alimento correspondiente para cada etapa de crecimiento del cerdo para luego multiplicar dicha cantidad por el costo correspondiente de cada alimento.

**Prácticas en campo.** Las prácticas en campo que se desarrollaron son basadas de la experiencia de la Unidad de Producción de Cerdos. Entre las prácticas en campo desempeñadas con el lechón después del nacimiento desde diciembre 2015 hasta junio del 2016 se pueden mencionar: corte de colmillos, descolado, identificación, atenciones durante el parto, aplicación de hierro, corte de colmillos, descolado, identificación, aplicación de hierro, alimentación, limpieza y pesajes.

**Prácticas con el lechón después del nacimiento:** Una vez finalizado el parto, y que todos los lechones tiene acceso a calostro y se encuentran en buenas condiciones, se procede con las prácticas antes mencionadas.

**Corte de colmillos:** El lechón tiene ocho colmillos y estos se cortaron para evitar que en el proceso de amamantamiento dañaran la ubre de las cerdas, se lastimaran entre ellos cuando jugaban o peleaban y no representarían un riesgo para el personal cuando los animales estuvieran más grandes (Castillo, 2006).

**Descolado:** Está no es una práctica que se realice en todas las explotaciones, sin embargo, si en la granja se observa que el canibalismo (mordedura de colas) es frecuente, se recomienda cortar la cola al nacimiento. Este corte se realizó con una pinza similar a la que se utiliza para cortar los colmillos. El corte se realizó a tres o cuatro centímetros del cuerpo y luego se procedió a desinfectar con la solución de yodo (Castillo, 2006).

**Identificación:** La identificación de los lechones se puede realizar de varias formas: (1) muescas en las orejas, (2) tatuaje o (3) aretes (Castillo, 2006). De estas, las muescas en las orejas es la más frecuente, debido a que es sumamente barata, permanente y fácil de leer. La forma que se utilizó fue la de las muescas en las orejas.

**Aplicación de Hierro:** La leche de la cerda es deficiente en hierro por lo que es necesario suministrar este mineral al lechón para prevenir la anemia. Se suministró una dosis de 200 mg de hierro por lechón (Castillo, 2006).

**Alimentación:** A partir de los cinco días de edad, se comenzó a suministrar un alimento balanceado (pre-iniciador) a los lechones, llamado Bio-Nova 2. Este alimento se utilizó para estimular el consumo de concentrado desde esta edad y preparar al lechón para el momento del destete. Luego del destete, se utilizaron los alimentos Bio-Nova 2 y Bio-Nova 4, que es cuando los cerdos se encuentran en la etapa de inicio (día 28 al día 70) en las instalaciones de nursery, 14 días con Bio-Nova 2 y 28 días con Bio-Nova 4. Cuando los cerdos inician la etapa de crecimiento (día 71) pasan a las instalaciones de engorde. En esta etapa se cambia el alimento y se utilizaron tres tipos de alimentos: crecimiento núcleo, desarrollo medicado y engorde. Los cerdos se alimentaron desde el día 70 hasta el día 104 después del nacimiento con el alimento crecimiento núcleo, luego a partir del día 105 hasta el día 139 de edad se suministró el alimento desarrollo medicado. Finalmente, a partir del día 140 después del nacimiento hasta el día 161 (sacrificio del cerdo), se suministró el alimento de engorde.

Para la alimentación se siguió el siguiente protocolo:

- Se pesó la cantidad brindada de alimento diariamente y se introdujo en el comedero.
- Se alimentó dos veces al día. El horario de alimentación de la granja es una vez a las 7:00 am y otra a las 2:30 pm.

**Limpieza:** La limpieza se realizó todos los días; una parte por la mañana y otra por la tarde. Esta práctica consistió en lavar los corrales con el propósito de que los cerdos estén en un ambiente limpio y cómodo para evitarles estrés. (SENASICA, 2004).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Función de crecimiento.** Los parámetros de la función de crecimiento determinan el crecimiento en peso por día de un cerdo y fueron estimados mediante la regresión de la función de crecimiento (Ecuación 3). Los parámetros estimados se presentan en la Ecuación 8. La constante “ $\beta_0$ ” estimada es de 7.1641, el coeficiente “ $\beta_1$ ” es de 0.1805, el coeficiente “ $\beta_2$ ” es de 0.0088 y el “ $\beta_3$ ” es de -0.000034. El modelo de crecimiento en peso “ $W_t$ ”, en función del tiempo “ $t$ ” para la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, es kg/cerdo para algún día después de destete específico:

$$W_t = 7.1641 + 0.1805t + 0.0088t^2 - 0.000034t^3 \quad [8]$$

En este estudio, se obtuvo que al día 127 después del destete del cerdo, se presentó un peso de 103 kg. Este peso es superior al obtenido en un estudio realizado en Zamorano por Aguilera y Arango (2015) en el cual reportaron un peso de 92 kg al día 127 después del destete.

A continuación se presenta el crecimiento del cerdo en función del tiempo (Figura 1) en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano:

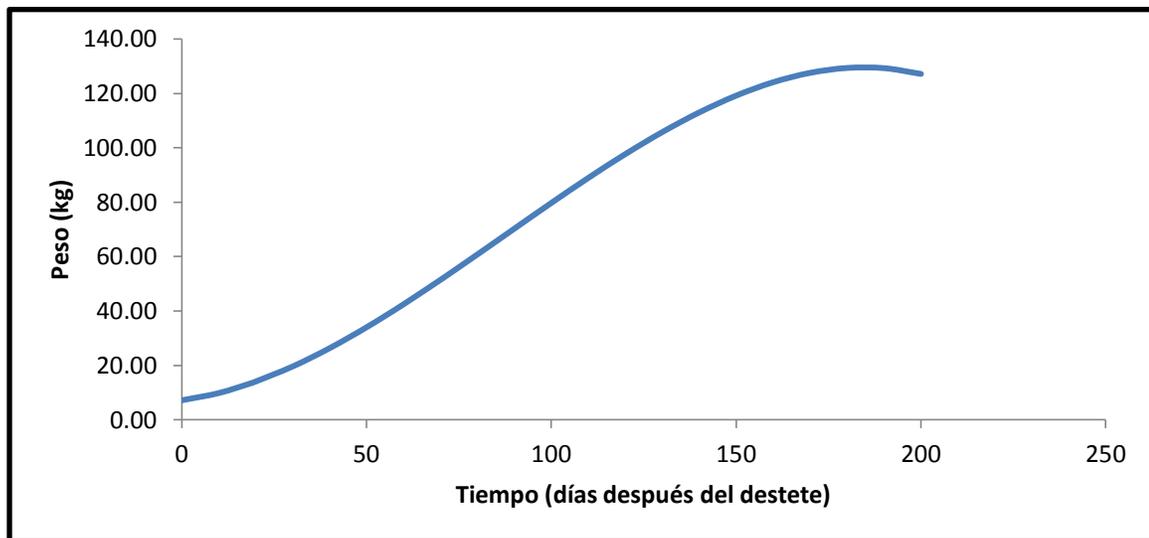


Figura 1. Función de crecimiento en peso (en kilogramos) de un cerdo promedio en función del tiempo (en días después del destete) en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, de diciembre del 2015 a junio del 2016.

**Función de producción.** Mediante la función de crecimiento en peso y el número total de cerdos fue determinada la función de producción (Ecuación 2) para la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano. Esta función de producción con los parámetros estimados anteriormente e incluidos en la Ecuación 2 para la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano es presentada a continuación (Ecuación 9):

$$Y_t = 74 \times (7.1641 + 0.1805t + 0.0088t^2 - 0.000034t^3) \quad [9]$$

La función de producción de 74 cerdos en función del tiempo en días después del destete (Figura 2) en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano es presentada a continuación:

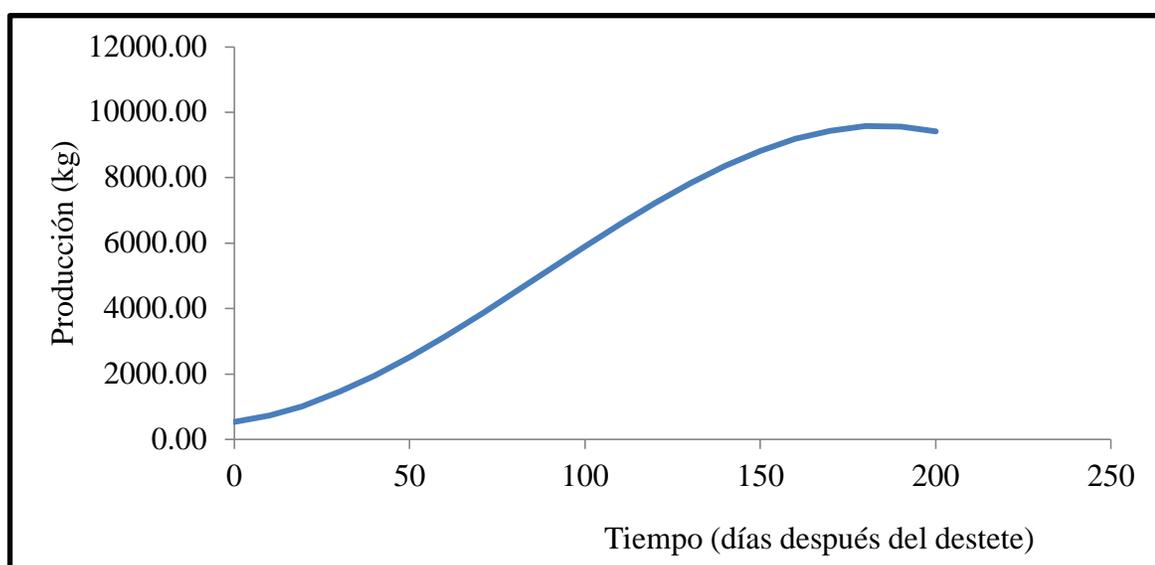


Figura 2. Función de producción de 74 cerdos en función del tiempo (en días después del destete) en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, de diciembre del 2015 a junio del 2016.

La curva de la función de producción presentada en la Figura 2 tiene un crecimiento marginal inicialmente creciente y luego decreciente, y está compuesta por tres etapas. La etapa I es del día 0 (después del destete) y finaliza en el punto donde el producto marginal y el producto medio son iguales (Rosales, 2000). La etapa II inicia a partir del día donde el producto marginal y el producto medio son iguales y finaliza en el día 184 (después del destete), en este punto es donde sucede el punto de máxima producción. En la etapa II es donde se deben maximizar las utilidades, porque en la etapa III el producto marginal empieza a decrecer (FAO, 2016).

**Precio.** Laguardia (2015) indicó que el precio del cerdo por kilogramo en canal en la Planta de Cárnicos de Zamorano es de HNL 74.96/kg, para cerdos con un peso en canal mayor a 51.7096 kg, y de HNL 41.89/kg para cerdos con un peso en canal menor a

51.7096 kg. Los cerdos con un peso en canal menor a 13.6078 kg no son aceptados, por lo que el precio para cerdos con un peso en canal menor a 13.6078 kg es de cero.

Los precios indicados anteriormente se transformaron a precios por kilogramos en pie a nivel de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, los cuales son presentados a continuación (Figura 3):

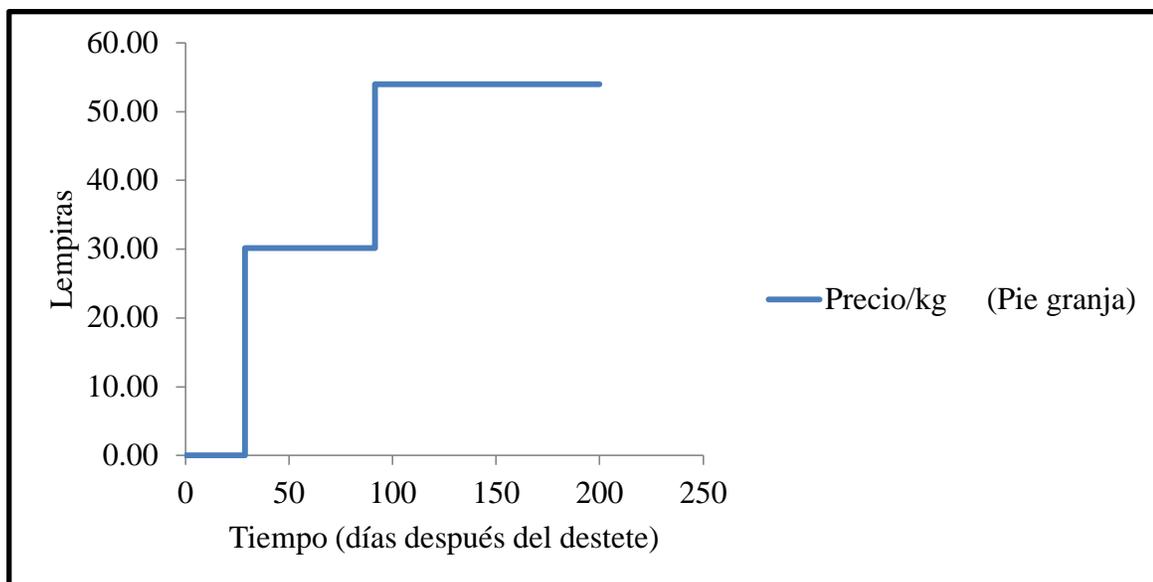


Figura 3. Precios por kilogramo en pie a nivel de granja en función del tiempo (en días después del destete) en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, de diciembre del 2015 a junio del 2016.

La Figura 3 representa los distintos precios por kilogramo en pie de un cerdo en función del tiempo en días después del destete. Se puede observar que hay dos cambios bien definidos en la línea de precios. Desde el día del nacimiento hasta el día 29 después del destete, el precio por kilogramo en pie es de cero, debido a que el cerdo aún no alcanza el peso mínimo de 18.86 kg en pie que la Planta de Cárnicos de Zamorano exige para comprar un cerdo. El primer cambio ocurre a partir del día 29 después del destete debido a que el precio aumenta a HNL 30.14/kg en pie. Esto sucede porque el cerdo alcanza el peso mínimo exigido por la Planta de Cárnicos de Zamorano mayor a 18.86 kg en pie. El segundo cambio sucede a partir de día 91 después del destete. Esto sucede porque el cerdo alcanza un peso mayor a 71.66 kg en pie, que es el peso en pie mínimo que la Planta de Cárnicos de Zamorano exige para pagar el cerdo a un precio de HNL 54.00/kg en pie.

Los precios del cerdo en pie en la Unidad de Producción de Cerdos que se utilizaron en la función de margen bruto en este estudio fueron de HNL 30/kg y de HNL 54/kg, debido a que el precio es variable según el tiempo y el precio de cero nulifica el ingreso. La obtención del precio en pie de HNL 54/kg se obtuvo multiplicando el precio en canal en la Planta de Cárnicos de Zamorano de HNL 74.96/kg por el rendimiento en canal de la Planta de Cárnicos de Zamorano de 72%, y al producto de esta multiplicación, se le restó

el costo de transporte por kilogramo de peso transportado de HNL 0.09/kg desde la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano a la Planta de Cárnicos de Zamorano. De manera similar se obtuvo el precio en pie de HNL 30/kg. El costo de transporte se obtuvo dividiendo el total de kilogramos en pie transportados de tres lotes que fue de 9,960.45 kg entre el costo de los tres lotes que la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano canceló de HNL 877.50. De esta forma se obtuvo la Ecuación 10 que se presenta a continuación:

$$P_{pvc} = (0.72 \times 74.96/\text{kg}) - 0.09/\text{kg} \quad [10]$$

**Función de ingresos:** La función de ingresos está compuesta por el precio en pie en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano multiplicado por la función de producción. La función de ingresos (Ecuación 11) será presentada de la siguiente manera:

$$I_t = \begin{cases} 0 [74 \times (7.1641 + 0.1805t + 0.0088t^2 - 0.000034t^3)] & \text{para } t < 28 \\ 30 [74 \times (7.1641 + 0.1805t + 0.0088t^2 - 0.000034t^3)] & \text{para } t < 91 \\ 54 [74 \times (7.1641 + 0.1805t + 0.0088t^2 - 0.000034t^3)] & \text{para } t \geq 91 \end{cases} \quad [11]$$

**Función de costos variables acumulados:** La función de costos variables acumulados cambia conforme al tiempo (en días después del destete). Mediante la regresión polinomial de segundo grado se determinó la función de costos variables acumulados (Ecuación 4) para la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano. La función de costos variables acumulados con sus parámetros estimados de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano (Ecuación 12) es presentada a continuación:

$$\text{CVA} = 740.6684 + 11.9569t + 0.0912t^2 \quad [12]$$

**Función de costos variables acumulados totales:** La función de costos variables acumulados totales de la producción de cerdos en función del tiempo (días después de destete) fue el resultado de la multiplicación del número total de cerdos por la función de costos variables acumulados, la cual es presentada a continuación (Ecuación 13):

$$\text{CVAT}_t = 74 (740.6684 + 11.9569t + 0.0912t^2) \quad [13]$$

### Tiempo óptimo de sacrificio del cerdo

Los valores estimados de la función de ingresos (Ecuación 11) y de la función de costos variables acumulados totales (Ecuación 13) se sustituyeron en la Ecuación 7 para obtener la ecuación funcional del margen bruto (Ecuación 14). El tiempo óptimo de sacrificio se obtuvo maximizando la Ecuación 14 a través de la herramienta Solver de Excel. La función de margen bruto de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, se presenta a continuación:

$$MB_t = \begin{cases} 0 \times 74 \left[ (7.1641 + 0.1805t + 0.0088t^2 - 0.000034t^3) - (740.6684 + 11.9569t + 0.0912t^2) \right] & \text{para } t < 28 \\ 30 \times 74 \left[ (7.1641 + 0.1805t + 0.0088t^2 - 0.000034t^3) - (740.6684 + 11.9569t + 0.0912t^2) \right] & \text{para } t < 91 \\ 54 \times 74 \left[ (7.1641 + 0.1805t + 0.0088t^2 - 0.000034t^3) - (740.6684 + 11.9569t + 0.0912t^2) \right] & \text{para } t \geq 91 \end{cases} \quad [14]$$

El tiempo óptimo que se obtuvo con la herramienta Solver fue de 167 días después del nacimiento de un cerdo dando como resultado un margen bruto de HNL 1,901 por cerdo y de HNL 140,654 para los 74 cerdos. Un productor maximizador del margen bruto no sacrificará sus cerdos antes de los 167 días después del nacimiento.

La Ecuación 14 es apreciada de una mejor forma por medio de gráficas y reduciéndola al margen bruto de un cerdo. Las funciones de ingresos, margen bruto y costos de la producción de un cerdo en función del tiempo en días después del destete de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano son presentadas a continuación (Figura 4):

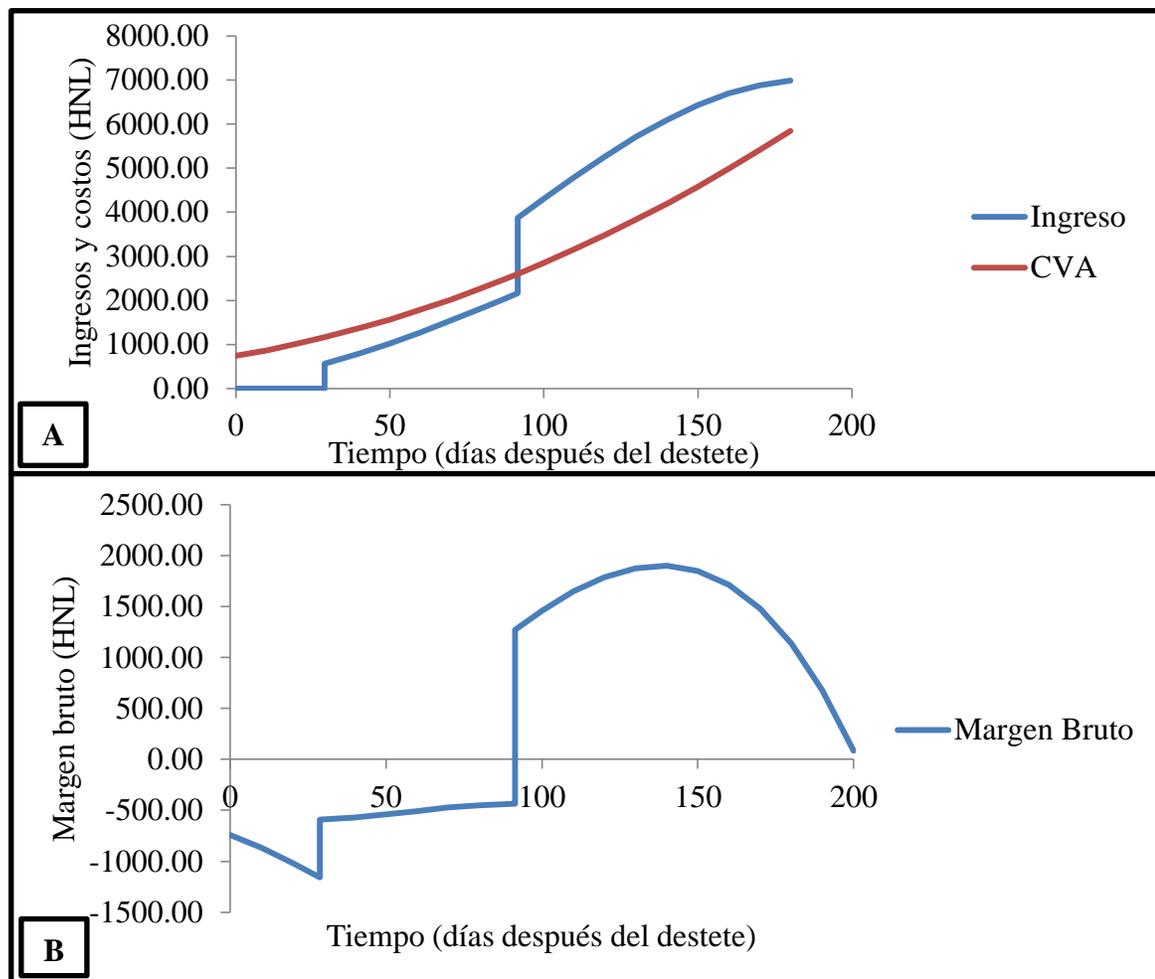


Figura 4 A) Función de ingresos y costos variables acumulados (CVA) de un cerdo en función del tiempo (en días después del destete) en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, de Diciembre del 2015 a junio del 2016. B) Función de margen

bruto de la producción de un cerdo en función del tiempo (en días después del destete) en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, de diciembre del 2015 a junio del 2016.

En la Figura 4A se presentan las funciones de ingresos y de costos variables acumulados para un cerdo en función del tiempo en días después del destete. La función de ingresos presenta varios cambios verticales, esto es debido a que el precio por kilogramo en pie a nivel de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano es variable en función del tiempo (en días después del destete) y también por el crecimiento en peso (en kilogramos) de un cerdo. Los ingresos crecen de una manera incremental de manera rápida hasta llegar al punto de inflexión, luego siguen aumentando de una manera decreciente hasta llegar al punto de máxima producción. A partir de ese punto empiezan a decrecer los ingresos. Mientras que los costos al inicio crecen en menor proporción y conforme pasa el tiempo incrementan en mayor proporción.

El punto de inflexión es al día 87 después del destete, el cual resulta al operar la segunda derivada de la función de producción (después del destete), igualarla a cero y resolver con respecto al tiempo. El punto de máxima producción es al día 184 después del destete, el cual se obtuvo resolviendo con respecto al tiempo la igualdad a cero de la primera derivada de la función de producción en función del tiempo (días después del destete). El máximo margen bruto se obtiene en el día 167 después del nacimiento del cerdo (139 días después del destete), el cual se obtuvo maximizando la función de margen bruto utilizando la herramienta Solver de Microsoft Excel. Estos resultados son cercanos a los reportados por Kusec *et al.* en el año 2008, donde establecen que el tiempo óptimo de sacrificio del cerdo es de 167 días después del nacimiento (139 días después del destete).

La importancia de los diferentes insumos en el costo total se especifica en el resumen del costo variable al tiempo óptimo (Cuadro 1), presentado a continuación:

Cuadro 1. Resumen del costo variable acumulado por cerdo de cada insumo al tiempo óptimo (167 días después de nacimiento del cerdo) en Lempiras (HNL) y en porcentaje (%) del costo variable total en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, junio del 2016.

<b>Insumos</b>	<b>Costos</b>	<b>Porcentaje del costo variable total</b>
Bio-Nova 2	110	3
Bio-Nova 4	352	11
Crecimiento núcleo	876	28
Desarrollo medicado	983	31
Engorde	746	23
Mano de obra	51	2
Plan sanitario	64	2
<b>Costos totales</b>	<b>3,179</b>	<b>100</b>

El costo de mano de obra está compuesto de los costos por alimentación y los costos por limpieza, que únicamente representan el 2% de los costos totales. El costo del plan sanitario, se refiere al costo por los medicamentos que se aplicaron a un cerdo durante su crecimiento, y únicamente representan el 2% de los costos totales. Los costos de alimentación de crecimiento núcleo, desarrollo medicado y engorde son los costos más representativos en el estudio. Estos costos representan el 82% de los costos variables totales. En concordancia con Castillo (2006), el alimento balanceado representa alrededor de un 70 a 80% de los costos totales de la producción.

**Cálculo de pérdidas.** Se determinó la pérdida asociada a una desviación al tiempo óptimo de sacrificio utilizando la ecuación del margen bruto (Ecuación 14). Se muestra el valor del margen bruto total para estimar la pérdida por una desviación al tiempo óptimo de 13 días antes del tiempo óptimo de sacrificio, que es el tiempo en que normalmente la granja envía a los cerdos a la Planta de Cárnicos. El margen bruto por cerdo y total en función del tiempo es presentado en el Cuadro 2:

Cuadro 2. Margen bruto por cerdo y total (HNL) para el tiempo óptimo de sacrificio de 167 días después del nacimiento y para una variación de 13 días antes a este tiempo óptimo (en días después del nacimiento) de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, junio del 2016.

Días (después del nacimiento)	167	154
t	139	126
$P_t$	54.00	54.00
$W_t$	111.99	102.63
IT	6,047.45	5,541.92
$CVA_t$	4,146.93	3,695.52
$MB_t$	1,900.51	1,846.40
MBT	140,638.01	136,633.83

MBT: margen bruto total por la producción de 74 cerdos en función del tiempo.

$MB_t$ : margen bruto por la producción de un cerdo en función del tiempo.

$W_t$ : Peso en kilogramos en función del tiempo.

t: Tiempo en días después del destete.

$P_t$ : precio del cerdo en pie a nivel de granja en función del tiempo “t” (en días después del destete).

$CVA_t$ : costo variable acumulado total en tiempo “t” (en días después del destete).

La pérdida asociada por una desviación al tiempo óptimo de sacrificio de 13 días antes es de 54.11 HNL/cerdo y de HNL 4,004.19 para los 74 cerdos en total.

#### 4. CONCLUSIONES

- La función de producción para 74 cerdos en función del tiempo, en días después del destete, en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano es:  $Y_t = 74 \times (7.1641 + 0.1805t + 0.0088t^2 - 0.000034t^3)$ .
- La función de costos variables acumulados totales para 74 cerdos en función del tiempo, en días después del destete, en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano es:  $CVAT = 74 \times [740.6684 + 11.9569t + 0.0912t^2]$ .
- El tiempo óptimo de sacrificio del cerdo es de 167 días después del nacimiento (139 días después del destete), mediante el cual se obtiene un margen bruto de HNL 1,900.73/cerdo y HNL 140,653.82 por los 74 cerdos utilizados. Los 167 días después del nacimiento son 13 días después del tiempo en que normalmente la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano envía los cerdos a la Planta de Cárnicos de Zamorano. Para que sea óptimo enviarlos a sacrificio en un tiempo menor, debe de haber una disminución en el precio del cerdo en pie, un aumento en los costos variables totales, o una presión por espacio en los corrales de engorde al tener que ubicar los cerdos destetados.
- Por una desviación en el tiempo óptimo de 13 días antes de este, la pérdida en el margen bruto de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano es de HNL 54.13/cerdo, y de HNL 4,005.51 para los 74 cerdos utilizados.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda cosechar los cerdos a un tiempo de 167 días de edad, a los productores de cerdos de regiones que las condiciones climáticas y estructura de costos sea semejante a la de Zamorano, Honduras.
- Se recomienda desarrollar estudios del tiempo óptimo de sacrificio del cerdo en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano con diversas formas funcionales para la función de crecimiento.
- Se recomienda desarrollar estudios del tiempo óptimo de sacrificio del cerdo en la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano cuando se sustituya el plan de alimentación actual.

## 6. LITERATURA CITADA

Agudelo, D., Cerón, M., Restrepo, L. 2007. Modelación de funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. Antioquía, Colombia. Universitaria Lasallista. Vol. 20, p. 157-173.

Aguilera, S., Arango, P. 2015. Validación de método de medición de grasa dorsal en cerdos en vivo y correlación de la misma con características del cerdo y la canal. Consultado el 22 de mayo de 2016. Disponible en línea en <http://hdl.handle.net/11036/4528>

Casas, Gloria A; Rodríguez, Daniel; Afanador Téllez, Germán. 2010. Propiedades matemáticas del modelo de Gompertz y su aplicación al crecimiento de los cerdos. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, vol. 23, núm. 3, pp. 349-358

Castillo, R. 2006. Producción de cerdos. Zamorano: Zamorano academic press. Consultado el 14 de mayo de 2016.

G. Kusec, G. Kralik, I. Djurkin, U. Baulain, E. Kallweit. 2008. Optimal slaughter weight of pigs assessed by means of the asymmetric S-curve. Czech J. Anim. Sci., 53, 2008 (3): 98–105. Consultado el 29 de Octubre del 2016.

Gujarati, N. D. (2004). Econometría. 4a. ed. McGrawHill, México. Consultado el 28 de octubre de 2016.

INIFAP. s.f. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. UN MÉTODO PARA SELECCIONAR Y VENDER MEJOR LOS CERDOS (en línea). consultado el 22 de mayo de 2016. Disponible en <http://utep.inifap.gob.mx/tecnologias/7%20Cerdos/1.%20Manejo/UN%20M%C3%89TODO%20PARA%20SELECCIONAR%20Y%20VENDER%20MEJOR%20LOS%20CERDOS.pdf>

Medina, A. 2016. Situación actual de la porcicultura en Honduras. En: AXÓN COMUNICACIÓN. Consultado el 14 de junio de 2016. Disponible en línea en: <http://www.noticiasaxoncomunicacion.net>

Morales, E. 2001. Introducción a la Econometría. Quito, Ecuador. Abya Yala. Vol. 2. Consultado el 29 de octubre de 2016. Disponible en línea en: <https://books.google.hn/books?isbn=9978221735>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Departamento de Pesca. 2016. Análisis Microeconómico de la Producción. (En línea). Consultado el 29 de Octubre del 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/V8490S/v8490s07.htm#5.1> función producción en el corto plazo.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Departamento de Agricultura. 2016. Conceptos Económicos en el Manejo y Análisis de Sistemas. (En línea). Consultado el 29 de Octubre del 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/w7452s/w7452s06.htm>

P. Casanova, M. Caballero, R. Perezgrovas. 2015. Comparación de Modelos No Lineales para Describir Curvas de Crecimiento según Sexo en el Borrego Chiapas. *Rev Inv Vet Perú* 2015; 26(3): 389-394 <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v26i3.11170>

Rossi, E. 2013. Análisis Marginal y Levantamiento de Supuestos. Oporto, Portugal.; Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

SENASICA. 2004. Dirección general de Inocuidad Alimentaria, Acuícola y Pesquera. Manual de Buenas Prácticas de Producción en Granjas Porcícolas. Departamento de Nutrición Animal. P. 7-54.

## 7. ANEXOS

Anexo 1. Resultados de la regresión  $CVA_t = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2$ , para obtener los parámetros de la función de costos variables de un cerdo de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, junio del 2016.

Recurso	SS <sup>a</sup>	df <sup>b</sup>	MS <sup>c</sup>	Observaciones = 134		
Modelo	118348842.921	2	59174421.460	F	= 51351.589	
Residual	150956.365	131	1152.339	R -cuadrado	= 0.998726104	
Total	118499799.286	133		R <sup>2</sup> -ajustado	= 0.998706656	
	Coeficiente	Error estándar	T	P> t	[95% Intervalo de confianza]	
Intercepto	740.6684	8.6678	85.668	9.27DE-117	723.52144	757.81540
Tiempo	11.9569	0.3012	39.703	6.663E-75	11.36115	12.55267
Tiempo <sup>2</sup>	0.0912	0.0022	41.628	2.122E-77	0.08689	0.09556

<sup>a</sup>Suma cuadrática

<sup>b</sup>Grados de libertad.

<sup>c</sup>Media cuadrática

CVA<sub>t</sub>=Costo variable acumulado en tiempo “t”

Anexo 2. Resultados de la regresión  $W_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3$ , para obtener los parámetros de la función de crecimiento en peso de un cerdo de la Unidad de Producción de Cerdos de Zamorano, Honduras, junio del 2016.

Recurso	SS <sup>a</sup>	df <sup>b</sup>	MS <sup>c</sup>	Observaciones = 740		
Modelo	976982.674	3	325660.891	F	= 7894.137	
Residual	30362.588	736	41.254	R -cuadrado	= 0.96985881	
Total	1007345.262	739		R <sup>2</sup> -ajustado	= 0.96973595	
	Coeficiente	Error estándar	t	P> t	[95% Intervalo de confianza]	
Intercepto	7.16406	0.668669	10.714	5.4502E-25	0.09186	0.26919
Tiempo	0.18053	0.045165	3.997	7.0590E-05	0.00725	0.01036
Tiempo <sup>2</sup>	0.00881	0.000791	11.129	1.0626E-26	-0.00004	-0.00003
Tiempo <sup>3</sup>	-0.00003	0.000004	-8.832	7.4846E-18	0.09186	0.26919

<sup>a</sup>Suma cuadrática.

<sup>b</sup>Grados de libertad.

<sup>c</sup>Media cuadrática.

W<sub>t</sub>=Peso en tiempo “t”