

FACTORES RELACIONADOS CON EL INGRESO POR HECTÁREA DEL SISTEMA VACA-TERNERO, PANAMÁ¹

**Pedro Guerra-Martínez²; Carlos I. Martínez-Delgado³; José L. Bernal-Rosas⁴;
María M. De Gracia-Victoria⁵; Olegario Ibarra-Guerra⁵**

RESUMEN

El objetivo fue evaluar los factores que determinan el ingreso bruto por hectárea (Iha) en el sistema vaca-ternero. Se aplicó una encuesta estructurada a 20 pequeños ganaderos de ASOPEGA (Gualaca, Chiriquí). Las variables seleccionadas fueron: kilogramos de ternero destetado por vaca expuesta a toro (Kgvet), kilogramos de ternero vendido (Kgtrnvnd), unidad animal por hectárea (UAha), área de finca (Areafca), tasa de descarte (Tasadsc), kilogramos de ternero destetado por hectárea de pastura (Kghapast), tamaño del hato (Tamhato), cosecha de terneros (Cosecha) y número de vaca (Numvaca). La selección de las variables se basó en un análisis de correlación de Pearson. Los datos se analizaron a través del Análisis de Sendero basado en ecuaciones estructuradas. Se propusieron tres modelos hipotetizados. El modelo se seleccionó de acuerdo con criterios estadísticos preestablecidos. El tercer modelo fue seleccionado. Las mayores correlaciones fueron entre Kgtrnvnd vs. Kgvet ($r=0,93^{***}$); Tamhato vs. Numvaca ($r = 0,90^{***}$) y Tamhato vs. Areafca ($r = 0,67^{***}$). Los efectos directos de Kgtrnvnd y UAha en Iha fueron $0,477 \pm 0,140$ y $0,532 \pm 0,134$, respectivamente. El efecto directo de Kgvet en Kgtrnvnd fue $0,928 \pm 0,024$; de Numvaca y Areafca en UAha fueron $0,982 \pm 0,184$ y $-0,988 \pm 0,183$, respectivamente. El efecto directo de Tamhato en Numvaca fue $0,902 \pm 0,043$. El efecto indirecto en Iha de Kgvet a través de Kgtrnvnd fue $0,522 \pm 0,134$ y de Numvaca y Areafca a través UAha fueron $0,522 \pm 0,163$ y $-0,525 \pm 0,156$, respectivamente. El efecto indirecto de Tamhato en Iha a través de Numvaca, y UAha fue $0,471 \pm 0,156$. El análisis de sendero resultó una buena herramienta metodológica para la investigación y predicción en sistemas de fincas ganaderas al determinar estadísticamente los factores que inciden en el Iha.

Palabras clave: Análisis de sendero, correlaciones, ingreso por hectárea, regresión múltiple, sistema vaca-ternero.

¹Recepción: 15 de noviembre de 2024. Aceptación: 19 de febrero de 2025. Contribución del Proyecto de Difusión y adopción de tecnologías generada en IDIAP en fincas familiares ganaderas de Chiriquí, Veraguas, Los Santos y Bocas del Toro. Dirección Nacional de Productos y Servicios Científicos y Tecnológicos (DINPROS) del Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

²IDIAP. Centro de Innovación Agropecuaria Chiriquí (CIACH). Estación Experimental de Gualaca "Carlos M. Ortega" (EEG-CMO). Higerón, Gualaca. Chiriquí. M.Sc. Mejoramiento Genético Animal. e-mail: pedroguerram16@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6731-3624>

³IDIAP. CIACH. EEG-CMO. Higerón, Gualaca. Chiriquí. e-mail: carlosmartinez1705@hotmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000/0002/3944-6558>

⁴IDIAP. CIACH. EEG-CMO. Higerón, Gualaca. Chiriquí. e-mail: jbernalrosas@hotmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0004-7646-2882>

⁵IDIAP. CIACH. EEG-CMO. Higerón, Gualaca. Chiriquí.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

RELATED FACTORS WITH THE INCOME PER HECTARE OF THE COW-CALF SYSTEM, PANAMA

ABSTRACT

The objective was to evaluate the factors that relate to the gross income per hectare (Iha) in the cow-calf system. It was applied a structured survey to 20 small cattlemen of ASOPEGA (Gualaca, Chiriquí). Selected variables were kilograms of weaned calf per exposed cow to bull (Kgvet), kilograms of sold calf (Kgtrnvnd), stocking rate (UAha), farm size (Areafca), discard rate (Tasadsc), kilograms of weaned calf per pasture hectare (kghapast), herd size (Tamhato), calf crop (Cosecha), and number of cows (Numvaca). Selection of variables were based on a Pearson correlation analysis. Data was analyzed by a path analysis based on structural equations. There were three proposed hypothesized models. Model was selected according to pre-established statistical criteria. The third model was selected. Highest correlations were between Kgtrnvnd vs. Kgvet ($r = 0,93^{***}$); Tamhato vs. Nmvacca ($r = 0,90^{***}$), and Tamhato vs. Areafca ($r = 0,67^{***}$). Direct effects of Kgtrnvnd and UAha on Iha were $0,477 \pm 0,140$ and $0,532 \pm 0,134$, respectively. Direct effect of Kgvet on Kgtrnvnd was $0,928 \pm 0,024$; Numvacca and Areafca on UAha were $0,982 \pm 0,184$ and $-0,988 \pm 0,183$, respectively. Direct effect of Tamhato on Numvacca was $0,902 \pm 0,043$. Indirect effect of Tamhato on Iha through Numvacca and UAha was $0,471 \pm 0,156$. Path analysis resulted in a good methodological tool for research and prediction of cow farm systems to determinate statistically factors that influence on the Iha.

Keywords: Correlations, cow-calf system, income per hectare, multiple regression, path analysis.

INTRODUCCIÓN

El éxito del sistema vaca-ternero depende de la genética del hato, el manejo, recursos logísticos y el medio ambiente. En la genética se incluye la composición racial del hato, el manejo incluye el sistema de alimentación, plan sanitario, plan reproductivo, administración de los recursos y toma de decisión. Los recursos logísticos incluyen la mano de obra, capital disponible y tierra. Por otra parte, el medio ambiente se refiere a las condiciones climáticas donde interactúa el bovino, influenciadas por la precipitación, humedad relativa, velocidad del viento, temperatura ambiental y radiación solar.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En un ambiente climatológico favorable, con una buena base genética del hato y un eficiente manejo de los recursos y acertadas decisiones se puede obtener un producto en cantidad y de alta calidad que incidirá en el ingreso de la finca. Por lo tanto, la eficiencia bioeconómica de un sistema o subsistema de producción depende de la cantidad y calidad del producto producido y su valoración económica dada por la demanda (interna y externa) por unidad de área de la finca.

La ejecución del Estudio del Mejoramiento de los Sistemas Doble Propósito de Panamá (1980-1990) auspiciado por el Centro Internacional de Investigación y Desarrollo (CIID) de Canadá y el Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP) ha sido la única experiencia exitosa en Panamá de la investigación-innovación en colaboración de pequeños y medianos ganaderos de Chiriquí (Gualaca y Bugaba), Veraguas (Soná⁶) y Los Santos (Los Santos) bajo el enfoque de sistema (IDIAP-CIID, 1991).

A través del estudio del Sistema Doble Propósito en su fase Tradicional⁷ (EST) y posteriormente en su fase Mejorada⁸ (ESM) se logró medir el impacto de las tecnologías IDIAP que fueron introducidas en esta última fase de estudio. Al comparar ambas fases, se observó que las características productivas, reproductivas, de salud y económicas fueron mejoradas significativamente. Las características que más llamaron la atención fueron: el Margen Bruto promedio, resultando B/. 173,80/ha y de B/. 258,10/ha en el EST y el Ingreso Neto en Efectivo con B/. 145,00/ha en el EST y de B/. 161,70/ha en el ESM (IDIAP-CIID, 1991).

⁶Esta área fue eliminada posteriormente porque la empresa Nestlé cerró su planta de acopio y a los ganaderos se les hacía costoso llevar la leche hasta la planta de Natá (Coclé).

⁷Fase de investigación en donde se estudió el sistema de producción tal como lo manejaba el productor. IDIAP no intervino en la toma de decisiones del ganadero.

⁸Fase de investigación en donde se estudió el sistema de producción con la introducción de las mejoras tecnológicas (pasto mejorado para vacas en producción y terneros no destetados, suplementación mineral, plan sanitario y suplementación energética-proteica de verano).



El análisis de sendero (AS) (Path Analysis) es una herramienta matemática la cual es utilizada para examinar la relación causa-efecto entre variables independientes y dependientes (Tyasi et al., 2018). Se ha utilizado en diferentes ciencias como: sociales (Chaitanya et al., 2024), agricultura (Bondari, 1990), genéticas (Wright, 1932), desarrollo corporal del bovino Criollo Ngumi (Tyasi et al., 2020), de ovinos Dorper (Molabe and Tyasi, 2021), ovinos y caprinos (Okkyla et al., 2014; Temoso et al., 2017), producción de leche bovina (Sherman et al., 2020), educacionales (Lleras, 2005) y economía agrícola (Xiao et al., 2015), entre otras. Este es un método que permite evaluar el ajuste de modelos teóricos en los que se proponen un conjunto de relaciones de dependencia entre variables (Pérez et al., 2013). Batista-Foguet y Coendres-Gallart (2000) indican que este método no prueba la casualidad, sino que solo ayuda a seleccionar o inferir entre hipótesis causales.

Se ha asumido que el Iha está relacionado por los kilogramos de terneros destetados por vaca expuesta a toro (Kgvet), kilogramos de terneros vendidos (Kgtrnvnd), la carga animal (UAha), área de la finca (Areafca), tasa de descarte (Tasadsc), kilogramos por hectárea de pasturas (Kghapast), tamaño del hato (Tamhato) y cosecha de terneros (Cosecha). Sin embargo, ningún estudio se ha realizado en relacionar estadísticamente estas variables con el Iha del sistema vaca-ternero de Panamá. Por lo tanto, el objetivo en construir un modelo con ecuaciones estructurales es encontrar uno que ajuste, suficientemente bien, los datos para servir como una útil representación de la realidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio: El estudio se realizó en el distrito de Gualaca, provincia de Chiriquí (Figura 1). La zona pertenece al ecosistema Bosque Húmedo Tropical y Bosque Húmedo Pre-Montano de acuerdo con Holdridge (1979). Las localidades fueron: Paja de Sombrero y Los Ángeles.

Fuente de datos: Los datos provienen de una encuesta cara a cara realizada a 20 pequeños ganaderos de la Asociación de Pequeños Ganaderos de Paja de Sombrero (ASOPEGA) del distrito de Gualaca, Chiriquí en el año 2022.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Figura 1. Distrito de Gualaca, provincia de Chiriquí, Panamá.

Modelos hipotetizados: Para este estudio se propusieron los siguientes modelos hipotetizados (Figura 2).

Las variables *exógenas* son aquellas cuya causa es externa al modelo y cuyo rol es explicar otras variables o productos, de acuerdo con Lleras (2005); mientras que las variables *endógenas* son aquellas que son causadas por una o más variables dentro del modelo. Las variables *intervenientes* son aquellas que causan y son causadas por otras variables dentro del modelo. Los residuales (e_i) son llamadas las variables *latentes* y son encerradas en círculos; también son *exógenas* independientes, normalmente distribuidos con media cero y no están correlacionados con otras variables.

Variabes en estudio: En el Modelo 1, las variables exógenas son: Cosecha, Areafca, Tasadsc, Kghapast, Kgtrnvnd y Tamhato; las variables endógenas fueron: Iha y errores o residuales (e_i); las variables intervenientes fueron: UAha y Kgvvet. En el Modelo 2, las variables exógenas fueron: Tasadsc, Kghapast, Cosecha, Tamhato y Areafca. Las variables intervenientes fueron: Kgtrnvnd y UAha y las variables endógenas fueron Iha y el error o residual (e_i). En el Modelo 3, las variables exógenas fueron: Kgvvet, Tamhato y Areafca, las



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

variables intervinientes fueron Numvaca, UAha y Kgtrnvnd y las variables endógenas fueron: Iha y error o residual (e_i).

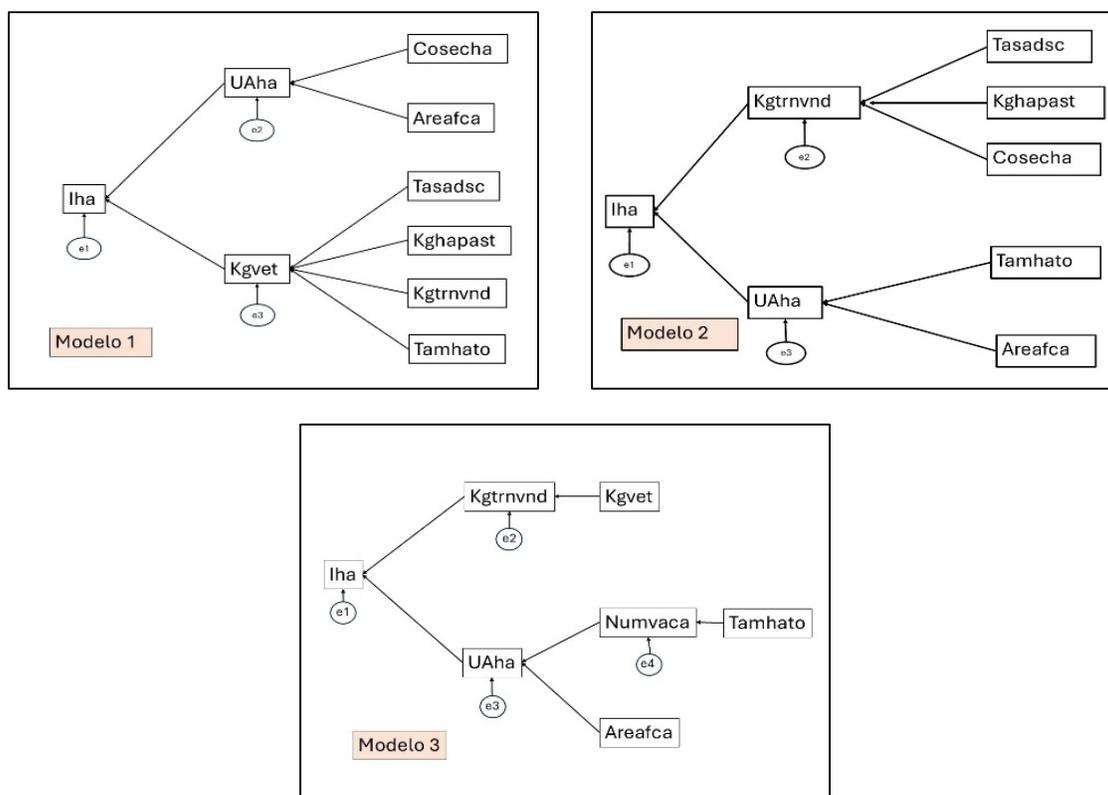


Figura 2. Diagramas de senderos para los tres modelos propuestos.

Análisis de datos: La información obtenida de las encuestas fue analizada a través del Análisis de Sendero (Path Analysis) de acuerdo con Wright (1934) y Li (1975), el cual evaluará el ajuste de los modelos teóricos en los que se proponen un conjunto de relaciones de dependencia entre variables (Pérez et al., 2013). De acuerdo con Lleras (2005), los Coeficientes de Senderos (P_{yx_i}) son coeficientes parciales de regresión estandarizados en puntaje-z utilizados para comparar relativamente la magnitud de los efectos de las diferentes variables, donde Y es la variable producto (endógena o interviniente) y x_i es la variable causal (interviniente o exógena). Para la significancia de los efectos se obtuvieron a través de la prueba de radio crítico (dividir los coeficientes no estandarizados por el error estándar) en donde valores de z superiores a 1,96 indican un



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

efecto significativo a $P < 0,05$ (Weston and Gore, 2006). Para nuestros modelos, los coeficientes de senderos se calcularon siguiendo los procedimientos de Molabe y Tyasi (2021) y Norris et al. (2015):

$$P_{yxi} = b_i \frac{S_{xi}}{S_y}$$

Dónde: P_{yxi} = es el coeficiente de sendero de la variable endógena o interviniente (y) en la variable causal X_i ; b_i = coeficiente parcial de regresión; S_{xi} = desviación estándar de X_i ; S_y = desviación estándar de y .

El estadístico-t de regresión múltiple es usado para probar la significancia del coeficiente de sendero. Los efectos directos son aquellos que van directamente de una variable a otra (P_{yxi}) y los efectos indirectos son aquellos que ocurren cuando la relación entre dos variables es mediada por una o más variables. De acuerdo con Lleras (2005), la magnitud se mide al tomar el producto de los coeficientes de senderos, a lo largo del sendero, entre dos variables casualmente relacionada. Para el caso de una serie de juegos de variables exógenas (x_i), intervinientes (x_j) y otra exógena (y) sería:

$$EI_{YX_i} = \sum P_{yxi} \times P_{xix_j}$$

A través de la correlación entre dos variables (X_i y X_j) sería:

$$EI_{YX_i} = r_{X_iX_j} P_{YX_j}$$

Dónde: EI_{YX_i} = efecto indirecto de X_i vía X_j en Y ; $r_{X_iX_j}$ = coeficiente de correlación entre las variables i^{th} y j^{th} ; P_{YX_j} = coeficiente de sendero indicando el efecto directo de la j^{th} variable.

Ecuaciones estructurales: De acuerdo con Lleras (2005), el método analítico de sendero sigue las asunciones usuales de la regresión ordinaria por mínimo cuadrado. Todas las relaciones mostradas en la Figura 2 son asumidas ser lineales, aditivas y causales. Por lo tanto, los modelos pueden ser especificados por una serie de senderos o ecuaciones estructurales que describen la relación directa causal entre variables. Estas ecuaciones



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

estructurales fueron analizadas por mínimos cuadrados (Draper & Smith, 1981). En este estudio el nivel de alfa escogido fue 0,10.

Las ecuaciones estructurales de cada modelo son las siguientes:

Modelo 1:

$$Iha = b_1Kgvet + b_2UAha + \varepsilon_1 \quad (1)$$

$$UAha = b_3Cosecha + b_4Areafca + \varepsilon_2 \quad (2)$$

$$Kgvet = b_3Areafca + b_5Tasadsc + b_6Kghapast + b_7Kgtrnvnd + b_8Tamhato + \varepsilon_3 \quad (3)$$

Modelo 2:

$$Iha = b_1Kgtrnvnd + b_2UAha + \varepsilon_1 \quad (4)$$

$$Kgtrnvnd = b_3Tasadsc + b_4Kghapast + b_5Cosecha + \varepsilon_2 \quad (5)$$

$$UAha = b_6Tamhato + b_7Areafca + \varepsilon_3 \quad (6)$$

Modelo 3:

$$Iha = b_1Kgtrnvnd + b_2UAha + \varepsilon_1 \quad (7)$$

$$Kgtrnvnd = b_3Kgvet + \varepsilon_2 \quad (8)$$

$$UAha = b_4Numvaca + b_5Areafca + \varepsilon_3 \quad (9)$$

$$Numvaca = b_6Tamhato + \varepsilon_4 \quad (10)$$

Con estos modelos se procede a la estimación de los valores de los parámetros especificados a partir del análisis estructural de las varianzas y covarianzas muestrales. Se utilizó el método de estimación de máxima verosimilitud de acuerdo con Pérez et al. (2013).

Evaluación de ajuste del modelo: Esta evaluación tiene por objeto determinar si las relaciones entre las variables del modelo reflejan adecuadamente las relaciones observadas de los datos (Weston & Gore, 2006). De acuerdo con estos autores, la evaluación del ajuste se debe dar en términos de (a) magnitud y significancia de los parámetros estimados, (b) varianza explicada por las variables, y (c) ajuste del modelo a los datos. Siguiendo a Bentler, (1995) y Byrne, (2001) se utilizaron los siguientes indicadores de ajuste del modelo: Chi-Cuadrado del modelo independiente (χ^2); raíz cuadrada media residual estandarizada (SRMR), índice de bondad de ajuste (GFI), GFI ajustado (AGFI), GFI de parsimonia (GFIP), raíz cuadrada media del error de aproximación



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

(RMSEA), criterio de información de Akaike o AIC (Akaike, 1987), índice de ajuste comparativo (CFI), índice de ajuste normalizado (NFI) y ajuste por parsimonia⁹ (PNFI).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayor variación (CV) se encontró en la Tasadsc, seguida de Kghapast, Kgvvet y Kgtrnvnd con 133,5%, 190,9%, 101,5% y 99,5%, respectivamente. Sin embargo, el menor CV fue el reportado en Cosecha (13,6%). Además, las correlaciones de Pearson entre las variables en estudio están detalladas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Estadística descriptiva de las variables en estudio.

Variable	Media	EE	CV, %
lha	85,1	8,6	86,7
Kgvvet	12,1	2,7	101,5
Kgtrnvnd	298,8	66,5	99,5
UAha	0,96	0,13	61,9
Tasadcs	16,7	7,1	190,9
Kghapast	21,1	6,3	133,5
Cosecha	94,1	2,9	13,6
Tamhato	65,5	12,9	88,1
Areafca	67,4	13,5	89,8
Numvaca	30,6	4,5	65,4

EE = error estándar de la media; CV = coeficiente de variación.

Las más altas correlaciones fueron encontradas entre Kgtrnvnd vs Kgvvet (0,93; $P < 0,01^{***}$), seguida por Numvaca vs Tamhato (0,90; $P < 0,01$), Tamhato vs Areafca (0,67; $P < 0,01$), UAha vs lha (0,63; $P < 0,01$). A excepción de la correlación entre Kgtrnvnd vs Kgvvet, y Numvaca vs Tamhato, el resto de las correlaciones están por debajo del límite de 0,85 que señala Pérez et al. (2013) de no presentar problemas de multicolinealidad que permita sobrestimar las varianzas de las variables correlacionadas (Cuadro 2).

⁹Parsimonia: principio metodológico que se basa en la idea de que la explicación más sencilla es la correcta, en igualdad de condiciones. Además, se valora el ajuste respecto al número de parámetros a utilizados.



Cuadro 2. Coeficiente de correlación de Pearson de las variables en estudio.

	Kgtrnvnd	UAha	Kgvet	Cosecha	Numvaca	Tamhato	Areafca	Tasadsc	Kghapast
lha	0,57***	0,63***	0,57***	-0,04ns	-0,02ns	-0,25ns	-0,57***	0,45**	0,25ns
Kgtrnvnd		0,18ns	0,93***	-0,12ns	-0,17ns	-0,22ns	-0,41*	0,53***	0,57***
UAha			0,16ns	-0,42*	0,41*	0,17ns	-0,42*	0,13ns	0,11ns
Kgvet				-0,17ns	-0,30ns	-0,31ns	-0,47**	0,49**	0,57***
Cosecha					-0,05ns	-0,04ns	0,20ns	0,04ns	-0,22ns
Numvaca						0,90***	0,57***	-0,04ns	-0,16ns
Tamhato							0,67***	-0,08ns	-0,25ns
Areafca								-0,19ns	-0,36ns
Tasadsc									0,37*

***P<0,01; **P<0,05; *P<0,10; ns = no significativo.

Los modelos de las ecuaciones estructurales analizadas por mínimos cuadrados del Modelo 1 se presentan a continuación:

Modelo 1.

$$lha = -15,827 \pm 22,171^{ns} + 2,918 \pm 0,906^{***} Kgvet + 68,770 \pm 18,765^{***} UAha \quad (1)$$

$$R^2_{aj} = 0,581; CV = 56,1\%$$

$$UAha = 2,717 \pm 0,894^{***} - 0,016 \pm 0,010^{*} Cosecha - 0,003 \pm 0,002^{*} Areafca \quad (2)$$

$$R^2_{aj} = 0,211; CV = 54,9\%$$

$$Kgvet = 2,195 \pm 2,279^{ns} - 0,003 \pm 0,042^{ns} Tasadsc + 0,025 \pm 0,049^{ns} Kghapast + 0,036 \pm 0,005^{***}$$

$$Kgtrnvnd - 0,021 \pm 0,020^{ns} Tamhato \quad (3)$$

$$R^2_{aj} = 0,841; CV = 40,5\%$$

En la ecuación (1), ambas variables independientes fueron ($P < 0,01$) diferentes de cero, aunque el intercepto no fue así ($P > 0,10$). Sus R^2_{aj} y CV son moderados. En la ecuación (2), el intercepto fue $P < 0,01$, pero las variables Cosecha y Areafca tuvieron significancia al $P < 0,10$; pero, su R^2_{aj} fue relativamente bajo y CV moderado. Por otra parte, en la ecuación (3), solamente la variable dependiente Kgtrnvnd resultó $P < 0,01$, el resto no fue significativo ($P > 0,10$). Sin embargo, la R^2_{aj} fue de las más altas (0,841), y bajo CV (40,5%).

Los coeficientes de sendero y sus errores estándares, de los cuales resultaron, altamente significativo ($P < 0,01$) los senderos $lha \leftarrow UAha$, $lha \leftarrow Kgvet$ y $Kgvet \leftarrow Kgtrnvnd$. Con una significancia al 5% resultaron los senderos $UAha \leftarrow Cosecha$ y $UAha$



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

← Areafca. El resto de los senderos no fueron significativamente diferentes de cero ($P > 0,10$). La variable UAha tuvo un efecto directo mayor ($0,547 \pm 0,129$) sobre Iha, mientras que la diferencias en efecto directo de Cosecha y Areafca sobre UAha fueron bastante similares y significativos al 10% de probabilidad. Se resalta para la variable dependiente Kgvvet, la variable independiente Kgtrnvnd fue la que mostró mayor efecto directo ($0,876 \pm 0,082$; $P < 0,01$) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Coeficientes de sendero y errores de acuerdo con las rutas del Modelo 1.

Rutas	Estimador, <i>Pyxi</i>	± EE
Iha ← UAha	0,547***	0,129
Iha ← Kgvvet	0,480***	0,129
ε ₁	0,607	0,351
UAha ← Cosecha	-0,353*	0,187
UAha ← Areafca	-0,347*	0,185
ε ₂	0,840	0,418
Kgvvet ← Tasadsc	-0,007 ^{ns}	-0,097
Kgvvet ← Kghapast	0,057 ^{ns}	0,101
Kgvvet ← Kgtrnvnd	0,876***	0,082
Kgvey ← Tamhato	-0,101 ^{ns}	0,086
ε ₃	0,355	0,202

*** $P < 0,01$; ** $P < 0,05$; * $P < 0,10$; ns=no significativo

Los efectos indirectos de Cosecha y Areafca sobre Iha a través de UAha fueron muy similares y ambos con $P < 0,10$ (Cuadro 4). Además, con efecto $P < 0,01$, la variable tiene un efecto indirecto marcado sobre Iha a través de Kgvvet ($0,421 \pm 0,120$). El resto de las variables no mostraron significancia alguna ($P > 0,10$).

Cuadro 4. Efectos indirectos hacia Iha a través de UAha y Kgvvet del Modelo 1.

Variables	Efectos indirectos hacia Iha a través de UAha
Cosecha	-0,193±0,16*
Areafca	-0,200±0,1204*
	Efectos indirectos hacia Iha a través de Kgvvet
Tasadsc	-0,004±0,046 ^{ns}
Kghapast	0,028±0,049 ^{ns}
Kgtrnvnd	0,421±0,120***
Tamhato	-0,048±0,043 ^{ns}

*** $P < 0,01$; ** $P < 0,05$; * $P < 0,10$; ns=no significativo.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Las ecuaciones estructurales del Modelo 2 se detallan a continuación con sus respectivos coeficientes e interceptos.

Modelo 2.

$$lha = -14,660 \pm 22,529^{ns} + 0,117 \pm 0,038^{***} Kgtrnvnd + 67,809 \pm 9,177^{***} UAha$$

$$R^2_{aj} = 0,566; CV = 57,1\% \quad (4)$$

$$Kgtrnvnd = 246,261 \pm 434,886^{ns} + 3,532 \pm 1,884^{*} Tasadsc + 4,411 \pm 2,197^{*} Kghapast - 1,057 \pm 4,483^{ns}$$

Cosecha

$$R^2_{aj} = 0,341; CV = 80,8\% \quad (5)$$

$$UAha = 1,045 \pm 0,154^{***} + 0,008 \pm 0,002^{***} Tamhato - 0,009 \pm 0,002^{***} Areafca$$

$$R^2_{aj} = 0,478; CV = 44,7\% \quad (6)$$

En el Modelo 2, tomando en cuenta la ecuación (4), en lha, las dos variables independientes, Kgtrnvnd y UAha fueron $P < 0,01$ y diferentes de cero; sin embargo, el intercepto no resultó estadísticamente significativo. Tanto en R^2_{aj} (0,566) como el CV (57,1%) fueron moderados, quedando aun mucha variabilidad en los datos por explicar. Con respecto a la ecuación (5), en la variable dependiente Kgtrnvnd, Tasadsc y Kghapast fueron significativas a $P < 0,10$, pero el intercepto y la variable Cosecha no resultaron significativas ($P > 0,05$). El R^2_{aj} resultó bajo (0,341), pero su CV fue alto (80,8%). En la ecuación (6), tanto el intercepto como las variables independientes Tamhato y Areafca fueron altamente significativos ($P < 0,01$). Sin embargo, el R^2_{aj} (0,478) y CV (44,7%) fueron moderados. También hay mucha variabilidad en los datos por explicar.

El efecto directo de UAha sobre lha fue 15,2% mayor al de Kgtrnvnd, pero ambos fueron altamente significativos diferentes a cero ($P < 0,01$) (Cuadro 5). Con respecto a Kgtrnvnd el efecto directo de Kghapast fue 9,7% mayor al efecto directo de Tasadsc y ambos fueron significativos al 10%. Por otra parte, el efecto directo de Cosecha fue mucho menor ($P > 0,10$) y negativo. Para la variable independiente UAha, ambas variables independientes, Tamhato y Areafca mostraron los mayores efectos directos y altamente significativos, solo que el efecto directo de UAha \leftarrow Areafca fue negativo.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Cuadro 5. Coeficientes de sendero de acuerdo con las rutas del Modelo 2.

Rutas	Estimador, <i>Pyxi</i>	± EE
Iha ← Kgtrnvnd	0,481***	0,136
Iha ← UAha	0,554***	0,133
ε ₁	0,659	0,369
Kgtrnvnd ← Tasadsc	0,380*	0,174
Kgtrnvnd ← Kghapast	0,417*	0,176
Kgtrnvnd ← Cosecha	-0,046 ^{ns}	0,177
ε ₂	0,745	0,387
UAha ← Tamhato	0,802***	0,213
UAha ← Areafca	-0,954***	0,198
ε ₃	0,684	0,396

***P<0,01; **P<0,05; *P<0,10; ns=no significativo.

Los efectos indirectos de Tasadsc y Kghapast sobre Iha a través de Kgtrnvnd fueron bajos y significativos a P<0,10, siendo el efecto de Kghapast 9,8% mayor que el de Tasadsc (Cuadro 6). Con respecto a los efectos indirectos de Tamhato y Areafca sobre Iha a través de UAha, ambos fueron moderados y altamente significativos (P<0,01). Areafca mostró un efecto indirecto negativo (-0,528±0,168).

Cuadro 6. Efectos indirectos hacia Iha a través de Kgtrnvnd y UAha del Modelo 2.

Variables	Efectos indirectos hacia Iha a través de Kgtrnvnd
Tasadsc	0,183±0,103*
Kghapast	0,201±0,107*
Cosecha	-0,022±0,085 ^{ns}
	Efectos indirectos hacia Iha a través de UAha
Tamhato	0,445±0,161***
Areafca	-0,528±0,168***

***P<0,01; **P<0,05; *P<0,10; ns=no significativo.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Las ecuaciones estructurales que componen el Modelo 3 se detallan a continuación:

Modelo 3.

$$lha = -14,660 \pm 22,529^{ns} + 0,117 \pm 0,038^{***} Kgtrnvnd + 67,809 \pm 19,177^{***} UAha$$

$$R^2_{aj} = 0,566; CV = 57,1\% \quad (7)$$

$$Kgtrnvnd = 27,118 \pm 36,230^{ns} + 22,518 \pm 2,134^{***} Kgvvet$$

$$R^2_{aj} = 0,853; CV = 38,1\% \quad (8)$$

$$UAha = 0,727 \pm 0,121^{***} + 0,028 \pm 0,004^{***} Numvaca - 0,009 \pm 0,001^{***} Areafca$$

$$R^2_{aj} = 0,763; CV = 30,1\% \quad (9)$$

$$Numvaca = 10,100 \pm 3,048^{***} + 0,312 \pm 0,035^{***} Tamhato$$

$$R^2_{aj} = 0,803; CV = 29,1\% \quad (10)$$

En la ecuación (7), las variables Kgtrnvnd y UAha resultaron altamente significativas ($P < 0,01$) en lha, pero no así el intercepto ($P > 0,10$). Su R^2_{aj} y CV fueron moderados con 0,566 y 57,1%, respectivamente. Al tomar en cuenta la ecuación (8), la variable independiente Kgvvet fue significativamente ($P < 0,01$) influyente en Kgtrnvnd, pero su intercepto no ($P > 0,10$). Además, su R^2_{aj} fue alto (0,853) y su CV fue relativamente bajo (30,1%). En la ecuación (9), UAha fue influenciada significativamente ($P < 0,01$) por Numvaca y Areafca; además de su intercepto. Su R^2_{aj} fue alto (0,763) y su CV fue bajo (30,1%). Finalmente, en la ecuación (10) se aprecia la altamente significativa ($P < 0,01$) influencia de Tamhato sobre Numvaca y la alta significancia del intercepto. Su R^2_{aj} fue alto con 0,803 y su CV fue bajo con 29,1%.

Los efectos directos medidos a través del coeficiente de sendero del Modelo 3 se detallan en el Cuadro 7. Los efectos directos de Kgtrnvnd y UAha sobre lha fueron moderadamente significativos ($P < 0,01$) con una ligera ventaja de 11,5% de lha \leftarrow UAha. Además, el efecto directo de Kgtrnvnd \leftarrow Kgvvet fue alto y altamente significativo ($P < 0,01$). Los efectos directos de UAha \leftarrow Numvaca y UAha \leftarrow Areafca fueron altos y muy significativos ($P < 0,01$), pero este último tuvo un efecto directo negativo. El efecto directo de Numvaca \leftarrow Tamhato fue alto y de alta significancia.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Los efectos indirectos de Kgv_{vet} sobre Iha a través de Kgtr_{nvnd} fue moderado y altamente significativo ($P < 0,01$). Similarmente, los efectos indirectos de Num_{vaca} y Area_{fca} sobre Iha a través de UA_{ha} también fueron moderados y significativos ($P \leq 0,01$), aunque el efecto indirecto de Area_{fca} fue negativo ($-0,525 \pm 0,156$). El efecto indirecto de Tam_{hato} sobre Iha a través de Num_{vaca} también fue moderado y altamente significativo ($P < 0,01$) (Cuadro 8).

Cuadro 7. Coeficientes de sendero de acuerdo con las rutas del Modelo 3.

Rutas	Estimador, β_{xyi}	\pm EE
Iha \leftarrow Kgtr _{nvnd}	0,477***	0,140
Iha \leftarrow UA _{ha}	0,532***	0,134
ε_1	0,630	0,369
Kgtr _{nvnd} \leftarrow Kgv _{et}	0,928***	0,024
ε_2	0,373	0,212
UA _{ha} \leftarrow Num _{vaca}	0,982***	0,184
UA _{ha} \leftarrow Area _{fca}	-0,988***	0,183
ε_3	0,476	0,292
Num _{vaca} \leftarrow Tam _{hato}	0,902***	0,043
ε_4	0,433	0,278

*** $P < 0,01$; ** $P < 0,05$; * $P < 0,10$; ns=no significativo.

Cuadro 8. Efectos indirectos hacia Iha a través de Kgtr_{nvnd} y UA_{ha} del modelo 3.

Variables	Efectos indirectos hacia Iha a través de Kgtr _{nvnd}
Kgv _{et}	0,522 \pm 0,134*** Efectos indirectos hacia Iha a través de UA _{ha}
Num _{vaca}	0,522 \pm 0,163***
Area _{fca}	-0,525 \pm 0,153*** Efectos indirectos hacia Iha a través de Num _{vaca}
Tam _{hato}	0,471 \pm 0,156***

*** $P < 0,01$; ** $P < 0,05$; $P < 0,10$

La evaluación de ajuste, de acuerdo con Weston & Gore (2006), tiene por objeto disminuir si las relaciones entre las variables del modelo estimado reflejan adecuadamente las relaciones observadas en los datos. Los criterios recomendados por Pérez et al. (2013) para evaluar la bondad de ajuste de los modelos que se presentan en el Cuadro 9. Se observa que el Modelo 3 presenta mayor valor de χ^2 y es altamente significativo (Cuadro



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

9). También los índices de bondad de ajuste no corregido y corregido son altos y el índice de bondad de ajuste por parsimonia está más próximo a 1,0. Por otra parte, la raíz del residuo cuadrático medio estandarizado es el más próximo a cero y la raíz cuadrada media del error de aproximación es cero. Además, el criterio de información de Akaike o AIC es el menor y los índices de ajuste normalizado y corregido por parsimonia con es próximo a $P > 0,95$ y próximo a 1,0, respectivamente.

Cuadro 9. Estadísticos de bondad de ajustes y criterios de referencias.

Estadísticos	Abrev.	Modelos hipotetizados			Criterios Referencia
		1	2	3	
Pr > Chi-cuadrado	χ^2	119,5***	77,7***	144,0***	Sig. >0,05
Índice de bondad de ajuste	GFI	0,837	0,874	0,880	$\geq 0,95$
Índice de bondad de ajuste corregido	AGFI	0,436	0,588	0,720	$\geq 0,95$
Índice de bondad de ajuste de parsimonia	GFIP	0,302	0,344	0,503	Próx. a 1,0
Raíz del residuo cuadrático medio estandarizado	SRMR	0,082	0,087	0,065	Próximo a 0
Raíz cuadrada media del error de aproximación	RMSEA	0,195	0,124	0,000	<0,05
Criterio de información de Akaike	AIC	85,360	64,187	43,103	Menor valor
Índice de ajuste normalizado	NFI	0,482	0,535	0,865	$\geq 0,95$
Índice corregido por parsimonia	PNFI	0,294	0,321	0,527	Próx. a 1

*** $P < 0,01$

Tomando en cuenta los criterios del Cuadro 9, las significancias de las variables independientes de las ecuaciones estructurales del Modelo 3 y de los interceptos de las ecuaciones (9) y (10); así como de la significancia moderada a alta de los efectos directos de las variables intervinientes y efectos directos e indirectos de las variables exógenas, este Modelo es el que mejor se ajusta a los datos y mejor determina las variables que influyen directa e indirectamente en el Iha del sistema vaca-ternero del grupo ASOPEGA. La Figura 3 es representativa de las variables que determinan el Iha del sistema vaca-ternero de pequeños ganaderos de ASOPEGA.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

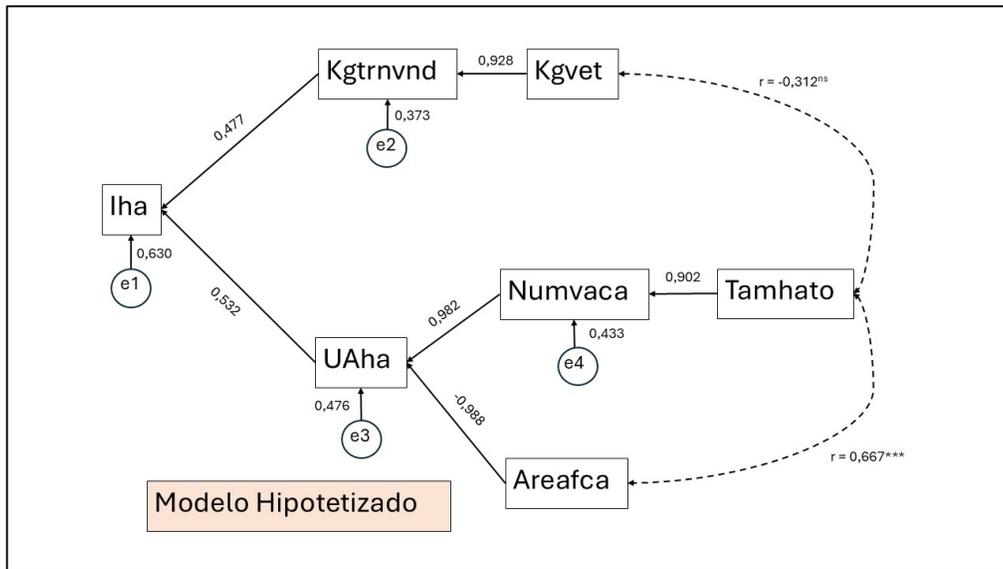


Figura 3. Modelo hipotetizado seleccionado como representativo del Iha.

La literatura es muy escasa en este tipo de estudio, por lo que el presente trabajo es un pionero para el desarrollo de futuras investigaciones.

CONCLUSIONES

- El presente estudio permitió determinar la relación entre el ingreso por hectárea (Iha) con características zootécnicas y de la finca ganadera del sistema vaca-ternero utilizando correlaciones de Pearson y el análisis de sendero.
- Las ecuaciones predictivas podrían servir como herramienta predictiva para los ganaderos con características similares a los de ASOPEGA.
- Mejorar la carga animal de la finca (UAha) y los kilogramos de ternero destetados vendidos (Kgtrnvnd) podría llevarnos a un aumento directo en el Iha.
- Mejorar los kilogramos de terneros destetados por vaca expuesta a toro (Kgvvet) mejoraría los Kgtrnvnd.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Mejorar Tamhato aumentaría el número de vacas (Numvaca) y esta a su vez aumentaría la UAha.
- Aumentar el área de la finca (Areafca) no mejoraría la UAha e indirectamente a lha.

REFERENCIAS

- Akaike, H. (1987). Factor analysis and AIC. *Psychometrika*, 52, 317-332.
http://cda.psych.uiuc.edu/psychometrika_highly_cited_articles/akaike_1987.pdf
- Batista-Foguete, J. M., & Coenders-Gallard, G. C. (2000). *Modelos de Ecuaciones Estructurales*. La Muralla, S.A. Madrid, España.
- Bentler, P. M. (1995). *Structural equations program manual*. Multivariate Software, Inc. Encino, CA.
- Bondari, K. (April 29 through May 1, 1990). *Path analysis in agricultural research*. [Conferencia invitada]. 2nd Annual Conference on Applied Statistics in Agriculture. Kansas States University, Manhattan, Kansas.
<https://doi.org/10.4148/2475-7772.1439>
- Byrne, B. M. (2001). *Structural equation modeling with AMOS: Basic concepts, applications, and programing*. Lawrence Erlbaum. Mahwah, NJ.
- Chaitanya, G., Tevari, P., & Hanumanthappa, D. (2024). Path analysis: an overview and its application in social sciences. *International Journal of Agriculture Extension and Social Development*, 7(4), 299-303.
<https://www.extensionjournal.com/article/view/556/7-4-54>
- Draper, N. R., & Smith, H. (1981). *Applied regression analysis*. 2nd Edition. John Wiley and sons. New York, NY.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Holdridge, L. R. (1979). *Ecología basada en zonas de vida*. 3rd Ed. Trd. Jiménez Saa, Humberto. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). San José, Costa Rica.
<https://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá y Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo (1991). *Proyecto Estudio de sistemas de producción doble propósito (leche y carne) en pequeñas y medianas fincas de Panamá. Informe Final*. IDIAP-CIID. Gualaca, Chiriquí. Panamá. 145p.

Li, C. C. (1975). *Path analysis. A primer*. The Boxwood Press. Pacific Grove, CA.

Lleras, C. (2005). Path analysis. *Encyclopedia of Social Measurement*, 3, 25-30.
<https://doi.org/10.1016/B0-12-369398-5/00483-7>

Molabe, K. M., & Tyasi, T. L. (2021). Application of biometric traits for predicting weaning weight of Dorper Shep using path analysis. *International Journal of Veterinary Science*, 10(4), 335-339.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20210435291>

Norris, D., Brown, D., Moela, A. k., Selolo, T. C., Mabelebele, M., Ngambi, J. W., & Tyasi, T. L. (2015). Path coefficient and path analysis of body weight and biometric traits in indigenous goats. *Indian Journal of Animal Research*, 49, 573-578.
<https://research.biust.ac.bw/en/publications/path-coefficient-and-path-analysis-of-body-weight-and-biometrie-t>

Okkylya, S., Dwijatmiko, S., & Kurnianto, E. (2014). Path analysis of recording system innovation factors affecting adoption of goat farmers. *Journal Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 39(1), 58-64.
<https://ejournal.undip.ac.id/index.php/jitaa/article/view/7379>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Pérez, E., Medrano, L. A., & Sánchez-Rosas, J. (2013). El Path Analysis: conceptos básicos y ejemplos de aplicación. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 5(1), 51-66.

<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/racc/article/view/5160/5325>

Sharma, R., Chaudhary, J. K., Shyamsana-Singh, N., Tolankhomba, T. C., Kalita, G., Mayengbam, P., Lalramliana, A., & Hada, R. (2020). Path analysis of effective factors affecting milk yield of crossbred dairy cattle by using structural equation modeling (SEM). *International Journal of Livestock Research*, 10(10), 169-174.

<https://www.researchgate.net/publication/346051523>

Temoso, O., Coleman, M., Baker, D., Morley, P., Baleseng, L., Makgekgenene, A., & Bahta, S. (2017). Using path analysis to predict bodyweight from body measurements of goats and sheep of communal rangelands in Botswana. *Suth African Journal of Animal Science*, 47(6), 854-863.

<https://www.ajol.info/index.php/sajas/article/view/162644>

Tyasi, T. L., Mathyne, N. D., Danguru, L. W., Rashijane, L. T., Mokoena, K., Makgowo, K. M., Mathapo, M. C., Molabe, K. M., Bopape, P. M., & Maluleke, D. (2020). Correlation and path analysis of body weight and biometric traits of Nguni cattle breed. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 7(1), 148-55.

<https://www.bibliomed.org/mnsfulltext/39/39-1575102777.pdf?1731610915>

Weston, R. W., & Gore Jr, P. A. (2006). A brief guide to structural equation modeling. *The Counseling Psychologist*, 34, 719-751.

https://www.researchgate.net/publication/258192143_A_Brief_Guide_to_Structural_Equation_Modeling

Wright, S. (1934). The method of path coefficients. *The Annals of Mathematical Statistics*, 5, 161-215. https://fitelson.org/269/Wright_PC.pdf



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Xiao, Y., Cui, Y., & Hu, L. (2015). The path analysis of farmer's income structure in Yunnan Province. *Asian Agricultural Research*, 7(2), 47-49.

<https://ageconsearch.umn.edu/record/202103/files/11.PDF>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)