

Uso de modelos conceptuales en Ingeniería Ambiental: simulando la gestión sostenible de granjas de cuyes

David Alejandro Alvarado Cuarán

Cleiver Efrén Cuastuza Cuastuza

Marianela Solarte Meneses

Estudiantes de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana

Mario Alberto Jurado Eraso

Profesor de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana

Introducción

La crianza de cuyes (*Cavia porcellus*) es una actividad de gran importancia socioeconómica en Nariño, Colombia, al contribuir a la seguridad alimentaria y generar ingresos para familias rurales. No obstante, enfrenta desafíos ambientales y financieros debido al incremento en la demanda de carne y prácticas de manejo ineficientes (Apráez et al., 2013). Entre estos desafíos, se incluye la presión sobre recursos como agua y suelo, así como la gestión inadecuada de residuos orgánicos, con impactos potenciales en la salud humana y animal (Andía, 2021). Además, factores como la variabilidad en los costos de insumos y precios de venta, afectan la rentabilidad de estas unidades productivas (Banegas, 2018). Este trabajo surge de una actividad propuesta por el docente Mario Alberto Jurado Eraso en la asignatura de 'Modelación Ambiental' del programa de Ingeniería Ambiental en la Universidad Mariana durante el periodo 2025-1, y fue desarrollado por estudiantes de octavo semestre. La Figura 1 muestra parte del proceso de planeación, incluyendo el reconocimiento de la zona de estudio.

Figura 1

Estudiantes de modelación ambiental con el docente Mario Jurado



Nota. Archivo fotográfico personal.

El proyecto evaluó la sostenibilidad ambiental y financiera de la crianza de cuyes mediante la simulación de escenarios en gestión agropecuaria, utilizando el software Insight Maker para modelar las interacciones biológicas, ambientales y económicas del sistema. El objetivo es comprender la modelación ambiental, construir un modelo conceptual de la crianza de cuyes en Nariño, analizar su sostenibilidad y explorar el uso de IA para optimizar el proceso, enfocándose en una granja familiar sin considerar dinámicas a gran escala (Villegas, 2021).

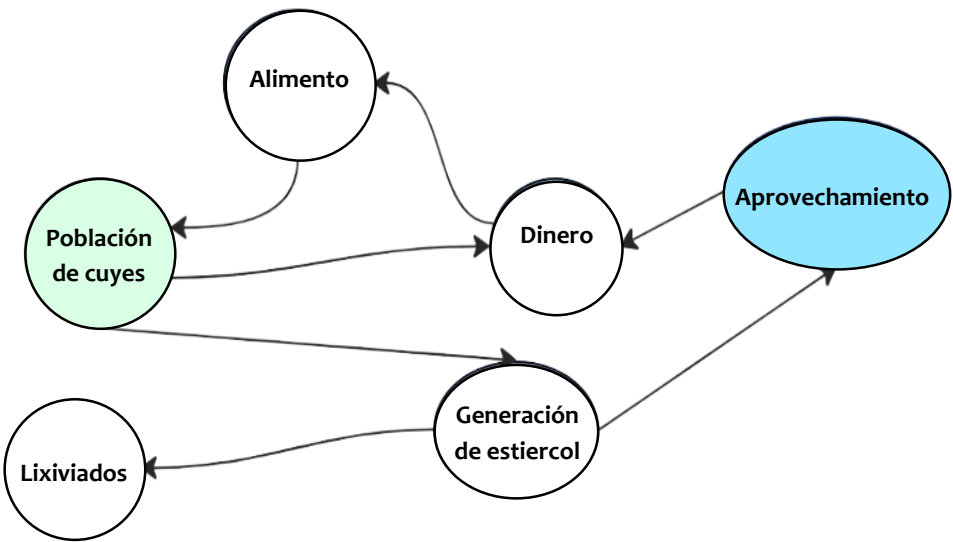
Metodología

Paso 1: Diseño de la investigación y elaboración de modelo conceptual: este estudio, basado en la modelación

ambiental, evaluó la sostenibilidad de la crianza de cuyes a pequeña escala en Nariño, Colombia. Se desarrolló un modelo conceptual que representa las interacciones clave dentro de un sistema productivo familiar típico. La investigación adoptó un diseño descriptivo-explicativo: descriptivo, al caracterizar los componentes y flujos del sistema de crianza; y explicativo, al analizar relaciones causa-efecto mediante simulación de escenarios (Wijnhoven, 2023). No se aplicó muestreo probabilístico, ya que el estudio se centró en una granja familiar representativa de la región, caracterizada a partir de una revisión de literatura.

Figura 2

Marco conceptual



Paso 2: Construcción del modelo conceptual a computacional: un modelo conceptual es una representación cualitativa simplificada de un sistema real que define sus componentes principales (stocks), los procesos que los modifican (flows) y sus interrelaciones (variables auxiliares y conectores), sirviendo como base para la cuantificación y simulación matemática (Martínez, 2023). Con Insight Maker se desarrolló en este estudio, una herramienta en línea para modelación y simulación computacional basada en diagramas de stocks y flujos (Wijnhoven, 2023). Se identificaron las principales variables de estado que representan acumulaciones clave en el sistema, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1

Principales Stocks del Modelo Conceptual

Stock	Descripción	Unidad	Valor inicial
Población cuyes	Número de animales en la granja	Cuyes	100
Alimento	Cantidad de alimento concentrado disponible	kg	200
Estiércol y residuos generados	Acumulación de estiércol y restos no consumidos	kg (materia)	0
Aprovechamiento	Estiércol procesado o listo para usar como abono	kg (materia)	0
Total, lixiviados	Acumulación potencial de líquidos percolados	L (o kg eq.)	0
Dinero	Capital financiero de la operación (relativo)	Unid. Monet.	0

Paso 3: Definición de flujos y variables auxiliares: se definieron los flujos que regulan los cambios en los stocks, los cuales se detallan en la Tabla 2 junto con sus conexiones y ecuaciones.

Tabla 2

Definición de flujos y ecuaciones del modelo

Nombre del Flow	Tipo / Conexión	Ecuación del Modelo
Nacimientos	Entrada a ‘Población cuyes’	[Población cuyes]*[Tasa de nacimientos]
Muertes	Salida de ‘Población cuyes’	[Tasa de muerte]*[Población cuyes]
Compra de alimento	Entrada a ‘Alimento’	150*[Tasa de compra]
Alimento consumido	Salida de ‘Alimento’	[Alimento]*[Tasa de consumo por cuy]
Consumo de alimento	Entrada a ‘Estiércol y residuos generados’	[Alimento consumido]*[Tasa de digestión de alimento]
Generación de estiércol	Salida de ‘Estiércol y residuos generados’	[Estiércol y residuos generados]*[Tasa de residuos]
Estiércol	Entrada a ‘Aprovechamiento’	[Tasa de aprovechamiento]*[Generación de estiércol]
Abono	Salida de ‘Aprovechamiento’	[Aprovechamiento]*[Tasa producción de abono]
Generación lixiviados	Entrada a ‘Total lixiviados’	[Estiércol]*[Tasa generación lixiviado]
Salida lixiviados	Salida de ‘Total lixiviados’	[Tasa lixiviados]*[Total lixiviados]
Ingresos	Entrada a ‘Dinero’	[Tasa venta abono]*[Abono]

La magnitud de estos flujos es controlada por variables auxiliares (parámetros o tasas), como se aprecia en la Tabla 3.

Tabla 3

Variables Auxiliares (Parámetros/Tasas) y Valores Base del Modelo

Variable Auxiliar	Valor Inicial	Interpretación / Descripción de la Variable
Tasa de nacimientos	0.1	(10 % de la población nace por mes)
Tasa de muerte	0.25	(25 % de la población muere por mes)
Tasa de compra	0.9	(90 % de tasa de compra)
Tasa consumo por cuy	0.70	(70 % tasa consumo por cuy)
Tasa de digestión de alimento	0.25	(25 % tasa de digestión)
Tasa de residuos	0.15	(15 % de residuos)
Tasa de aprovechamiento	0.20	(20 % del estiércol se convierte en abono utilizable)
Tasa de producción de e abono	1	(100 % de tasa de producción)
Tasa generación lixiviados	0.60	(60 % de tasa de generación)
Tasa lixiviados	1	(100 % de tasa de producción [salida])
Tasa de venta abono	0.400	(40 % de venta abono / Precio relativo)

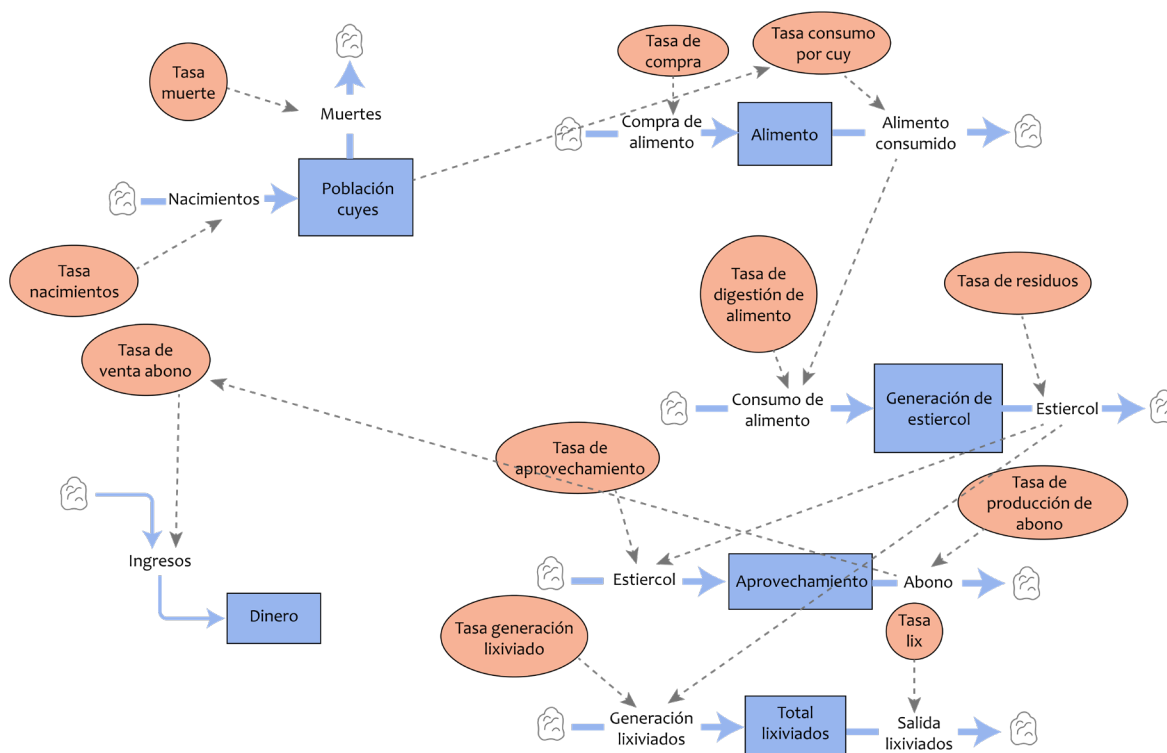
Paso 4: Cuantificación y simulación del modelo. Se representaron las relaciones del modelo con ecuaciones y parámetros basados en referencias previas. Las simulaciones en *Insight Maker* evaluaron un escenario base y otro con enfermedad, donde aumentó la mortalidad y disminuyó la natalidad; además, se utilizó *prompting* con ChatGPT para obtener información sobre el manejo de residuos, la composición del abono orgánico y las prácticas de bioseguridad, enriqueciendo así el desarrollo del modelo.

Resultados

La Figura 2 muestra el modelo conceptual desarrollado en *Insight Maker*, el cual incluye la simulación de diversos factores como stocks, variables y flujos. Este modelo permite analizar distintos escenarios futuros del estudio y, de esta manera, estimar los posibles resultados que se podría obtener al finalizar la investigación.

Figura 3

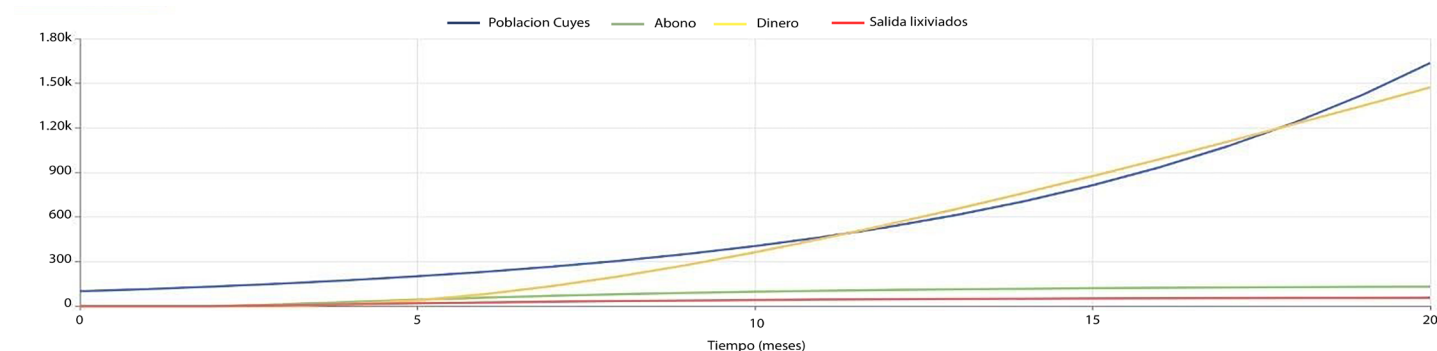
Modelo conceptual granja de cuyes



Después de generar el modelo conceptual, se simularon dos escenarios posibles: uno positivo y otro negativo. Esto permitió analizar cómo los componentes evaluados tienden a cambiar ante distintas condiciones.

Figura 4

Escenario positivo

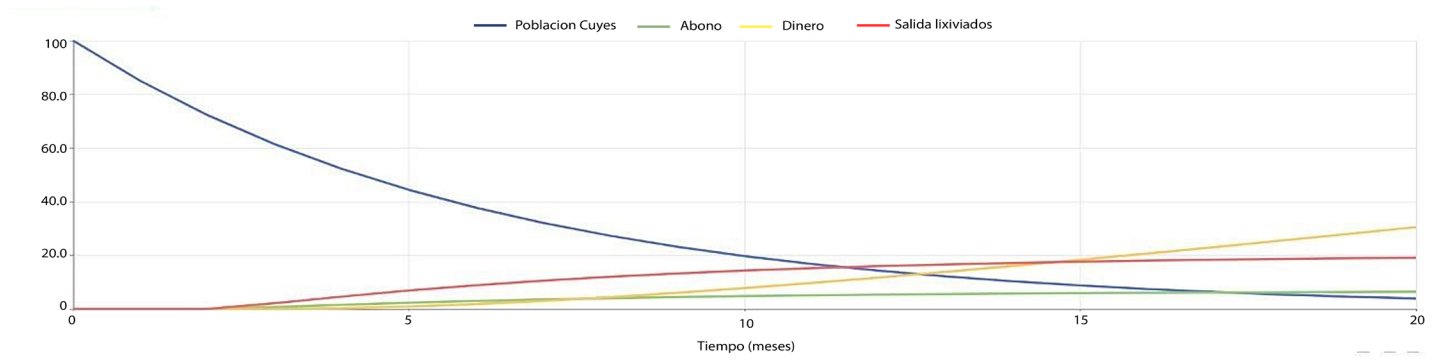


La Figura 4 muestra el escenario positivo, donde el crecimiento exponencial de la población de cuyes (línea azul) sugiere que la tasa de nacimientos supera a la de muertes, mientras que el aumento constante del dinero (línea

amarilla) indica que la venta de productos como el abono, está generando ingresos. Por su parte, la producción de abono (línea verde) también muestra un incremento, aunque a un ritmo menor que el crecimiento de los cuyes y el dinero. En contraste, la salida de lixiviados (línea roja) se mantiene estable y en niveles bajos, lo que sugiere que el sistema no está acumulando residuos líquidos de manera preocupante.

Figura 5

Escenario negativo



La Figura 5 muestra que la población de cuyes (línea azul) disminuye drásticamente con el tiempo, ya que un aumento del 25 % en la mortalidad por enfermedad y una reducción del 10 % en la tasa de nacimientos, aceleran el colapso del sistema. Como resultado, la producción de abono (línea verde) cae debido a la menor generación de estiércol y la disminución en la demanda y el precio del producto. El dinero generado (línea amarilla) crece más lentamente, reflejando la menor rentabilidad del sistema. Finalmente, la salida de lixiviados (línea roja) se mantiene estable o con un ligero aumento, debido a la falta de control sobre el material en descomposición.

Discusión

Los hallazgos de la simulación con *Insight Maker* confirman la utilidad de la modelación ambiental basada en la dinámica de sistemas para evaluar la sostenibilidad en sistemas agropecuarios complejos, como la crianza de cuyes en Nariño. El modelo captura interdependencias clave entre aspectos biológicos (dinámica poblacional), ambientales (manejo de residuos) y económicos (ingresos por ventas y subproductos), permitiendo analizar el impacto de decisiones de manejo en la viabilidad del sistema.

El escenario base proyecta sostenibilidad y rentabilidad, si se mantienen parámetros adecuados y una gestión eficiente de residuos, destacando el valor del estiércol como biofertilizante en la economía circular (Ellen MacArthur Foundation, 2021). En contraste, la simulación de una enfermedad revela la vulnerabilidad del sistema ante choques externos, subrayando la necesidad de estrategias preventivas y bioseguridad. El análisis revela cómo, variaciones en parámetros pueden amplificar efectos inesperados en el sistema, destacando la complejidad del modelo y su utilidad para la toma de decisiones (Bianchi y Montemaggiore, 2008). La modelación permite integrar conocimientos interdisciplinarios para evaluar *trade-offs* y diseñar estrategias sostenibles (Herrero et al., 2020). Aunque no se implementaron tecnologías emergentes, la futura incorporación de datos en tiempo real e inteligencia artificial podría optimizar la toma de decisiones (Shekhar et al., 2022).

La simulación en *Insight Maker* proyectó distintos escenarios para la finca de cuyes, evaluando su sostenibilidad ambiental y financiera. En un escenario positivo, el crecimiento estable de la población de cuyes impulsó la producción y venta de abono, fortaleciendo los ingresos. Ambientalmente, una gestión eficiente de los residuos minimizó los lixiviados y redujo el impacto ambiental. La valorización del estiércol como abono equilibró rentabilidad económica y responsabilidad ecológica, facilitando el diálogo entre actores clave para mejorar la sostenibilidad productiva.

Conclusiones

En el marco de la asignatura de Modelación Ambiental, este estudio permitió aplicar herramientas de simulación para evaluar la sostenibilidad de la crianza de cuyes en Nariño. A través del software *Insight Maker*, se modelaron dinámicas clave del sistema productivo, evidenciando su vulnerabilidad ante factores como enfermedades y eficiencia en el uso de recursos.

El ejercicio resaltó la importancia de la Modelación Ambiental como un enfoque analítico para comprender las interacciones entre variables ambientales, económicas y biológicas. Además, demostró su utilidad en la toma de decisiones, para optimizar procesos productivos y reducir impactos negativos. De esta manera, la asignatura brinda una base metodológica para la gestión sostenible en sistemas agropecuarios, promoviendo estrategias de manejo fundamentadas en datos y simulaciones.

Referencias

- Andía, V. (2021). *Efecto de alimento suplementado con una mezcla probiótica sobre los parámetros productivos de Cavia porcellus "cuy"*. Ayacucho, 2018 [Tesis doctoral, Universidad Nacional Federico Villarreal]. UNFV-Institucional. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNF_7b3d622c9aa261001aa3f85b8539b3be/Details
- Apráez, E., Gómez, T. C. y Calpa, S. (2013). Comportamiento productivo de cuyes (*Cavia porcellus*) bajo arreglos silvopastoriles en clima medio del departamento de Nariño. *Revista Investigación Pecuaria REVIP*, 2(2), 41-48.
- Banegas, N. (2018). *Determinación de costos de producción y rentabilidad en la agro producción de granjas de cuyes en Moquegua* [Tesis de pregrado, Universidad José Carlos Mariátegui]. https://repositorio.ujcm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12819/398/Nataly_tesis_titulo_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bianchi, C., & Montemaggiore, G. B. (2008). Enhancing strategy design and planning in public utilities through "dynamic" balanced scorecards: insights from a project in a city water company. *Systems Dynamic Review*, 24(2), 175-213. <https://doi.org/10.1002/sdr.395>

EllenMacArthurFoundation.(2021).TheNatureImperative: How the circular economy tackles biodiversity loss. <https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/c174fffc3aa3556/original/El-imperativo-de-la-naturaleza-The-Nature-Imperative.pdf>

Herrero, M., Thornton, P. K., Mason-D'Croz, D., Palmer, J., Benton, T. G., Bodirsky, B. L., Bogard, J. R., Hall, A., Lee, B., Nyborg, K., Pradhan, P., Bonnett, G. D., Bryan, B. A., Campbell, B. M., Christensen, S., Clark, M., Cook, M. T., de Boer, I. J. M., Downs, C., ... Rockström, J. (2020). Innovation can accelerate the transition towards a sustainable food system. *Nature Food*, 1(5), 266-272. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0074-1>

Martínez, L. M. (2023). *Capacidad de modelación ambiental y desarrollo sostenible en el Gobierno Regional de Ica*, 2019. Universidad Nacional San Luis Gonzaga

Shekhar, K., Whitney, I. E., Butrus, S., Peng, Y. R., & Sanes, J. R. (2022). Diversification of multipotential postmitotic mouse retinal ganglion cell precursors into discrete types. *Elife*, e73809. <https://doi.org/10.7554/eLife.73809>

Villegas, D. (2021). Determinación del uso potencial del suelo a partir de la modelación geoespacial de variables agroecológicas y forestales de un área de protección ambiental ubicada en la Región Centro-Sur de México. *Acta Universitaria*, 31, e3049. <https://doi.org/10.15174/au.2021.3049>

Wijnhoven, F. (2023). *Insight Maker Introduction Course Manual*. https://insightmaker.com/sites/Introduction_Manual.pdf

