



Simulación de velocidad del viento y temperatura en jaulas de cuyes (*Cavia porcellus* Linnaeus, 1758)

Simulation of wind speed and temperature in a guinea pig cages (*Cavia porcellus* Linnaeus, 1758)

Citación: Machaca, A., Palomino, C., Zubileta, P., Huillcacuri Torres, L. ., & Caballero Enriquez, R. . Simulación de velocidad del viento y temperatura en jaulas de cuyes (*Cavia porcellus* Linnaeus, 1758). Q'EUÑA, 17(1), 39–45.

<https://doi.org/10.51343/rq.v17i1.2049>

Recibido: 22-02-2026

Aceptado: 14-05-2026

Publicado: 29-06-2026



Copyright: © 2026. Este es un artículo de acceso abierto revisado por pares y publicado por la Revista Q'EUÑA de la Sociedad Botánica del Cusco y la UNSAAC (<http://revistas.unsaac.edu.pe/index.php/RQ>) y distribuido bajo los términos de la licencia de atribución [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Declaración de disponibilidad de datos: Todos los datos relevantes están dentro del documento y sus archivos de información de respaldo.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Autor Corresponsal:

Abraham Filiberto Machaca Mamani
abraham.machaca@unsaac.edu.pe

A. Machaca¹, C. Palomino², P. Zubileta³, L. Huillcacuri⁴, R. Caballero⁵
Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Escuela Profesional de Zootecnia

Resumen

La aplicación de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) en el diseño de instalaciones pecuarias permite optimizar elementos estructurales, como aberturas, techos y sistemas de ventilación, para garantizar una distribución eficiente del flujo de aire y del gradiente térmico. Bajo esta premisa, el presente estudio se planteó como objetivo principal validar un modelo de simulación CFD mediante la comparación de temperaturas ambientales medidas y simuladas en un sistema de producción de cuyes, evaluando así la precisión de esta herramienta para la toma de decisiones en el diseño de alojamientos que promuevan el bienestar y la productividad animal. El monitoreo experimental se llevó a cabo en una batería de 21 compartimentos individuales (organizados en una matriz de 7 columnas por 3 filas). Para capturar el microclima ambiental, se seleccionaron unidades de forma aleatoria y se instaló un registrador de datos HOBO 174 H a una altura de 10 cm por encima del nivel de los animales, evitando el contacto físico pero registrando el aire inmediato a su zona de actividad durante seis días consecutivos. Las condiciones de contorno para la simulación incluyeron datos climáticos del SENAMHI y la temperatura superficial de los cuyes (registrada entre 24 y 29 °C) como fuentes de calor sensible. Los resultados mostraron una temperatura promedio simulada de 20.70 °C, la cual guarda una estrecha correlación con la temperatura promedio ambiental medida de 21.46 °C. La validación estadística arrojó una Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) de 0.76, un valor que confirma la fiabilidad del modelo CFD. Estos hallazgos subrayan la efectividad de la simulación para optimizar el diseño de galpones, sugiriendo que futuras investigaciones deberían integrar variables como la humedad y la velocidad del aire para un control ambiental integral.

Palabras clave: *Velocidad Viento, Temperatura, Cuyes, Jaula*

Abstract

The application of Computational Fluid Dynamics (CFD) in the design of livestock facilities allows for the optimization of structural elements, such as openings, roofs, and ventilation systems, to ensure efficient airflow and thermal gradient distribution. Based on this premise, the present study aimed to validate a CFD simulation model by comparing measured and simulated ambient temperatures in a guinea pig production system, thus evaluating the accuracy of this tool for decision-making in the design of housing that promotes animal welfare and productivity. Experimental monitoring was conducted in a battery of 21 individual compartments (arranged in a 7x3 matrix). To capture the ambient microclimate, units were randomly selected and a HOBO 174 H data logger was installed 10 cm above the animals, avoiding physical contact but recording the air immediately surrounding their activity zone for six consecutive days. The boundary conditions for the simulation included climate data from SENAMHI and the surface temperature of the guinea pigs (recorded between 24 and 29 °C) as sensible heat sources. The results showed a simulated average temperature of 20.70 °C, which is closely correlated with the measured average ambient temperature of 21.46 °C. Statistical validation yielded a Root Mean Square Error (RMSE) of 0.76, a value that confirms the reliability of the CFD model. These findings underscore the effectiveness of the simulation for optimizing the design of sheds, suggesting that future research should integrate variables such as humidity and air velocity for comprehensive environmental control.

Keywords: *Wind Speed, Temperature, Guinea Pigs, Cage*

Introducción

El CFD (*Computational Fluid Dynamics* o Dinámica de Fluidos Computacional) es una herramienta que permite analizar, predecir y optimizar el diseño de edificios y granjas, con el fin de mejorar la ventilación, el confort térmico y la eficiencia energética, contribuyendo así a la reducción de costos en los sistemas de crianza animal. Tiene como objetivo simular el comportamiento de los fluidos y los procesos de transferencia de calor mediante métodos numéricos que resuelven las ecuaciones de conservación de masa, momento y energía en un fluido. Actualmente, gracias al avance de los métodos numéricos y al incremento de la capacidad de procesamiento de los ordenadores, el CFD se ha convertido en una herramienta práctica y eficiente para el análisis de fenómenos relacionados con fluidos, constituyéndose en un recurso fundamental para el diseño y la optimización de sistemas (Barazal *et al.*, 2015).

En la crianza familiar-comercial de cuyes (*Cavia porcellus* Linnaceus, 1758), las instalaciones suelen ser cerradas y funcionan de manera similar a un invernadero, proporcionando condiciones de confort mediante el control de la temperatura, humedad y ventilación. En este contexto, la CFD representa una herramienta importante para el análisis del clima interno de estas instalaciones. A través de la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes, basadas en la conservación de masa, momento y energía, es posible determinar los gradientes de temperatura, presión y velocidad del aire dentro del sistema, factores esenciales para lograr un adecuado control climático y mejorar las condiciones de crianza (Aguilar, Cruz; Flores, Jorge; Ojeda, Waldo & Arzeta, 2017).

Estos modelos contribuyen al diseño de instalaciones y de dispositivos tecnológicos, así como a la adopción de soluciones rápidas evitando la realización de numerosos y costosos experimentos. Pueden predecir las propiedades del fluido y visualizar su comportamiento con gran detalle dentro de un dominio definido (Salcedo, Bayón & Arnau, 2017). A todo esto, la validación es una parte esencial del análisis de dinámica de fluidos computacional. (Guerra-Galdo & Sanz, 2016).

No se tiene reportes de su empleo en la crianza de cuyes; sin embargo, en una crianza de pollos de engorde se realizó una simulación CFD para comparar dos situaciones de un galpón de pollos de engorde (15 m x 120 m): una en la que no había animales y una segunda situación en la que todos los galpones se modelaron como una geometría específica. Como resultado, la inclusión de animales en el modelo resultó en una velocidad y temperatura promedio más bajas a nivel animal que al asumir un galpón vacío con un flujo de calor equivalente desde el suelo. (Guerra-Galdo *et al.*, 2016). Los cuyes son animales domésticos que se adaptan a diferentes climas y se desconocen las condiciones de confort para lograr óptimos rendimientos productivos. De acuerdo a las buenas prácticas en la producción de cuyes, éstos deberán contar con el espacio físico suficiente que le permita demostrar conductas normales, potencial productivo y reproductivo, además de evitar situaciones que puedan causar estrés a los animales en toda la cadena productiva. (AGROCALIDAD, 2014). Referente a las instalaciones se recomienda brindar suficiente espacio para satisfacer sus necesidades de confort y socialización, con un espacio suficiente para que estos animales puedan echarse, descansar y levantarse libremente, garantizando superficies de apoyo y descanso firmes y seguras que eviten la aparición de lesiones en sus extremidades (Agricultura & Rural, 2022). Las instalaciones deben diseñarse para que permitan controlar la temperatura, humedad y movimiento del aire. Los cuyes a pesar de considerarse una especie rústica, son susceptibles a enfermedades respiratorias, por tanto las instalaciones deben protegerlos del frío y calor excesivos, lluvia y corrientes de aire, tener buena iluminación y ventilación (Chauca de Saldivar, 1997); en consecuencia, el objetivo principal de cualquier instalación utilizada para la crianza de cuyes es el de proteger a los animales de los factores climáticos adversos (Aliaga R *et al.*, 2009). La mayor parte de la literatura registra que la temperatura óptima está en la gama de 18 a 24°C (Aliaga R *et al.*, 2009; Chauca de Saldivar, 1997). También se indica que el galpón debe tener una adecuada luminosidad y ventilación; brindar protección contra la humedad, corrientes de aire y calor excesivo, con una ventilación capaz de mantener la temperatura al nivel deseado, evitando el aire viciado, pero sin provocar corrientes fuertes (Sanchez, 2010)

En la crianza de cuyes, se construyen granjas utilizando materiales de la zona y de bajo coste, tales como adobe, triplay y cubiertas de calamina. Con el fin de optimizar el espacio y aumentar la densidad animal, se emplean diversos sistemas de confinamiento, destacando el uso de jaulas y pozas. Bajo este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el comportamiento térmico y la distribución de la velocidad del aire en un sistema de jaulas de 21 divisiones mediante Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), validando el modelo numérico a través de la comparación entre los datos simulados y las mediciones experimentales de temperatura. Esta aproximación permite determinar la eficiencia del diseño de la instalación para mantener las condiciones de confort ambiental necesarias para el desarrollo productivo de los cuyes.

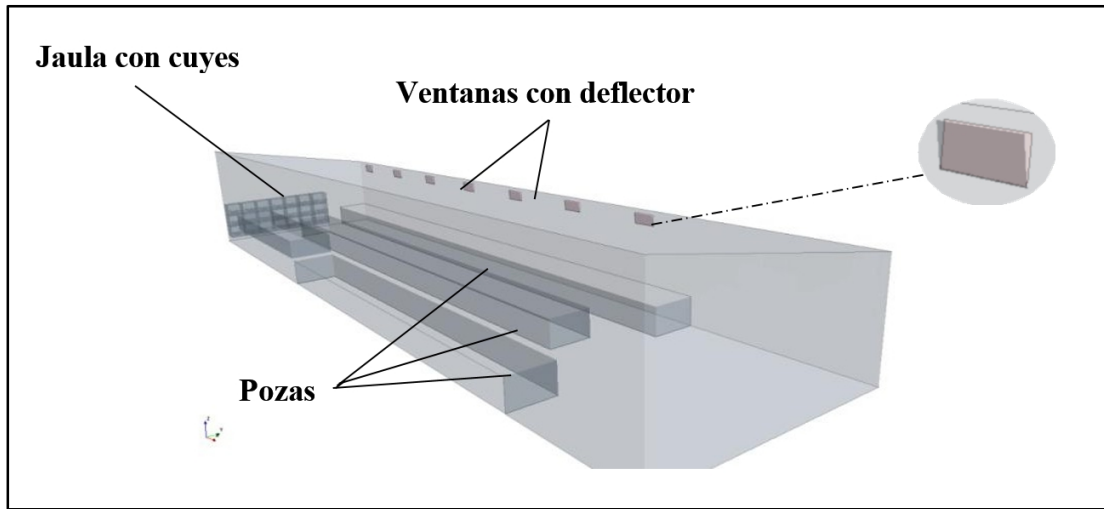
Materiales y método

Diseño de la granja

Las medidas de la granja de cuyes de Chimpahuaylla, ubicado en el distrito de San Jerónimo, provincia del Cusco fueron de 16.60 m de largo, 4.15 m de ancho, 2.5 m de altura mayor y 1.8 m de altura menor, siete ventanas de 44 cm de largo y 18 cm ancho con un ángulo de abertura del deflector de 10°. Las condiciones de contorno de la granja consistieron en aberturas de ventana de 10°. La estructura estuvo compuesta en su interior por una jaula de 2.8 m de largo, 0.90 m de alto y 0.40 m de ancho, distribuida en tres pisos y siete divisiones por nivel, haciendo un total de 21 compartimentos. En cada división se alojó un cuy con un peso aproximado de 1.20 kg. Asimismo, cada compartimento presentó dimensiones de 0.40 m de largo y 0.30 m de altura como se ve en la figura 1.

Figura 1

Galpón de Chimpahuaylla modificado con distribución de ventanas



Condiciones físicas de dinámica de fluidos computacional (CFD)

El análisis se realizó con una computadora portátil de memoria RAM 32 GB, y 3.10 GHz. La malla tridimensional de CFD fue generado por el programa StarCCM+ CD-Adapco que resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes promediadas por Reynolds (Launder & Spalding, 1974). Se utilizó una superficie de malla y volumen tetraedral (Tu *et al.*, 2008, Rocha *et al.*, 2014). Para determinar el fluido y la transferencia de energía se analizó con las ecuaciones diferenciales parciales de masa momento y ecuaciones de energía conservativa. A continuación se enumeran las ecuaciones del 1-3 de conservación de masa, momento y energía resueltas en simulaciones CFD:

$$(1) \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \vec{v} = S_m$$

$$(2) \quad \frac{\partial(\rho \vec{v})}{\partial t} + \rho(\vec{v} \nabla) \vec{v} = -\nabla p + \nabla \cdot \bar{\tau} + \rho \vec{g} + \vec{F}$$

$$(3) \quad \bar{\tau} = \mu \left[(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \vec{v} I \right]$$

Donde ρ es la densidad del fluido, kg m^{-3} ; \vec{v} es la velocidad; $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ y S_m es la Fuente de masa, kg m^{-3} ; t es el tiempo, s ; τ el tensor de tensión, Pa ; g es la gravedad; F es la fuerza de vector externo y I es la unidad de tensor N m^{-3} y T es la temperatura de la granja, $^{\circ}\text{C}$.

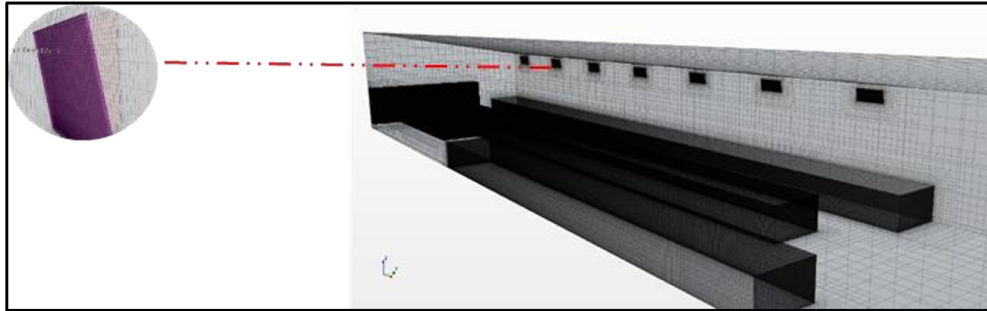
Las condiciones físicas fueron gas ideal, flujo segregado de temperatura, utilizando las ecuaciones Navier Stokes, 3D, k- ϵ turbulento, para modelizar el flujo de aire y temperatura. La temperatura ambiental externa máxima fue de 20°C y la mínima de 4°C , con velocidad de aire de 9 m/s (SENHAMI), la temperatura de cuyes fue de $26-29^{\circ}\text{C}$. Dentro de un bloque de 21 jaulas individuales (distribuidas en 7×3), se instaló un sensor HOBO 174 H siguiendo un criterio de selección aleatoria. El dispositivo se colocó a una altura de 10 cm respecto al animal, fijado a la estructura de la jaula seleccionada para un registro continuo de siete días.

Enmallado del galpón

Se utilizó en escala 1:1 m una superficie de malla de 0.1 y 0.2 m, para todo el galpón, para los deflectores, pozas, jaulas y cuyes; para las ventanas se utilizó una malla de 0.5 y 5.0 m y para el volumen de malla se utilizó tipo tetraedral.

Figura 2

Enmallado de los elementos del galpón de Chimpahuaylla



Comparación entre dato real y CFD simulado: estimación de error

En CFD se utiliza el RMSE (Raíz del Error Cuadrático Medio) para comparar los resultados numéricos de velocidad y temperatura simulados CFD y los valores numéricos medidos, para evaluar la precisión del análisis con CFD (Stavarakakis et al., 2012). Se utilizó la siguiente expresión para el error:

$$RMSE[\%] = \sqrt{\frac{\sum^n (X_{\text{medido}} - X_{\text{simulado}})^2}{n}} * 100\%$$

Donde: X_{medido} es la temperatura o velocidad de aire medida, X_{simulado} es la temperatura o velocidad de aire simulado en CFD, n son los valores observados.

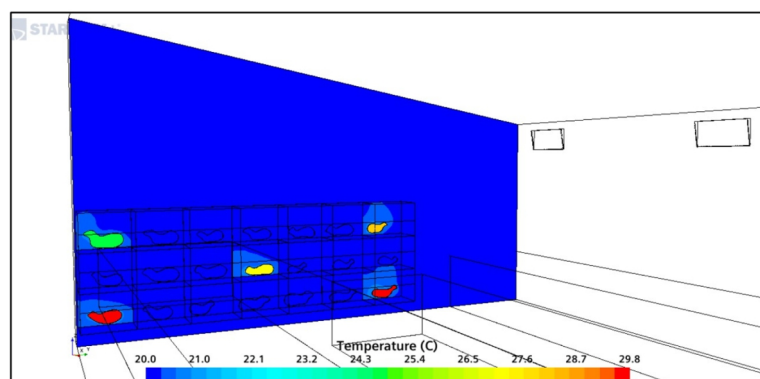
Resultados

Temperatura en la sección de la jaula

Los resultados de la simulación indican que el flujo de aire ingresado a través de los deflectores no genera variaciones significativas en la temperatura del microambiente inmediato de los animales, oscila entre 24-29°C, por varios motivos la jaula tiene un área pequeña sólo para la densidad de animales (1 cuy), el calor que emite el cuy por convección se mantiene a una altura de 10 y 20 cm, generando un ambiente de confort con una temperatura de 20.7 °C (Figura 3), encontrándose dentro del rango de los parámetros de confort a nivel de jaula (16-25°C).

Figura 3

Distribución de temperatura (°C) a nivel de jaula del galpón de Chimpahuaylla



En el área de velocidades en la sección vertical, al interior de la jaula el flujo de aire es superior a 0.5 m/s a 10 cm del animal y a nivel del animal existe un área de velocidades menor a 0.5 m/s con un área 4.12 m².

Tabla 1

Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE) de la temperatura medida y simulada con Dinámica de Fluidos Computacional (CFD)

Box	Temperatura Promedio por jaula (°C)	Temperatura simulada por CFD (°C)	RMSE
1	22.67	20.7	1.97
2	21.46	20.7	0.76
3	22.54	20.7	1.84
4	22.56	20.7	1.86
5	22.00	20.7	1.29

La temperatura registrada en el interior de la jaula, a 10 cm sobre el animal, en la división 1 ubicada en la parte superior izquierda, fue de 22.67 °C, valor ligeramente superior al registrado en el punto 2, situado en la parte superior derecha, donde se obtuvo una temperatura de 21.46 °C. Esta diferencia podría atribuirse a que el extremo de la jaula se encontraba a una distancia de 1.50 m de la ventana. Asimismo, en el punto 1 el RMSE entre la temperatura medida y la simulada mediante CFD fue de 1.97 °C, valor superior al obtenido en el punto 2, donde la diferencia entre la temperatura medida y simulada fue de 0.76 °C (Tabla 1).

Conclusiones

La simulación CFD reprodujo la temperatura medida con errores RMSE entre 0.76 y 1.97 °C, esta puede ser usada para caracterizar la distribución de temperatura y velocidad de aire dentro de la granja y jaulas. Valores que permiten mejorar el diseño de las ventanas, pozas, altura de las jaulas y la cubierta.

Los valores de RMSE se encuentran dentro de lo esperado, mientras que se necesitan más sensores para medir las diferentes divisiones dentro de la jaula.

Agradecimientos

El presente trabajo forma parte del Proyecto “Análisis del confort térmico y mejora de las instalaciones en sistema de crianza familiar - comercial en cuyes de la región Cusco”, Contrato N° 016-2018-UNSAAC, financiado con Fondos Canon de la UNSAAC, mediante el programa Yachayninchis Wiñarinanpaq.

Referencias

Agricultura, M. D. E., & Rural, Y. D. (2022). *Manual de condiciones de bienestar animal en la producción de conejos y/o cuyes*.

AGROCALIDAD. (2014). Ministerio de agricultura y riego. In *Agrocalidad*.

<https://www.gob.pe/minagri%0Ahttp://www.minagri.gob.pe/portal/datos>. Cited 25 Apr 2016

Aguilar Rodriguez, Cruz E; Flores Velazquez, Jorge; Ojeda Bustamante, Waldo; Jesús Arzeta, A. (2017). Innovación tecnológica basada en dinámica de fluidos computacional para el desarrollo de la agricultura protegida. *III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2017*. Aliaga R, L., Moncayo

- G, R., Rico N, E., & Caycedo V, A. (2009). *Producción de cuyes* (Primera Ed). Fondo Editorial UCSS.
- Barazal, C. A., Flores, I., & Sala, J. M. (2015). *Interés y posibilidades de la dinámica de fluidos computacional*.
- Chauca de Saldivar, L. (1997). PRODUCCION DE CUYES (*Cavia porcellus*). *FAO*, 142.
- Guerra-galdo, E., Sanz, S. C., & Husbandry, A. (2016). *Simulating the thermal comfort of broilers in three designs of buildings using CFD*. 1–5.
- Guerra Galdo, E., & Sanz, S. C. (2016). *Simulating the animals in CFD analysis of broiler buildings*. *Testo 870*, 1–5.
- Salcedo, Ramón; Bayón, Arnau; Chueca, P. (2017). Introducing computational fluid dynamics in the analysis of porous medium flows. *Modelling in Science Education and Learning*, 10(1), 261–276.
- Sanchez Robles, C. (2010). *Cuyes Y Cambios Microclimaticos*. (p. 14).
- Launder, B. E., Spalding, D. B. (1974). The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 3, 269-289
- Rocha, K. S. O., Martins, J. H., Martins, M. A., Tinôco F., Ilda de Fátima, Saraz Osorio, J. A., Lacerda Filho, A. F., Fernandes, M. L. H. (2014). Modeling and simulation of the transient response of temperature and relative humidity sensors with and without protective housing. *International Conference of Agricultural Engineering*. Zurich, July 6-10. In Press. Plos One.
- SENHAMI 2020. Datos Metereológicos del Centro de Estación de la Granja K'ayra.
- Stavrakakis, G. M., Zervas, P. L., Sarimveis, H. & Markatos, N. C. (2012). Optimization of window-openings design for thermal comfort in naturally ventilated buildings. *Appl. Math. Model.* 36, 193–211.
- Tu, J., Guan H., Y., Chaoqun, L., (2008). *Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach*, Butterworth-Heinemann.
-