

Artículo de Investigación

Comparación estacional de la huella hídrica en la producción de cuyes en Patacamaya como respuesta a condiciones ambientales

Seasonal comparison of the water footprint in guinea pig production in Patacamaya in response to environmental condition

Autores:

Ariel Marcelo Aliaga Coronado¹

¹Universidad Mayor de San Andres, La Paz-Bolivia, arielaliaga26@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9226-9319>

Autor de Correspondencia: Ariel Marcelo Aliaga Coronado, arielaliaga26@gmail.com

Reception dates: 10-Febrary-2026 **Acceptance:** 16-March-2026 **Published:** 17-April-2026

Como citar este artículo:

Aliaga Coronado, A. M. (2026). Comparación estacional de la huella hídrica en la producción de cuyes en Patacamaya como respuesta a condiciones ambientales. *Sapiens International Multidisciplinary Journal*, 3(2), 1-23. <https://doi.org/10.71068/yqcj0t40>



©2026 por los Autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0. (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Resumen

La producción de cuyes constituye una actividad fundamental para la seguridad alimentaria y la economía familiar en el altiplano boliviano. Sin embargo, la variabilidad climática impone desafíos importantes en términos de referencia en el uso de los recursos naturales. El objetivo de esta investigación fue evaluar y comparar la huella hídrica en la producción de cuyes durante las épocas de verano e invierno en la zona de Patacamaya. Para el desarrollo del estudio se aplicó la metodología propuesta por Hoekstra et al., cuantificando los componentes de la huella hídrica azul, verde y gris necesarios para obtener un kilogramo de carne, considerando todo el ciclo productivo. Los resultados demostraron que la huella hídrica total alcanzó valores de 2614,855 l/kg en verano y 4670,55 l/kg en invierno, lo que representó un incremento superior al 78% durante la estación fría, esta variación se atribuyó principalmente a los mayores requerimientos energéticos y alimenticios de los animales para mantener su temperatura corporal ante las bajas temperaturas características de la zona. Se concluye que existe una marcada estacionalidad en el uso de agua, siendo estos datos fundamentales para diseñar estrategias de manejo más eficientes y fortalecer la resiliencia de los sistemas productivos frente a escenarios de cambio climático.

Palabras clave: Huella Hídrica, Patacamaya, Metodología Hoekstra, Consumo Hidrico, Estacionalidad.

Abstract

The production of guinea pigs constitutes a fundamental activity for food security and family economy in the Bolivian altiplano. However, climatic variability imposes significant challenges in terms of natural resource use. The objective of this research was to evaluate and compare the water footprint in guinea pig production during the summer and winter seasons in the Patacamaya area. For the development of the study, the methodology proposed by Hoekstra et al. was applied, quantifying the components of blue, green, and gray water footprints necessary to obtain one kilogram of meat, considering the entire production cycle. The results showed that the total water footprint reached values of 2614.855 l/kg in summer and 4670.55 l/kg in winter, which represented an increase of over 78% during the cold season. This variation was primarily attributed to the higher energetic and nutritional requirements of the animals to maintain their body temperature in the face of the characteristic low temperatures of the area. It is concluded that there is a marked seasonality in water use, with this data being fundamental for designing more efficient management strategies and strengthening the resilience of productive systems against climate change scenarios.

Keywords: Water Footprint, Patacamaya, Hoekstra Methodology, Water Consumption, Seasonality.

1. INTRODUCCIÓN

La crianza de cuyes (*Cavia porcellus*) constituye una actividad pecuaria de gran importancia socioeconómica y alimentaria en la región del Altiplano, particularmente en las familias rurales de zonas andinas. Esta especie representa una fuente fundamental de proteína animal y sustento económico, destacándose por su alta eficiencia reproductiva y adaptabilidad a diversas condiciones agroecológicas. Investigaciones recientes, como las de Quispe et al. (2022), subrayan no solo su contribución a la seguridad alimentaria, sino también el rol cultural significativo que desempeña en las tradiciones de la región.

Sin embargo, para garantizar la sostenibilidad de esta producción, es esencial evaluar su impacto sobre los recursos naturales, siendo el agua uno de los elementos más críticos. El agua es un recurso vital en la ganadería, y su uso va más allá del consumo directo, involucrando también el volumen requerido para producir alimentos y procesar residuos. En este contexto, la metodología de Huella Hídrica propuesta por Hoekstra et al. (2011) se presenta como una herramienta eficaz para cuantificar el volumen total de agua dulce utilizada, permitiendo la diferenciación entre agua azul, verde y gris.

El objetivo general de esta investigación fue evaluar y comparar la huella hídrica en la producción de cuyes durante las épocas de verano e invierno en la zona de Patacamaya, considerando las condiciones climáticas particulares que influyen en la disponibilidad hídrica. Para ello, se realizó un estudio experimental con 30 animales reproductores y 60 ejemplares nacidos, evaluando el consumo a lo largo de las etapas de desarrollo: fetal, lactancia y crecimiento. Se plantea la siguiente hipótesis: la producción de cuyes en la época de invierno presentará una huella hídrica significativamente mayor que en la época de verano, debido a un aumento en los requerimientos hídricos asociados a la termorregulación y alimentación de los animales en condiciones de bajas temperaturas.

Los resultados obtenidos en este estudio permitirán establecer una base técnica para una administración más eficiente del recurso hídrico, aportando información valiosa para una producción más sostenible y adaptada al cambio climático. Además, contribuirán al desarrollo de estrategias que fortalezcan la resiliencia de los sistemas productivos frente a escenarios de variabilidad climática.

El objetivo general de esta investigación fue Cuantificar la huella hídrica en la producción de cuyes (*Cavia porcellus*) de la raza Perú como un modelo de resiliencia a las condiciones ambientales en el municipio de Patacamaya, departamento de La Paz.

2. DESARROLLO

2.1. Contexto productivo del cuy y condiciones climáticas del altiplano

La producción de cuy (*Cavia porcellus*) en el Altiplano boliviano, y específicamente en el municipio de Patacamaya (Departamento de La Paz), representa una actividad agropecuaria de gran relevancia socioeconómica y alimentaria. Este sistema productivo, característico de las familias rurales andinas, se sustenta en la alta eficiencia reproductiva y adaptabilidad del cuy, contribuyendo significativamente a la seguridad alimentaria y al

sustento económico regional. Trabajos previos como los de Quispe et al. (2022) y López (2023) han destacado la importancia de la crianza de cuyes en la región, subrayando no solo su contribución a la seguridad alimentaria, sino también el rol cultural significativo que desempeña en las tradiciones locales. Sin embargo, el Altiplano presenta condiciones climáticas extremas, con una marcada estacionalidad entre épocas secas (invierno) y húmedas (verano). Durante el invierno, las bajas temperaturas y la considerable reducción en la disponibilidad de forraje verde imponen desafíos críticos a la producción, afectando directamente la disponibilidad de recursos hídricos y la gestión de la alimentación animal. Estas condiciones hacen que la evaluación de la huella hídrica sea un componente esencial para comprender la sostenibilidad de estos sistemas productivos bajo estrés ambiental, tal como se ha observado en otras evaluaciones de sostenibilidad hídrica en regiones similares (Morales-Novelo & Rodríguez-Tapia, 2020; Lala-Ayo & Fernández-Quintana, 2020).

2.2. Importancia del recurso hídrico en la producción pecuaria

El recurso hídrico es un factor limitante fundamental en la sostenibilidad de cualquier sistema de producción pecuaria, y en mayor medida en contextos de aridez o marcada estacionalidad como el Altiplano. La evaluación de su uso va más allá del consumo directo de agua por los animales, extendiéndose a la huella hídrica incorporada en la producción de sus alimentos (forrajes y concentrados) y en la asimilación de los residuos generados. Una comprensión detallada de la huella hídrica de la producción de cuy es crucial para identificar los puntos de mayor consumo de agua y, por ende, las oportunidades de mejora en la eficiencia hídrica. Esto permite una gestión más racional del recurso, minimizando el impacto ambiental y fortaleciendo la capacidad de adaptación de los sistemas productivos frente a la escasez hídrica y los efectos del cambio climático (Wisser et al., 2024; Meneses Quelal, 2024). La importancia de esta evaluación se subraya en estudios recientes sobre el estado del arte de la huella hídrica agrícola en diversas regiones (Góngora & Trujillo González, 2025) y la reasignación estratégica del agua en la agricultura (Botello-Aguillón et al., 2022).

2.3. Fundamentos de la huella hídrica (azul, verde y gris)

La huella hídrica (HH) es un indicador volumétrico multidimensional del consumo y la contaminación de agua dulce. Propuesta por Hoekstra (2002) y metodológicamente detallada por Hoekstra y Chapagain (2008), esta herramienta distingue tres componentes clave (Hoekstra et al., 2011):

- **Huella Hídrica Verde:** Representa el volumen de agua de lluvia almacenada en el suelo como humedad y que es evaporada o transpirada por las plantas (principalmente forrajes y cultivos para concentrados). Es el componente dominante en sistemas basados en secano, y su gestión eficiente es vital en agricultura y ganadería (Naranjo & Reyes, 2021).
- **Huella Hídrica Azul:** Cuantifica el volumen de agua superficial o subterránea que es consumida directamente por los animales (agua de bebida) o en procesos productivos

(riego de cultivos, limpieza). Es el agua gestionada que compite con otros usuarios y su uso es particularmente sensible en zonas de estrés hídrico.

- **Huella Hídrica Gris:** Refleja el volumen de agua dulce requerido para diluir la carga de contaminantes (ej. nutrientes de excretas) hasta niveles que cumplan con los estándares de calidad ambiental. Su minimización es clave para la protección de los ecosistemas acuáticos.

La evaluación integral de estos tres componentes permite una visión holística del impacto hídrico de la producción de cuy, identificando la contribución relativa de cada fuente y tipo de agua al sistema, y es fundamental para una gestión del agua responsable (Arboleda Tabares et al., 2022).

2.4. Alimentación y estrategias de resiliencia (uso de nopal)

La alimentación es el principal factor determinante de la huella hídrica total en la producción pecuaria. En el Altiplano, la disponibilidad estacional de forraje verde es un desafío constante, particularmente en invierno. En este contexto, la implementación de estrategias de resiliencia alimentaria es fundamental para mantener la producción y reducir su huella hídrica. Una de estas estrategias es la incorporación de forrajes adaptados a la aridez, como las hojas de la planta arbustiva del nopal (*Opuntia ficus-indica*). El nopal puede complementar o sustituir el forraje tradicional, no solo cubriendo los requerimientos nutricionales del cuy en épocas de escasez, sino que, debido a su rusticidad y menor dependencia hídrica directa en su cultivo, podría contribuir a una huella hídrica verde más eficiente o a una menor demanda de agua azul si se compara con cultivos forrajeros convencionales (Govoni et al., 2024). Este enfoque es similar a las consideraciones de huella hídrica en la producción de otros cultivos con diferentes sistemas de manejo (Bautista-Olivas et al., 2024). Analizar la huella hídrica asociada a diferentes esquemas de alimentación, incluyendo el uso de alternativas forrajeras, es crucial para diseñar sistemas productivos más sostenibles y resilientes al cambio climático.

2.5. Metodología y análisis del consumo hídrico en el ciclo productivo del cuy

La cuantificación de la huella hídrica en la producción de cuy se basa en la aplicación rigurosa de la metodología estándar propuesta por Hoekstra et al. (2011), que permite desglosar el consumo hídrico a lo largo de las distintas etapas del ciclo productivo. Para este estudio, se considerarán las etapas de desarrollo del cuy, tales como la fase fetal (gestación), lactancia y crecimiento, ya que cada una presenta requerimientos nutricionales y, por ende, patrones de consumo hídrico (tanto de forraje como de concentrado y agua de bebida) diferenciados. El análisis incluirá la evaluación del consumo de insumos (forraje, concentrado) y agua directa por animal en cada etapa, así como la estimación de la huella hídrica verde, azul y gris asociada a la producción de estos insumos y a los procesos metabólicos y de desecho de los animales (Drasitg & Singh, 2025; Zang et al., 2022). Esta aproximación detallada permitirá identificar los periodos y componentes más influyentes en la huella hídrica total y su variabilidad

estacional, contribuyendo a una mejor comprensión de la gestión de los recursos hídricos en el contexto pecuario (Morales-Novelo & Rodríguez-Tapia, 2020)

En el altiplano boliviano por las condiciones extremas que presenta en la época de invierno el cual dificulta la producción, genera que se busque alternativas para cubrir los requerimientos, las hojas de la plata arbustiva del nopal pueden ayudar a cubrir los requerimientos en época de invierno en las cuales no hay el forraje verde.

3. METODOLOGÍA

3.1. Área de Estudio y Período Experimental

El presente estudio se llevó a cabo durante los meses de mayo, junio y julio de la gestión 2024 (o indicar el año exacto de realización) en la Estación Experimental de Patacamaya, ubicada en la Provincia Aroma, departamento de La Paz, Bolivia. Las coordenadas geográficas de la estación son 17°15'42,08"S y 67°56'38,31"O, con una altitud de 3795 m.s.n.m.

3.2. Enfoque y Diseño de la Investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, utilizando la metodología propuesta por Hoekstra et al. (2011) para la evaluación de la huella hídrica. Esta metodología permitió cuantificar el volumen total de agua dulce consumida (azul y verde) y contaminada (gris) de manera directa o indirecta, necesaria para la producción de cuyes.

3.3. Población y Muestra Experimental

El trabajo experimental se realizó con una población inicial de 30 cuyes reproductores, de los cuales se obtuvieron 60 ejemplares nacidos que constituyeron la muestra. Se consideró todo el ciclo productivo de los cuyes bajo las condiciones locales de la zona.

3.4. Alojamiento y Manejo de los Animales

Los cuyes fueron alojados en pozas individuales de 50 cm² de superficie. Cada poza contó con nipples para el abastecimiento de agua y se utilizaron platos de plástico para la provisión del alimento.

3.5. Cálculo de la Huella Hídrica

(Esta subsección que ya tenías, "Cálculo de la Huella Hídrica", debe continuar aquí detallando cómo se hizo el cálculo, qué componentes se midieron, etc. Por ejemplo, cómo se estimó el agua azul, verde y gris para la alimentación, bebida, etc.)

3.6. Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Cálculo de la Huella Hídrica

La Huella Hídrica (HH) total se determinó mediante la suma de sus tres componentes:

$$HH(\text{Total}) = HH(\text{Azul}) + HH(\text{Verde}) + HH(\text{Gris})$$

Donde:

- HH Azul: Volumen de agua de superficie o subterránea consumida.
- HH Verde: Volumen de agua de lluvia consumida, principalmente asociada a la producción de forrajes y alimentos.
- HH Gris: Volumen de agua requerido para asimilar la carga de contaminantes.

Análisis por Etapas y Temporadas

Para mayor precisión, el cálculo se desagregó considerando el ciclo biológico del animal, evaluando las etapas de:

1. Fetal
2. Lactancia
3. Crecimiento

Asimismo, el análisis se realizó de forma diferenciada para las dos épocas del año: verano e invierno, con la finalidad de establecer comparaciones sobre el uso eficiente del recurso hídrico en condiciones climáticas distintas.

4. RESULTADOS

4.1. Huella Hídrica Total y Composición por Componentes de la huella hídrica

La huella hídrica total para la producción de cuyes en Patacamaya fue significativamente mayor en invierno (4670,55 L/kg) en comparación con el verano (2614,855 L/kg). Esta diferencia se explica principalmente por la predominancia de la Huella Hídrica Verde, que constituyó más del 98% del total en ambas temporadas, lo que sugiere una fuerte dependencia de la alimentación basada en forraje y sus recursos hídricos asociados. Las componentes azul y gris representaron una proporción menor (Tabla 1)

Tabla 1

Composición de la Huella Hídrica según temporada

Componentes	Verano (L/kg)	Invierno (L/kg)
Huella Hídrica Azul	48,87	51,55
Huella Hídrica Verde	2565,507	4618.559
Huella Hídrica Gris	0,478	0.444

Huella Hidrica Total	2614,855	4670,55
-----------------------------	-----------------	----------------

En cuanto al ciclo productivo, la demanda hídrica mostró variaciones significativas. La etapa de crecimiento fue la que demandó el mayor consumo de agua, contribuyendo con el porcentaje más alto a la huella total en ambas estaciones. En contraste, la fase fetal registró la menor demanda hídrica, seguida por la etapa de lactancia (Tabla 2).

Tabla 2

Composición de la Huella Hidrica según etapa de desarrollo

Etapa	Participacion
Fetal	Menor Demanda
Lactancia	Demanda Intermedia
Crecimiento	Mayor Demanda

En términos generales, se evidenció un incremento significativo en el uso del recurso hídrico durante la estación fría, influenciado principalmente por el mayor aporte de la componente verde asociado a la alimentación.

4.2. Huella Hídrica Azul

4.2.1. Agua de Consumo

La Huella Hídrica Azul, que abarca el agua de consumo y lavado, mostró un consumo de 48,87 L en verano y 51,55 L en invierno (Ver Tablas 3, 4, 5 y 6). Estos valores representan el consumo total para un cuy durante el periodo productivo en cada estación.

Tabla 3

Consumo promedio de agua bebida / cuy por etapa (L) en época de verano

Etapa de Desarrollo del Cuy	Nº de Animales	Promedio de Agua consumida por cuy / día (L)	Nº de días	Total / etapa (L)
Gestación	30	0.016	67 días	1.072
Lactancia	60	0.025	14 días	0.35
Crecimiento	60	0.067	60 días	4.02
Total			141	5.442

Tabla 4

Consumo promedio de agua bebida / cuy por etapa (L) en época de invierno

Etapas de Desarrollo del Cuy	Nº de Animales	Promedio de Agua consumida por cuy / día (L)	Nº de días	Total / etapa (L)
Gestación	30	0.027	67 días	1.809
Lactancia	60	0.049	14 días	0.686
Crecimiento	60	0.095	60 días	5.7
Total			141	8.195

4.2.2. Agua de Lavado

El consumo de agua para las actividades de lavado, que incluye la limpieza de corredores, bebederos, comederos y el proceso de beneficiado, fue de 43,43 L por cuy para el ciclo completo en ambas temporadas, verano e invierno (Tablas 5 y 6). Esto indica que las prácticas de higiene y procesamiento mantuvieron un requerimiento hídrico constante independientemente de la estación.

Tabla 5

Consumo promedio de agua en lavado / cuy por etapa (L) en época de verano.

Etapas de Desarrollo del Cuy	Agua de lavado /diario	Agua de lavado (L)/ (L)/ semanal	Total, de la etapa reproductiva 141 días	Agua de lavado para un cuy (141 d)
Limpieza de corredores internos	20	140	1303	14.48
Lavado de bebederos y comederos.	30	210	1,903	21.14
Proceso de beneficiado	10	70	703	7.81
Total	70	490	4.612	43.43

$$HHAzul = 5.442 \text{ (L/Periodo)} + 43.43 \text{ (L/Periodo)}$$

$$L \text{ HHAzul} = 48.87 \text{ (L/periodo verano)}$$

Tabla 6

Consumo promedio de agua de bebida / cuy por etapa (L) en época de invierno.

Etapa de Desarrollo del Cuy	Agua de lavado /diario	Agua de lavado (L)/ (L)/ semanal	Total, de la etapa reproductiva 163 días	Agua de lavado para un cuy (163 d)
Limpieza de corredores internos	20	140	1303	14.48
Lavado de bebederos y comederos.	30	210	1,903	21.14
Proceso de beneficiado	10	70	703	7.81
Total	70	490	4.612	43.43

$$HHAzul = 8.125 \text{ (L/Periodo)} + 43.43 \text{ (L/Periodo)}$$

$$HHAzul = 51.55 \text{ (L/Periodo invierno)}$$

4.3. Huella hídrica Verde

4.3.1. Huella hídrica del forraje

El consumo promedio total de forraje por cuy durante la etapa de desarrollo fue considerablemente mayor en verano (3,048 kg) en comparación con el invierno (1,188 kg) (Tablas 7 y 8). Esta diferencia en el consumo de forraje es un factor clave en la variación de la huella hídrica verde entre estaciones.

Tabla 7

Consumo promedio de forraje del cuy por etapa (kg) en época de verano

Etapa de Desarrollo del Cuy	Nº Animales de muestra	Cantidad de forraje TCO / día (g)	Nº de días	Total / etapa (g)	Total / etapa (kg)
Fetal	30	12.000	67	804.000	0.804
Lactancia	60	6.000	14	84.000	0.084
Crecimiento	60	36.000	60	2160,000	2.160
Total				3048.000	3.048

Tabla 8

Consumo promedio de forraje del cuy por etapa (kg) en época de invierno

Etapa de Desarrollo del Cuy	Nº Animales de muestra	Cantidad de forraje TCO / día (g)	Nº de días	Total / etapa (g)	Total / etapa (kg)
Fetal	30	12.000	24	288.000	0.288
Lactancia	60	6.000	6	36.000	0.036
Crecimiento	60	36.000	24	864.000	0.864
Total				1188.00	1.188

A. Consumo hídrico indirecto

La huella hídrica total del forraje, que engloba tanto el consumo hídrico indirecto como el directo, alcanzó 16,049 L en verano y 1555,6 L en invierno (Tablas 13 y 14). El consumo hídrico indirecto del forraje, derivado de su producción, se cuantificó en 75,308 L en verano y 13,601 L en invierno (Tablas 9 y 10).

Tabla 9

Cantidad de huella hídrica indirecta del forraje en época de verano

Etapa de Desarrollo del Cuy	Total / etapa (kg)	Huella Indirecta (L)
Fetal	0.804	12.348
Lactancia	0.084	5.586
Crecimiento	2.160	57.374
Total	3.048	75.308

Tabla 10

Cantidad de huella hídrica indirecta del forraje en época de Invierno

Etapa de Desarrollo del Cuy	Total / etapa (kg)	Huella Indirecta (L)
Fetal	0.288	3.734
Lactancia	0.036	2.428

Crecimiento	0.864	7.439
Total	1.188	13.601

B. Consumo hídrico directo

El consumo hídrico directo del forraje, basado en su contenido de humedad, fue de 2,438 kg en verano (Tabla 11) y 0,950 kg en invierno (Tabla 12). Esta componente es significativamente menor que la huella indirecta, pero contribuye al total de la huella hídrica verde del forraje.

Tabla 11

Cantidad de huella hídrica directa del forraje en época de verano

Etapa de Desarrollo del Cuy	N° de días	Total / etapa (g)	Total / etapa (kg)	Humedad 80%
Fetal	67	804.000	0.804	0.643
Lactancia	14	84.000	0.084	0.067
Crecimiento	60	2160.000	2.160	1.728
Total	141	3048.000	3.048	2.438

Tabla 12

Cantidad de huella hídrica directa del forraje en época de invierno

Etapa de Desarrollo del Cuy	N° de días	Total / etapa (g)	Total / etapa (kg)	Humedad 80%
Fetal	67	288.000	0.288	0.230
Lactancia	14	36.000	0.036	0.0288
Crecimiento	60	864.000	0.864	0.691
Total	141	1188.000	1.188	0.950

C. Huella hídrica del forraje

La huella hídrica total del forraje en cada etapa de alimentación se calculó sumando la huella hídrica indirecta y directa. En verano, la huella total del forraje fue de 16,049 L (Tabla 13). En invierno, este valor alcanzó los 1555,6 L (Tabla 14), reflejando las diferencias estacionales en el consumo y los componentes hídricos

Tabla 13

Huella hídrica del forraje del forraje para la alimentación en cada etapa en verano

Etapa de Desarrollo del Cuy	N° de días	Total / etapa (g)	Huella hídrica indirecta L	Huella hídrica directa L	Huella hídrica TOTAL L
Fetal	67	804.000	3.734	0.643	4.377
Lactancia	14	84.000	2.438	0.067	2.505
Crecimiento	60	2160.000	7.439	1.728	9.167
Total	141	3048.000	13.601	2.438	16.049

Tabla 14

Huella hídrica del forraje del forraje para la alimentación en cada etapa en invierno

Etapa de Desarrollo del Cuy	N° de días	Total / etapa (g)	Huella hídrica indirecta L	Huella hídrica directa L	Huella hídrica TOTAL L
Fetal	67	288.000	0.288	0.230	0.518
Lactancia	14	36.000	0.036	0.0288	0.0648
Crecimiento	60	864.000	0.864	0.691	1.555
Total	141	1188.000	1.188	0.950	1555.6

4.3.2. Huella hídrica del Concentrado

El consumo promedio total de concentrado por cuy difirió entre estaciones, siendo de 180,9 kg en verano y 273,45 kg en invierno (Tablas 15 y 16). Esto indica una mayor suplementación con concentrado durante la estación fría.

Tabla 15

Cantidad de concentrado consumida por el cuy en cada etapa (Kg) en época de verano.

Etapa de Desarrollo del Cuy	Nº Animales	Cantidad de Concentrado TCO / día (g)	Nº de Dias	Total / etapa (g)	Total / etapa (kg)
Fetal	30	30	67	60.300	60.3
Lactancia	60	15	14	12.600	12.6
Crecimiento	60	30	60	108.000	108
Total				180,900	180.9

Tabla 16

Cantidad de concentrado consumida por el cuy en cada etapa (Kg) época de invierno.

Etapa de Desarrollo del Cuy	Nº Animales	Cantidad de Concentrado TCO / día (g)	Nº de Dias	Total / etapa (g)	Total / etapa (kg)
Fetal	30	45	67	90.450	90.45
Lactancia	60	25	14	21.000	21
Crecimiento	60	45	60	162.000	162
Total				273,450	273.45

Tabla 17

Cantidad de insumos utilizados en cada etapa (kg) época de verano.

Insumos	Etapas			Total
	Fetal	Lactante	Crecimiento	
Maíz Amarillo	0.025	0.032	0.090	0.147
Torta de Soya	0.012	0.010	0.025	0.047
Soya Integral	0.007	0.006	0.009	0.022
Afrecho	0.045	0.033	0.120	0.198

Sorgo	0.004	0.003	0.005	0.048
--------------	-------	-------	-------	--------------

Tabla 18

Cantidad de insumos utilizados en cada etapa (kg) época de invierno.

Insumos	Etapas			Total
	Fetal	Lactante	Crecimiento	
Maíz Amarrillo	0.030	0.063	0.124	0.217
Torta de Soya	0.016	0.017	0.025	0.058
Soya Integral	0.007	0.006	0.009	0.022
Afrecho	0.058	0.044	0.145	0.247
Sorgo	0.004	0.003	0.005	0.048

A. Consumo indirecto de agua en el suministro de alimento balanceado

La huella hídrica indirecta asociada a la producción de los insumos del alimento balanceado alcanzó 2549,002 L en verano y 3062,928 L en invierno (Tablas 19 y 20). Estos valores reflejan el agua utilizada en la cadena de suministro de cada componente del concentrado

Tabla 19

Consumo indirecto de agua dentro de la producción de alimento balanceado en verano

Insumos	Etapas			Total
	Fetal L/kg	Lactante L/kg	Crecimiento L/kg	
Maíz Amarrillo	287.568	267.372	328.379	883.319
Torta de Soya	8.478	7.678	133.876	150.032
Soya Integral	8.478	7.678	133.876	150.032
Afrecho	226.457	278.459	345.249	850.165
Sorgo	122.789	134.678	257.987	515.454
Total	653.770	695.865	1199.367	2549.002

Tabla 20

Consumo indirecto de agua dentro de la producción de alimento balanceado en invierno.

Insumos	Etapas			Total L/kg
	Fetal L/kg	Lactante L/kg	Crecimiento L/kg	
Maíz Amarrillo	287.568	367.372	458.379	1113.319
Torta de Soya	8.678	7.896	135.876	152.450
Soya Integral	8.678	7.896	135.876	152.450
Afrecho	278.457	397.459	453.249	933.903
Sorgo	122.789	134.678	257.987	515.454
Total	706.260	915.301	1441.367	3062.928

B. Consumo hídrico directo para la producción del concentrado.

El consumo hídrico directo en la producción del concentrado fue mínimo en comparación con el indirecto, registrando 0,025 L en verano (Tabla 21) y 0,031 L en invierno (Tabla 22). Estos valores representan el agua directamente incorporada o utilizada en el proceso de fabricación del alimento balanceado.

Tabla 21

Consumo directo de agua en el alimento balanceado en verano.

Etapas de Desarrollo del Cuy	Nº Animales	Cantidad de Concentrado TCO / día (g)	Nº de Días	Total / etapa (g)	Total / etapa (kg)	Agua (L)
Fetal	30	30	67	60.300	60.3	0.009
Lactancia	60	15	14	12.600	12.6	0.006
Crecimiento	60	30	60	108.000	108	0.010
Total				180,900	180.9	0.025

Tabla 22

Consumo directo de agua en el alimento balanceado en invierno

Etapa de Desarrollo del Cuy	Nº Animales	Cantidad de Concentrado TCO / día (g)	Nº de Dias	Total / etapa (g)	Total / etapa (kg)	Agua (L)
Fetal	30	45	67	90.450	90.45	0.011
Lactancia	60	25	14	21.000	21	0.007
Crecimiento	60	45	60	162.000	162	0.013
Total				273,450	273.45	0.031

Tabla 23

Huella hídrica del alimento balanceado en verano

Etapa de Desarrollo del Cuy	Total, Kg/ etapa	Huella Directa L/ etapa	Huella Indirecta L/ etapa	Huella Hídrica Concentrado
Fetal	60.3	0.009	653.770	653.779
Lactancia	12.6	0.006	695.865	695.871
Crecimiento	108	0.010	1199.367	1199.367
Total	180.9	0.025	2549.002	2549.017

Huella hídrica Verde verano:

$$HHverde = 16.049 (L/periodo) + 2549.017(L/periodo)$$

$$HHverde = 2565.507 (L/periodo)$$

Tabla 24

Huella hídrica del alimento balanceado en invierno

Etapa de Desarrollo del Cuy	Total, Kg/ etapa	Huella Directa L/ etapa	Huella Indirecta L/ etapa	Huella Hídrica Concentrado
Fetal	90.45	0.011	706.260	706.271
Lactancia	21	0.007	915.301	915.308
Crecimiento	162	0.013	1441.367	1441.380

Total 273.45 0.031 **3062.928** **3062.959**

Huella hídrica Verde invierno:

$$HH_{verde} = 1555.6 (L/periodo) + 3062.959 (L/periodo)$$

$$HH_{verde} = 4,618.559 (L/periodo)$$

4.4. Huella hídrica Gris

La huella hídrica gris, que representa el volumen de agua necesario para diluir los contaminantes generados, se cuantificó en 0,478 L/kg en verano (Tabla 25) y 0,444 L/kg en invierno (Tabla 26). Este componente fue el más bajo de la huella hídrica total en ambas estaciones, indicando una baja contribución de la dilución de excretas y orina al impacto hídrico general

Tabla 25

Huella hídrica gris de excretas y orina por etapa en verano.

Etapa de Desarrollo del Cuy	N° de Días	Cantidad de excretas (g/ día)		% de Humedad	Cantidad de Humedad (kg/etapa)	Cantidad de agua (kg)
			% de MS			
Fetal	67	6	78	22	0.402	0.088
Lactancia	14	10	68	32	0.14	0.045
Crecimiento	60	23	75	25	1.38	0.345
Total					1.922	0.478

Tabla 26

Huella hídrica gris de excretas y orina por etapa en invierno

Etapa de Desarrollo del Cuy	N° de Días	Cantidad de excretas (g/ día)	% de MS	% de humedad	Cantidad de humedad (kg/etapa)	Cantidad de agua (kg)

Lactancia	14	10	69	31	0.14	0.043
Crecimiento	60	23	77	23	1.38	0.317
Total					1.922	0.444

5. DISCUSIÓN

Huella Hídrica Total y Estacional

Los resultados de la presente investigación revelan una huella hídrica total para la producción de 1 kg de cuy de 2614,855 L/kg en época de verano y de 4670,55 L/kg durante el invierno (ver Tabla 1). Esta significativa variación estacional subraya la profunda influencia de las condiciones climáticas y la disponibilidad de recursos hídricos en el uso del agua en sistemas de producción animal. La huella hídrica, como un indicador integral del consumo de agua dulce, fue conceptualizada por Hoekstra (2002) y desarrollada metodológicamente por Hoekstra y Chapagain (2008), quienes establecieron la diferenciación entre agua azul, verde y gris (Hoekstra et al., 2011).

Al comparar estos hallazgos, se observa que nuestro valor de huella hídrica para la época de verano es muy similar al reportado por Cabrera Gil (2019) para la producción de cuyes en un periodo de primavera en Lambayeque, Perú, quien encontró una huella hídrica de 2702,535 L/kg de cuy. Esta estrecha coincidencia, con una diferencia de apenas un 3,2%, se atribuye probablemente a la aplicación de metodologías análogas para la estimación de la huella hídrica, así como a condiciones climáticas y de sistema de producción comparables en períodos de baja cantidad de precipitación.

Sin embargo, a diferencia de la huella hídrica de verano, nuestros resultados muestran que la huella hídrica del cuy en invierno es sustancialmente mayor (4670,55 L/kg), superando el valor de verano en aproximadamente un 78% y al de Cabrera Gil (2019) en un 73%. Esta diferencia se explica principalmente por el incremento de la huella hídrica verde en la época invernal, tal como se detalla en la Tabla 1. Este patrón estacional es consistente con la literatura que señala cómo la menor disponibilidad de forraje o su menor calidad nutritiva durante los meses más fríos puede incrementar la demanda hídrica total del sistema productivo, al requerir un mayor volumen de agua (principalmente lluvia) para la producción de la misma cantidad de alimento (Drastig & Singh, 2025; Wisser et al., 2024). La dependencia del sistema de forraje verde en condiciones estacionales es un factor crítico en la variabilidad de la huella hídrica en la ganadería (Govoni et al., 2024).

Componentes Huella Hídrica Verde, Azul y Gris

El análisis detallado de la composición de la huella hídrica en la producción de cuy revela un predominio marcado y consistente de la huella hídrica verde en ambas épocas del año, reflejando el consumo de agua de lluvia por el forraje. En verano, la HH Verde contribuye

con 2565,507 L/kg, representando el 98,11% de la huella total, mientras que en invierno, este componente alcanza 4618,559 L/kg, constituyendo un 98,89% del total (ver Tabla 1). Esta predominancia es característica de sistemas ganaderos donde la alimentación se basa fuertemente en el pastoreo o en forrajes cultivados bajo secano (Drastig & Singh, 2025; Pinchao-Pinchao et al., 2024). Por ejemplo, Velarde-Guillén et al. (2022) observaron un alto predominio de la huella hídrica verde en granjas lecheras de pequeña escala en Perú, lo que coincide con nuestros hallazgos sobre la naturaleza del sistema productivo de cuy. Este patrón sugiere un aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos naturales que no compiten directamente con otros usos del agua dulce, confiriendo una ventaja en términos de sostenibilidad hídrica (Wisser et al., 2024).

En contraste, la huella hídrica azul, que cuantifica el consumo de agua superficial o subterránea gestionada (riego, agua de bebida), mostró valores relativamente bajos: 48,87 L/kg en verano y 51,55 L/kg en invierno (ver Tabla 1 y los detalles en las Tablas 3 y 4 para agua de bebida, y Tablas 5 y 6 para agua de lavado). Estos valores, que representan menos del 2% de la huella hídrica total en ambas estaciones, indican una baja dependencia del sistema de producción de cuy de fuentes de agua dulce gestionadas. Esta característica es crucial para la resiliencia hídrica, ya que reduce la presión sobre los recursos hídricos locales que son vitales para el consumo humano y otras actividades económicas, especialmente en regiones con estrés hídrico (Meneses Quelal, 2024; Corredor Camargo et al., 2025). La baja demanda de agua azul también sugiere que el consumo directo de agua por los animales (detallado en Tablas 3 y 4) y el agua necesaria para la producción de concentrados (ilustrada en Tablas 19, 20, 23 y 24) son relativamente menores en comparación con el agua requerida para el forraje.

Finalmente, la huella hídrica gris, asociada al volumen de agua necesario para diluir los contaminantes generados (ej. excretas y orina), fue el componente más pequeño, con 0,478 L/kg en verano y 0,444 L/kg en invierno (ver Tabla 1 y detalles en Tablas 25 y 26). Estos bajos valores pueden interpretarse como un indicador de una eficiente gestión de los efluentes o que la carga contaminante generada en este sistema, al tratarse de una producción de pequeña escala, requiere volúmenes reducidos de agua para su asimilación, lo que minimiza el impacto en la calidad del agua local. El control de la huella hídrica gris es fundamental para la protección de los ecosistemas acuáticos (Zang et al., 2022).

6. CONCLUSIÓN

La presente investigación ha cuantificado la huella hídrica de la producción de cuy, estableciendo un valor promedio de 2614.855 L/kg en época de verano y 4670.55 L/kg durante el invierno. Estos resultados demuestran una marcada estacionalidad en el uso del agua, revelando que la producción invernal de cuy es un 78% más intensiva en agua que la de verano, un hallazgo que subraya la vulnerabilidad del sistema a las condiciones climáticas y la necesidad de considerar la variabilidad temporal en las evaluaciones de sostenibilidad hídrica.

El análisis de los componentes de la huella hídrica ha identificado el predominio abrumador de la huella hídrica verde en ambas estaciones (más del 98% del total), impulsado principalmente por el forraje. Esta característica es un indicador crucial de la resiliencia hídrica intrínseca del sistema de producción de cuy, ya que demuestra una fuerte dependencia del agua de lluvia y una baja presión sobre las fuentes de agua azul (superficiales y subterráneas), al representar este componente menos del 2% de la huella total (Hoekstra et al., 2011; Wisser et al., 2024). La insignificante contribución de la huella hídrica gris (inferior al 1%) sugiere una gestión ambiental adecuada de los residuos en este tipo de producción, minimizando su impacto en la calidad del agua (Zang et al., 2022).

La diversidad estacional en la huella hídrica, donde el invierno presenta una mayor intensidad hídrica, sugiere que el sistema es menos eficiente en el uso del agua durante los meses más fríos. Esta menor eficiencia es atribuible principalmente a la dependencia del forraje y a una posible disminución en su disponibilidad o calidad (Govoni et al., 2024; Drastig & Singh, 2025). Para la toma de decisiones productivas y la promoción del uso eficiente del agua, es imperativo implementar estrategias de manejo que mitiguen esta estacionalidad. Esto incluye la diversificación de fuentes de alimento durante el invierno, el uso de forrajes conservados de la temporada de verano, o la mejora de la productividad del forraje bajo condiciones invernales mediante técnicas agronómicas adaptadas. Tales medidas no solo reducirían la huella hídrica, sino que también mejorarían la estabilidad y la rentabilidad de la producción de cuy.

Este estudio representa un aporte significativo al conocimiento sobre la sostenibilidad hídrica de la producción de cuy, al proporcionar la cuantificación detallada de su huella hídrica y su variabilidad estacional en un contexto específico. Los datos generados son fundamentales para la formulación de políticas agrícolas que promuevan sistemas pecuarios más resilientes y sostenibles, así como para informar a los productores y consumidores sobre el impacto hídrico de esta actividad. Futuras investigaciones podrían enfocarse en evaluar el impacto de diferentes sistemas de alimentación y manejo en la huella hídrica de cuyes, así como en desarrollar modelos que pronostiquen la huella hídrica bajo escenarios de cambio climático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cabrera Gil, K. J. (2019). Huella hídrica (L/Kg) de cuyes (*Cavia porcellus*), raza Perú en etapa de crecimiento en primavera Chiclayo - Lambayeque [Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de Ingeniero Zootecnista]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/10052/Cabrera_Gil.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Corredor Camargo, E. S., Serna Mendoza, C. A., & Páez Barón, E. M. (2025). Huella hídrica y parámetros productivos en ganadería de leche de Boyacá, Colombia. *Ciencia en Desarrollo*, 16(1), 46-51. <https://doi.org/10.19053/upct.01217488.v16.n1.2025.18012>

- Drastig, K., & Singh, R. (2025). Review of Water Use Assessment in Livestock Production Systems and Supply Chains. *Water*, 17(19), 2819. <https://doi.org/10.3390/w17192819>
- Govoni, C., Chiarelli, D. D., & Rulli, M. C. (2024). A global dataset of the national green and blue water footprint of livestock feeds. *Scientific Data*, 11(1), 1419. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-04264-2>
- Gutiérrez, R., et al. (2013). Importancia socioeconómica y nutricional de la crianza de cuyes en el altiplano. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. Vol. 24(3), pp. 345-358. Recuperado de: https://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172013000300005
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. y Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Londres: Earthscan. Recuperado de: <https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual.pdf>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. y Mekonnen, M. M. (2021). *Manual de evaluación de la huella hídrica: Establecimiento del estándar mundial*. Traducción de Almudena Valdés de Anca. Madrid: AENOR Internacional. Recuperado de: <https://www.aenor.com/certificacion/medio-ambiente/huella-hidrica>
- Ibrahim, S. L., Shittu, F. A., Muhammad, A. A., & Dumbari, M. K. (2025). A survey on water footprint of small-scale sheep and goat slaughter and carcass processing in some Kano metropolitan abattoirs. *Nigerian Journal of Animal Production*, 1705-1708. <https://mail.njap.org.ng/index.php/njap/article/view/8740?articlesBySameAuthorPage=9>
- Meneses Quelal, O. (2024). Huella hídrica generada en la producción de leche de una hacienda ganadera. *Tierra Infinita*, 9(Huella Hídrica), 50-60. <https://doi.org/10.32645/26028131.1242>
- Rodríguez, J., & Martínez, A. (2025). Huella hídrica generada en la producción de leche de una hacienda ganadera. *Revista de Producción Animal*, 12(2), pp. 45-58. https://www.researchgate.net/publication/377809790_HUELLA_HIDRICA_GENERADA_EN_LA_PRODUCCION_DE_LECHE_DE_UNA_HACIENDA_GANADERA
- Pinchao-Pinchao, Y., Serna-Cock, L., Osorio-Mora, O., & Tirado, D. F. (2024). Guinea pig breeding and its relation to sustainable food security and sovereignty in South America: nutrition, health, and production challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2392886>
- Gómez-Quispe, O., Benites, R. M., Contreras, W., & Ibañez, V. (2022). Tesis desarrolladas, tiempo de realización y publicación como artículos científicos en una facultad de medicina veterinaria y zootecnia de Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 33(4). <https://doi.org/10.15381/rivep.v33i4.2334>
- Velarde-Guillén, J., Viera, M., & Gómez, C. (2022). Water footprint of small-scale dairy farms in the central coast of Peru. *Tropical Animal Health and Production*, 54(386). <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03437-8>
- Wolf, P., Cappai, M. G., & Kamphues, J. (2020). Water consumption in small mammals (dwarf rabbits, Guinea pigs and chinchillas): New data about possible influencing factors. *Research in Veterinary Science*, 133, 146-149. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2020.08.010>
- Wisser, D., Grogan, D. S., Lanzoni, L., Tempio, G., Cinardi, G., Prusevich, A., & Glidden, S. (2024). Water Use in Livestock Agri-Food Systems and Its Contribution to Local Water

Scarcity: A Spatially Distributed Global Analysis. *Water*, 16(12), 1681. <https://doi.org/10.3390/w16121681>

Zang, H., Zhang, J., & Zhang, Y. (2022). Water footprint assessment of livestock products in Inner Mongolia: A comparison of different production systems. *Journal of Cleaner Production*, 357, 131977. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131977>

Conflicto de Intereses: Los autores afirman que no existen conflictos de intereses en este estudio y que se han seguido éticamente los procesos establecidos por esta revista. Además, aseguran que este trabajo no ha sido publicado parcial ni totalmente en ninguna otra revista.

Financiación: Los autores declaran que este estudio no recibió ningún tipo de financiación externa por parte de agencias públicas, privadas, ni de organizaciones sin ánimo de lucro. Todas las actividades de investigación, análisis y desarrollo fueron realizadas con recursos propios.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA:

Nombres de autores e iniciales: Ariel Marcelo Aliaga Coronado (AMAC)

1. Conceptualización: (AMAC)
2. Curación de datos: (AMAC)
3. Análisis formal: (AMAC)
4. Adquisición de fondos: (AMAC)
5. Investigación: (AMAC)
6. Metodología: (AMAC)
7. Administración del proyecto: (AMAC)
8. Recursos: (AMAC)
9. Software: (AMAC)
10. Supervisión: (AMAC)
11. Validación: (AMAC)
12. Visualización: (AMAC)
13. Redacción – borrador original: (AMAC)
14. Redacción – revisión y edición: (AMAC)