

## Huella hídrica de la producción lechera en la cuenca ganadera Pomacochas, Perú

Juan Yalta, Ney Ríos<sup>1</sup>, Leandro Valqui<sup>2</sup>, Leidy G Bobadilla<sup>2</sup>, Carmen N Vigo<sup>2</sup> y Héctor V Vásquez<sup>2,3</sup>

Facultad de Ingeniería Zootecnista, Agronegocios y Biotecnología, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM). Código Postal 01001, Chachapoyas, Perú  
[hvasquez@untrm.edu.pe](mailto:hvasquez@untrm.edu.pe)

Estación Experimental Agraria Amazonas. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), ex aeropuerto, Fundo San Juan, Chachapoyas. Código Postal 01000, Chachapoyas, Perú

<sup>1</sup> Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Código Postal 30508, Turrialba, Costa Rica

<sup>2</sup> Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario (DDTA), Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Código Postal 15026, Lima, Perú

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería Zootecnista, Agronegocios y Biotecnología, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM). Código Postal 01001, Chachapoyas, Perú

### Resumen

La producción de leche exige grandes cantidades de agua y tierra, la creciente escasez de agua amenaza la sostenibilidad de la producción ganadera. El objetivo del estudio fue calcular la huella hídrica para la producción de un litro de leche en sistemas de producción ganadera ubicados en el distrito de Florida, Amazonas. Para ello, se seleccionaron 30 fincas lecheras con base en el área de finca, sistema de pastoreo, número de vacas en producción y producción de leche, obteniendo tres estratos de 10 fincas cada uno. En cada estrato se determinó el consumo directo de agua como huella hídrica de bebida, el consumo indirecto de agua como huella hídrica de alimentación, el uso de agua expresado como huella hídrica de servicios a partir de la descripción y cuantificación de las diferentes actividades que utilizan agua en la fase de producción de leche y la huella hídrica para producir un litro de leche. Para el procesamiento de datos se utilizó el software R v. 4.0.4. Los resultados muestran que la huella hídrica para la producción de un litro de leche es de 1823,38 litros de agua en el estrato I (extensivo), 736,80 litros en el estrato II (estaca) y 937,61 litros en el estrato III (cerco eléctrico o controlado). El estudio contribuyó con la producción de datos que todavía son insuficientes acerca del uso y consumo del agua en el sistema de producción de la leche, además pone de manifiesto la necesidad de instaurar alternativas para el aprovechamiento y reutilización del recurso hídrico.

**Palabras claves:** consumo de agua, estrato, hato, leche, sostenibilidad

## Water footprint of dairy production in the Pomacochas livestock basin, Peru

### Abstract

Milk production requires large amounts of water and land, increasing water scarcity threatens the sustainability of livestock production. The objective of the study was to calculate the water footprint for the production of a liter of milk in livestock production systems located in the district of Florida, Amazonas. For this, 30 dairy farms were selected based on the farm area, grazing system, number of cows in production and milk production, obtaining three strata of 10 farms each. In each stratum, the direct consumption of water was determined as the water footprint of drinking, the indirect consumption of water as the water footprint of food, the use of water expressed as the water footprint of services from the description and quantification of the different activities that they use. water in the milk production phase and the water footprint to produce a liter of milk. For data processing, the software R v. 4.0.4. The results show that the water footprint for the production of a liter of milk is 1823.38 liters of water in stratum I (extensive), 736.80 liters in stratum II (stake) and 937.61 liters in stratum III (electric or controlled fence). The study contributed to the production of data that are still insufficient about the use and consumption of water in the milk production system, it also highlights the need to establish alternatives for the use and reuse of water resources.

**Keywords:** herd, milk, sustainability stratum, water consumption

### Introducción

La producción sostenible de alimentos provenientes de origen animal se ha convertido en un tema de interés público debido al incremento de la población mundial, el aumento de los ingresos y la urbanización (Wirsenius et al 2010) y el reto de producir alimentos de origen animal haciendo un uso eficiente de los recursos (Johnston et al 2014). El consumo de agua dulce en la ganadería es un factor importante que afecta la disponibilidad y la calidad de los recursos hídricos ya que es un consumidor intensivo de recursos de agua dulce para el cultivo de pastos o forrajes, bebederos, limpieza y procesamiento de productos animales (Lu et al 2018). Garantizar el agua en la producción agropecuaria es clave para la sostenibilidad de los sistemas de medios de vida. La presión sobre los recursos de agua dulce tiene su origen en el impacto del cambio climático (Mekonnen y Hoekstra 2016).

El interés en medir el uso de agua de los productos pecuarios ha crecido en los últimos años como respuesta a la escasez de agua y la preocupación por los impactos ambientales de la producción ganadera (Legesse et al 2017). Por lo tanto, cuantificar la huella hídrica de los productos pecuarios e identificar los puntos críticos de consumo de agua a lo largo de la cadena alimentaria, son el primer paso para reducir las presiones sobre los sistemas de agua dulce, producto de la producción ganadera y, a su vez, proporcionar información al usuario final (Murphy et al 2017).

La Huella Hídrica de un producto comprende el volumen total de agua dulce que se necesita para producir un producto o un determinado bien, medido en las diferentes etapas de la cadena productiva (Owusu-Sekyere et al 2017). La huella hídrica animal está determinada por tres componentes: huella hídrica de bebida, huella hídrica de alimentación y huella hídrica de servicios y a partir de este valor se calcula la huella hídrica de la producción de leche (Chapagain y Hoekstra 2003).

Una combinación consistente de mediciones de productividad del agua y de la huella de escasez de agua proporciona un panorama completo, para mejorar la productividad del consumo de agua y minimizar los impactos ambientales potenciales relacionados a este recurso (Anne-Marie et al 2021).

La Autoridad Nacional del Agua (2015) hace referencia que, en el Perú, como en la mayoría de los países del mundo, el sector agropecuario es el sector dominante en el uso del agua, generando el 90% de la huella hídrica de la producción nacional que totaliza 26332 hm<sup>3</sup>/año. Sin embargo, existe un gran desconocimiento y desinformación sobre el uso de los recursos hídricos para uso ganadero y el impacto que genera la falta de dicho recurso, además la microcuenca Ganadera de Pomacochas, distrito de Florida, presenta un gran potencial para la producción de ganado lechero, teniendo un total de 7742 cabezas de ganado vacuno y 15000 ha cubiertas de pasturas naturales y cultivadas, cuyos suelos tienen características edafológicas muy buenas para la instalación de pasturas; además el 30% de las áreas disponible de agua para riego, con condiciones climáticas que favorecen la adaptabilidad de nuevas pasturas y de ganado mejorado (INEI 2012). Bajo este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo calcular la huella hídrica para la producción de un litro de leche en sistemas productivos ganaderos ubicados en el distrito la Florida, Amazonas.

### Materiales y métodos

#### Lugar de estudio

El estudio se realizó en el distrito de Florida según ubicación geográfica 5°49'26"S 77°58'19"O, provincia de Bongará, de la región Amazonas. El distrito abarca una superficie de 203,22 km<sup>2</sup> situado a 2150 m.s.n.m, con temperatura anual promedio de 15°C, precipitación de 1964,8mm y una humedad relativa 89,1% (Estación Meteorológica Convencional Pomacochas). Su economía se basa principalmente en la ganadería y derivados lácteos (Oliva et al 2019).

#### Identificación de fincas ganaderas

En el distrito de Florida se identificó una población ganadera de 791 unidades agropecuarias (INEI 2012). En función al tamaño de esta población se obtuvo una muestra representativa de 73 fincas ganaderas para el distrito de Florida. A este tamaño muestral se le aplicó una encuesta estructurada en 4 apartados: características generales, características del hato ganadero, manejo de pasturas, uso y manejo de agua.

La caracterización de las fincas ganaderas de acuerdo a las frecuencias observadas de la encuesta aplicada, mostró lo siguiente: que los sistemas representativos de la zona son el sistema extensivo, estaca y cerco eléctrico con porcentajes de 30,14%, 42,47 % y 23,29 % respectivamente, las razas de ganado predominantes fueron Simental (8,22 %), Brown Swiss (26,02) y Simmental más Browns Swiss (56,16 %) y el pasto de mayor abundancia en las fincas seleccionadas fue el rye gras (*Lolium multiflorum* Lam.) con un 93,15%. Además, en los sistemas no se aplica fertilización y la única fuente de alimento viene a ser el pasto.

A partir de esta información se generaron 3 estratos que compartían características similares en cuanto al sistema de pastoreo, hectáreas de terreno, vacas en producción y producción diaria de leche (Tabla 1).

**Tabla 1.** Características promedio de las fincas ganaderas seleccionadas

Sistema pastoreo (Estrato)	ha de terreno	Total de ganado	N° vacas en producción	Producción de leche
Extensivo (I)	14,5 ha	27	13	61,3 L
Estaca (II)	3 ha	8	4	31,6 L
Cerco eléctrico (III)	7 ha	20	7	45,8 L

Se seleccionaron 10 fincas ganaderas por cada uno de los estratos formados con la finalidad de realizar las evaluaciones para el cálculo de la huella hídrica de la producción de leche.

#### Parámetros de evaluación

Se consideraron los siguientes parámetros de evaluación: Rendimiento de forraje verde (kg/ha), rendimiento de materia seca (%MS), consumo de materia seca de los animales (CMS), producción de leche (PL), peso de los animales, litros de agua utilizados para producir un kilogramo de forraje seco (L/kg/MS), consumo directo de agua (CDA) como huella hídrica de bebida, consumo indirecto de agua (CAI) como huella hídrica de alimentación, Uso de agua (UdA) como huella hídrica de servicios y litros de agua utilizados para producir un litro de leche como huella hídrica de la leche (HHL).

#### Cálculo de huella hídrica animal

La huella hídrica del ganado estuvo conformada por diferentes componentes: la huella hídrica indirecta del alimento y la huella hídrica directa relacionada con el agua potable y el agua de servicio consumida (Chapagain y Hoekstra 2003). La huella hídrica de ganado se expresó como:

HH animal = HH alimento (verde) + HH bebida (azul) + HH servicios (gris) (1)

### Huella hídrica de la alimentación (verde)

Fue determinada por la huella hídrica del alimento consumido como pasturas en producción (única fuente de alimento), ya que en estos sistemas no se hace uso de suplementos minerales o concentrados, y se tuvo en consideración la cantidad de agua empleada para la producción de MS por parte del forraje y el consumo de MS de los animales, se determinó el agua consumida vía la ingesta de alimento. Para la zona de estudio y bajo el sistema productivo que se desarrolló se consideró un consumo de materia seca (CMS) de 3% del peso vivo del animal (PV) (Hassán 2011).

Luego se empleó el programa CROPWAT 8.0 para calcular el agua necesaria utilizada para producir un kilogramo de forraje en base seca. Finalmente se calculó la HH alimentación aplicando la siguiente fórmula (Ríos et al 2012):

$$HH \text{ alimentación} = \frac{AC \times A}{H} \quad (2)$$

Dónde:

AC : Alimento consumido por el hato (kg/MS)

A : Litros de agua utilizados para producir 1kg de materia seca

H : Número de animales del hato (solo se consideran los que estén en etapa productiva).

Los datos climáticos utilizados para dos épocas del año: estiaje (agosto a diciembre del año 2016) y lluviosa (enero a julio del año 2017), las características edafológicas y el coeficiente del cultivo se presentan en las tablas 2,3 y 4.

**Tabla 2.** Variables climatológicas empleadas en el software CROPWAT 8.0

Año	Mes	Temp. Min. (C°)	Temp. Max. (C°)	H. R. (%)	Pp (mm)	Viento (m/s)	Insolación (h)
2016	Agosto	13,8	15,9	84,2	47,9	2,9	5,7
	Septiembre	13,3	16,0	88,2	194,1	2,5	6,0
	Octubre	14,3	16,8	86,8	97,1	2,9	6,2
	Noviembre	14,4	17,0	83,6	67,2	2,6	6,2
	Diciembre	13,8	16,4	91,3	222,1	3,0	6,4
	2017	Enero	13,4	16,5	89,6	181,5	2,8
Febrero		13,6	16,5	91,3	130,9	2,5	6,2
Marzo		13,2	16,1	93,4	366,3	2,4	6,0
Abril		13,5	16,4	92,4	353,3	2,5	5,7
Mayo		14,1	16,3	91,8	170,5	4,5	5,5
Junio		13,7	16,1	90,1	74,1	4,3	5,5
Julio		12,7	15,1	87,0	59,8	4,8	5,5

Fuente: Estación Meteorológica Automática Pomacochas

**Tabla 3.** Datos generales de características del suelo

Característica	Valor
Humedad del suelo disponible total (CC-PMP)	120 mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	130 mm/día
Profundidad radicular máxima	80 cm
Agotamiento inicial de humedad del suelo (% ADT)	60 %
Humedad de suelo inicialmente disponible	48 mm/metro

Fuente: Allen et al (2006)

**Tabla 4.** Coeficiente de cultivo (Kc) *Lolium multiflorum* Lam.

Etapa	Inicial	Desarrollo	Med.	Fin	Total
Longitud (días)	12	25	25	10	72
Kc valores	0,95	-->	1,05	0,60	
Prof. Radicular	0,05	-->	1,00	1,00	
Agotam. Crítico	0,50	-->	0,50	0,50	
F. respuesta rend.	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Altura de cult. (m)			0,50		

Fuente: Allen et al (2006)

### Huella hídrica de bebida (azul)

Se midió el consumo directo total de agua por día en cada finca ganadera, las vacas que están en producción de leche fueron aisladas y se les suministró agua mediante el uso de recipientes de agua con volumen conocido. Al final del día se midió el agua residual y por diferencia se calculó el agua consumida por el hato (Ríos et al 2012). Este proceso se desarrolló por 10 días y al final se promedió el consumo directo del agua por hato, este dato se midió en dos épocas del año: época lluviosa (enero a julio) y estiaje (agosto a diciembre).

### Huella hídrica de servicios (gris)

Para el cálculo de esta huella se tuvo en cuenta el tipo de manejo de los pastos y las labores relacionadas a la obtención de leche fresca que generan efluentes. En el caso de los pastos, en la zona no se realiza la aplicación de fertilizantes por lo que se descartó esta fuente de contaminación. Respecto a la obtención de leche se consideró el consumo de agua para el desarrollo de las siguientes actividades: lavado de ubres, paños, porongos, baldes, bebederos y baños de los animales (Mekonnen y Hoekstra 2012), siendo estas las únicas actividades que se realizaron debido al tipo de manejo de ganado de la zona, no se midieron variables como las excretas, debido a que no existían metodologías validadas para las condiciones de la zona.

La recopilación de estos datos se realizó mediante observación directa, cálculo e información brindada por los productores.

La suma de las tres huellas nos dará el consumo de agua por parte del animal (CAA).

### Cálculo de la huella hídrica para la producción de leche

Para el cálculo de la huella hídrica en la producción de un litro de leche se empleó la siguiente fórmula (Mekonnen y Hoekstra 2010):

$$HH_1 = \frac{CAA + UdA}{PLH} \quad (3)$$

Dónde:

HH<sub>1</sub> : Huella hídrica leche (cantidad de agua necesaria para producir un litro de leche).

CAA : Consumo de agua por parte del animal. Dada por la suma del consumo directo de agua más consumo indirecto de agua.

UdA : Uso de agua (HH servicios)

PLH : Producción de litros de leche del hato.

### Análisis de la información

Los estratos definidos a partir de las características de los hatos fueron sometidos a una prueba de comparaciones con respecto al consumo de agua en litros por litro de leche, para ello se utilizó una prueba F para detectar la existencia o no de diferencias significativas entre los grupos y al encontrarse estas diferencias se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Duncan ( $p < 0.05$ ) para determinar el o los estratos con mayores valores de consumo agua en litros/litro de leche producida. Las bases de datos se analizaron mediante el software R versión 4.0.4.

## Resultados

### Rendimiento de forraje verde (FV) y materia seca (MS)

El análisis de varianza indicó diferencias estadísticas significativas para forraje verde y materia seca ( $p=0,0001$ ). En la tabla 5 se puede observar que respecto al rendimiento de Forraje verde existe diferencias estadísticas significativas entre los estratos. Para materia seca los estratos II y III no presentaron diferencias significativas, sin embargo, son diferentes al estrato I. El estrato II tienen mayor rendimiento con respecto a Forraje verde y materia seca con 1136,44 g/ m<sup>2</sup> y 2 129,05 kg/ha respectivamente. El estrato III presentó el mayor porcentaje de materia seca frente a los demás estratos con 19,63%.

**Tabla 5.** Rendimiento de Forraje verde y materia seca

Estrato	Rendimiento de	
	Forraje Verde (kg/ha)	Materia Seca (Kg/ha)
I (extensivo)	7751,2 ± 805,68 b	1432,25 ± 233,22 (18,39%) b
II (estaca)	11364,4 ± 1498,10 a	2129,05 ± 238,38 (18,81%) a
III (cerco eléctrico)	10063,6 ± 964,12 a	1978,27 ± 269,35 (19,63%) a

Nota: letras diferentes en columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

### Peso de las vacas en producción

El análisis de varianza indicó diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,0158$ ). Los estratos para esta variable mostraron diferencias significativas siendo el estrato III (cerco eléctrico) el que presentó el promedio superior (486,33 ± 47,99 kg de PV), con respecto a los estratos I (441,70 ± 20,50 kg de PV) y II (475,74 ± 25,25 kg de PV).

### Consumo de materia seca (CMS) por hato y por vaca

En la tabla 6 se observa diferencias significativas entre los estratos de los hatos ganaderos para el consumo total de materia seca (kg) por hato por día y consumo total de materia seca (Kg) por vaca por día. Donde el hato del estrato I (Extensivo) registra el mayor consumo de forraje con 169,7 de MS por día. Además, se puede observar que el mayor consumo de materia seca por vaca se presenta en el estrato I (14,57kg/vaca/día).

**Tabla 6.** Consumo total de materia seca por hato y por vaca

Estrato	Consumo total de MS	
	(kg/hato/día)	(kg/vaca/día)
I (extensivo)	166,96 ± 20,82 a	13,25 ± 0,62 b
II (estaca)	52,80 ± 7,44 c	14,27 ± 0,76 a
III (cerco eléctrico)	90,97 ± 23,94 b	14,57 ± 1,56 a

Nota: letras diferentes en columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

### Producción de leche

El análisis de varianza indicó diferencias altamente significativas para hato y por vaca ( $p < 0,0001$ ). En la tabla 7 se observa que existe diferencias estadísticas entre los estratos para la producción de leche/hato/día (L) y la producción promedio de leche/vaca/día (L). La ganadería que se encuentra en el estrato I tiene mayor producción de leche por hato con 61,3 L, sin embargo, en comparación con la producción de leche por vaca este tiene tener la más baja producción con 4,9 L. La producción promedio de leche por vaca del estrato II (Estaca) presentó la mayor producción con 8,56 L/vaca/día.

**Tabla 7.** Producción promedio de leche por hato y por vaca

Estrato	Producción promedio	
	de leche (L/hato/día)	de leche (L/vaca/día)
I (extensivo)	61,30 ± 2,61 a	4,91 ± 0,44 b
II (estaca)	31,58 ± 3,70 c	8,56 ± 0,44 a
III (cerco eléctrico)	45,75 ± 5,07 b	7,58 ± 1,36 a

Nota: letras diferentes en columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

### Huella hídrica de alimentación

El análisis de varianza indicó diferencias estadísticas altamente significativas para la evaluación de los tres estratos por hato ( $p = 0,0001$ ). El análisis de varianza indicó diferencias estadísticas altamente significativas entre estratos estudiados ( $p < 0,00019$ ). Referente a la huella hídrica de alimentación se encontró diferencias estadísticas significativas para los estratos, donde el estrato I registró el valor más alto con 660,41 ± 114,95 l/kg MS respecto a los demás tratamientos. El mismo comportamiento se observa para huella hídrica de alimentación promedio por hato y animal con 111825,46 ± 32189,91 y 8763,68 ± 1674,68 respectivamente (Tabla 8).

**Tabla 8.** Huella hídrica verde promedio por hato y animal.

Estrato	HH alimentación		
	promedio (L/kg MS)	promedio/hato (L)	promedio/animal (L)
I (extensivo)	660,41 ± 114,95 a	111 825,46 ± 32 189,91 a	8 763,68 ± 1 674,68 a
II (estaca)	437,76 ± 46,86 b	23 058,91 ± 3 585,53 b	6 242,11 ± 689,71 b
III (cerco eléctrico)	473,85 ± 63,99 b	42 579,52 ± 10 123,31 b	6 888,14 ± 1 096,28 b

Nota: letras diferentes en columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

### Huella hídrica de bebida

El análisis de varianza indicó diferencias estadísticas significativas entre estratos para ambas épocas de evaluación ( $p = 0,0001$ ). En la tabla 9 se puede percibir que el mayor consumo promedio se da en el estrato I con 448,95 ± 47,59 L, existiendo diferencias estadísticas significativas entre los estratos ( $p \leq 0,05$ ). Para la época de estiaje las vacas tienden a consumir mayor cantidad de agua con respecto a la época de invierno, siendo el estrato I el que tuvo un consumo promedio superior por hato de 512,28 ± 37,76 L de agua y época lluviosa de 385,62 ± 64,81 L/hato.

El estrato III (cerco eléctrico) obtuvo el promedio más alto para el consumo de huella hídrica azul por animal con 43,57 ± 2,56 L en comparación a los estratos I y II en época de estiaje y el mismo comportamiento se observa para la época lluviosa.

**Tabla 9.** Huella hídrica de bebida en la estación de estiaje y lluviosa y el promedio de consumo por hato y animal

Estrato	HH de bebida			
	en época de estiaje (L)	en época lluviosa (L)	promedio (L)	
Hato	I	512,28 ± 37,76 a	385,62 ± 64,81 a	448,95 ± 47,59 a
	II	142,50 ± 13,95 c	106,80 ± 10,32 c	124,65 ± 12,00 c
	III	269,74 ± 53,63 b	201,14 ± 38,73 b	235,44 ± 44,90 b
Animal	I	40,86 ± 2,39 b	30,52 ± 3,13 ab	35,69 ± 1,61 b
	II	38,70 ± 1,92 b	29,02 ± 1,71 b	33,86 ± 1,75 b
	III	43,57 ± 2,56 a	32,53 ± 2,35 a	38,05 ± 1,57 a

Nota: letras diferentes en columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

### Huella hídrica de servicios

Los estratos estudiados presentaron diferencias estadísticas significativas, el mayor uso de agua en lavado de utensilios de ordeño, lavado de ubre y lavado de porongos se da en los ganaderos del estrato I con una huella hídrica de servicios de 89,0 ± 12,20 a L/día superior a los estratos II (47,4 ± 3,24 c) y III (74,0 ± 8,10 b).

### Huella hídrica de la leche

En la tabla 10, se observa que hay diferencias significativas entre estratos para la época de estiaje y lluviosa. Los hatos ganaderos del estrato I consumen mayor cantidad de agua con 1 562,14 ± 170,26 L en época de estiaje y 1 556,82 ± 171,77 L en época lluviosa para producir un litro de leche, siendo superior a los demás estratos. Los hatos ganaderos que se encuentran en el estrato I tienden a consumir mayor cantidad de agua en promedio (1 559,48 ± 169,97 L). La huella hídrica para la producción de un litro de leche en estiaje para el estrato I fue mayor en 8,28 litros con respecto a la época lluviosa.

**Tabla 10.** Huella hídrica de la leche en la estación verano, invierno y promedio general de consumo

Estrato	HH/litro de leche		
	en época de estiaje (L)	en época lluviosa (L)	promedio (L)
I (extensivo)	1 827,52 ± 474,42 a	1 819,24 ± 465,64 a	1 823,38 ± 469,52 a
II (estaca)	741,07 ± 88,94 b	732,52 ± 95,93 b	736,80 ± 90,64 b
III (cerco eléctrico)	939,27 ± 189,04 b	935,96 ± 191,05 b	937,61 ± 189,82 b

Nota: letras diferentes en columnas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

### Discusión

Los resultados encontrados en la investigación para forraje verde son similares a los reportados por Rivera et al (2015) quienes obtuvieron 1126 g de forraje verde/m<sup>2</sup> bajo un sistema silvopastoril intensivo y 761 g de forraje verde/m<sup>2</sup> bajo un sistema convencional en el piedemonte Amazónico de Colombia. El estrato III (cerco eléctrico) de la presente investigación obtuvo el valor más alto en porcentaje de materia seca, este resultado fue superior a los de Castro-Rincón et al (2019) quienes reportan valores de 13 hasta 18,1 % para cultivares de Rye Grass en fincas lecheras en un sistema de cerco eléctrico de Nariño Colombia. Las diferencias encontradas podrían deberse a la adaptabilidad de los pastos en estudio (Ramírez et al 2017; Oscanoa y Flores 2016).

Respecto al peso de las vacas en producción Gómez (2016) obtuvo valores superiores (523 kg de peso vivo) para vacas en producción bajo un sistema de pastoreo intensivo de *Lolium perenne* en México. Los sistemas de pastoreo intensivo (cerco eléctrico y estabulado) presentan mayor ganancia de peso vivo para vacas en producción debido a que cuentan con un mejor manejo de pasturas y en consecuencia mejores parámetros reproductivos y productivos (González-Quintero et al 2020).

El consumo total promedio de materia seca por vaca por día es superior a los resultados de Mejía-Díaz et al (2017) quienes obtuvieron un consumo de materia seca de forraje de 13 kg/vaca, bajo un sistema de cerco eléctrico con pasto kikuyo en el trópico alto de Antioquia. Riquelme y Pulido (2008) en su ensayo obtuvieron un consumo de materia seca bajo sistema de pastoreo de 17,6 kg/vaca/día en Chile, siendo superior a los obtenidos en esta investigación, esta superioridad se debe a que la suplementación del concentrado disminuye el tiempo de pastoreo en las fincas ganaderas disminuyendo el consumo de forraje en base de materia seca (Gallego-Castro et al 2017).

Los resultados respecto a la producción de leche son similares a los reportados por Bacab-Pérez y Solorio-Sánchez (2011) quienes obtuvieron producciones de leche desde 9 a 9,2 L/día en una ganadería bajo el sistema de pastoreo extensivo en Michoacán, México. Por otro lado, Chuncho (2011) en su estudio realizado en Nicaragua bajo un sistema convencional presentó una producción de leche por vaca de 2,98 L/vaca/día y en fincas con sistemas silvopastoriles 4,73 L/vaca/día, siendo estos resultados inferiores a lo encontrado en esta investigación. Por otro lado, Córdova et al (2018) encontraron valores de producción de leche superiores a los encontrados en la

presente investigación con 12,07 L/vaca/día en sistemas de doble propósito en México. Así mismo, la producción de leche en la presente investigación fue mayor en estiaje con 8,28 litros respecto a la época lluviosa, resultados inferiores a los obtenidos por Beauregard-García et al (2018) quien reportó que la producción de leche fue mayor en poco más de 5,66 litros en época de verano.

Los resultados encontrados con respecto a la huella hídrica de bebida demuestran que hay diferencias en el consumo de agua directa en la época de estiaje y lluviosa, este incremento del consumo de agua se hace notorio en la época de estiaje, ya que es influenciada por el aumento de temperatura, teniendo que por cada grado de elevación aumenta el consumo del recurso hídrico (Leyva-Corona et al 2016). El estrés térmico en época de estiaje origina un aumento en el consumo de agua, para la regulación de la temperatura corporal del animal, teniendo un incremento alrededor del 87% en época de estiaje con respecto a la época lluviosa (Arias y Mader 2011).

Los datos reportados para huella hídrica de alimentación del estrato I (extensivo) son inferiores a lo reportado por Hernández-Hernández et al (2020) quienes obtuvieron un valor de 710 L de agua verde para fincas ganaderas en El Salvador. Por otro lado, los resultados reportados por Ibdí y Salem (2020) fueron superiores a los de esta investigación con respecto al estrato III (cerco eléctrico) con 930 de agua verde para un estudio realizado en ocho granjas de Túnez bajo sistema agrícola integrado intensivo y Malca (2018) reportó 848 L de agua verde en un sistema de campo abierto en Cajamarca, Perú.

Los resultados encontrados para la huella hídrica de bebida promedio por hato para el estrato III (cerco eléctrico) son inferiores a lo reportado por Ibdí y Salem (2020), quienes encontraron para un sistema intensivo ganadero de Túnez, una huella azul promedio de 420 L/hato, esta superioridad se puede deber al empleo de suplementos balanceados (Rotz et al 2019). Por otro lado, los resultados para huella hídrica de bebida por vaca/día fueron similares a los reportados por Muñoz et al (2014) y Martínez-Mamián et al (2016), quienes encontraron valores de 35,9 y 40 L respectivamente para estudios realizados en Panamá y Colombia.

Los datos reportados de huella hídrica gris del estrato I (extensivo) de la presente investigación son similares a la investigación realizada por Hernández-Hernández et al (2020) quienes obtuvieron un valor de 82 L para producir un litro de leche. Espinoza et al (2015) encontraron valores superiores a los obtenidos en esta investigación con un valor de 102 litros por vaca bajo un sistema de ganadería tecnificada en el norte de México. Por otro lado, Corredor-Camargo et al (2017) encontraron valores inferiores a la presente investigación para sistemas ganaderos de pastoreo rotacional con estacas con 6,7 L para la producción de un litro de leche en Boyacá, Colombia. Estas diferencias pueden estar sujetas a las variables consideradas para el cálculo de la huella gris (Malca 2018).

Los resultados calculados de la huella hídrica para producir un litro de leche en la época de estiaje y lluviosa para el estrato I (extensivo) son superiores a lo reportado por Muñoz (2014) quien obtuvo 951 a 1111 L en época de verano y 693 a 1021 L en época lluviosa bajo un sistema convencional en Panamá. Martínez-Mamián et al (2016) reportaron un consumo de 1900 litros de agua para producir un litro de leche en sistemas con cerco eléctrico en Cauca, Colombia, resultados inferiores a los de esta investigación.

La huella hídrica promedio para producir un litro de leche en el distrito de Florida es inferior con respecto a lo calculado por Corredor-Camargo et al (2017) quienes reportaron un valor de 2007,8 L/kg de leche y superior a los de Martínez y Zalazar (2015) quienes obtuvieron valores de 265 a 278 L/kg de leche en sistemas de pastoreo con suplementación de nabo y maíz forrajero en Chile y similares a los datos calculados por Ríos et al (2012) quienes obtuvieron resultados de 948,2 L en Matiguas y 1588,8 L en Jinotega para producir un litro de leche bajo un sistema de pastoreo extensivo en Nicaragua.

Los valores obtenidos entre sistemas en esta investigación evidencian una clara superioridad en cuanto a los valores de huella hídrica para el estrato I (extensivo) frente a los otros dos sistemas, esto se debe al hecho de que en el sistema extensivo predominó el mayor número de animales por finca, lo cual es directamente proporcional al consumo de agua y puede incluso condicionar su escasez en época de estiaje (Pulido y Schnabel 2010).

## Conclusiones

- La huella hídrica para producir un litro de leche en hatos ganaderos del distrito de Florida, provincia de Bongará, región Amazonas se encuentra en un rango de 736,80 a 1823,38 L de agua.
- Los hatos ganaderos bajo el sistema de pastoreo a estaca (estrato II) presentan una menor cantidad de huella hídrica por litro de leche que aquellos que utilizan un sistema extensivo o a cerco eléctrico (estratos I y III), siendo este sistema el que muestra mayor eficiencia del uso del agua y asegura la sustentabilidad de la producción pecuaria.
- Se debería gestionar estrategias para el aprovechamiento de fuentes de agua como la proveniente de las precipitaciones a fin de reducir la presión sobre el recurso hídrico y profundizar en otros componentes de la huella gris bajo las condiciones de esta zona de estudio a fin de tener una estimación de mayor precisión.

## Referencias

- Allen R G, Pereira L S, Raes D y Smith M 2006 Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Primera edición. Italia: FAO.
- Autoridad Nacional del Agua-ANA 2015 Huella hídrica del Perú. Sector agropecuario. Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú. N° 2015-12788. (En línea). Consultado el 5 de mayo de 2021. Disponible en: [http://d2uwy59p0d4gk.cloudfront.net/downloads/huella\\_hidrica\\_final.pdf](http://d2uwy59p0d4gk.cloudfront.net/downloads/huella_hidrica_final.pdf).
- Anne-Marie B, Drasting K, Amanullah y 26 autores más 2021 Building consensus on water use assessment of livestock production systems and supply chains: Outcome and recommendations from the FAO LEAP Partnership. Ecological Indicators, 124: 107391. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107391>
- Arias R A and Mader T L 2011 Environmental factors affecting daily water intake on cattle finished in feedlots. Journal of Animal Science, 89: 245-251. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2010.3014>
- Bacab-Pérez H M y Solorio-Sánchez F J (2011) Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcattepec, Universidad Autónoma de Yucatán México. Agro ecosistemas tropicales y subtropicales, 13: 271 – 278. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/939/93920942003.pdf>.
- Beauregard-García J, Prado-Rebolledo O, García-Márquez L, García-Casillas A, Macedo-Barragán R y Hernández-Rivera J 2018 Productividad de vacas lecheras Holstein sin sombra en dos épocas del año. Abanico veterinario, 8 (3): 51-67. DOI: <http://dx.doi.org/10.21929/abavet.2018.8.3.3>
- Castro-Rincón E, Cardona-Iglesias J L, Hernández-Oviedo F, Valenzuela-Chirán M y Avellaneda-Avellaneda Y 2019 Evaluación de tres cultivares de *Lotium perenne* L. con vacas lecheras, en el trópico alto de Nariño-Colombia. Pastos y Forrajes, 42(2): 161-170. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v42n2/2078-8452-pyf-42-02-161.pdf>.
- Chapagain AK and Hoekstra AY 2003 Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. Value of Water research report series, n°13. First edition. Holanda: UNESCO-IHE.
- Chuncho CC 2011 Análisis de la percepción y medidas de adaptación al cambio climático que implementan en la época seca los productores de leche en Río Blanco y Paiwas, Nicaragua. CATIE. Turrialba, Costa Rica. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Agricultura Ecológica, p. 186. Turrialba-Costa Rica, 2011.
- Córdova R E, Ramos J A, Bucio A, De la Rosa R, Salinas R M y Aranda E M 2018 Producción de leche en vacas suplementadas con un alimento a base de ensilado de pez diablo (*Pterygoplichthys pardalis*). En: Avances de la Investigación Sobre Producción Animal y Seguridad Alimentaria, México: D. R. © Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 881-886.
- Corredor-Camargo E S, Castro-Escobar E S y Páez-Barón E 2017 Estimación de la huella hídrica para la producción de leche en Tunja, Boyacá. Revista Ciencia y Agricultura, 14(2): 7-17. DOI: <http://doi.org/10.19053/01228420.v14.n2.2017.7144>.
- Espinoza J R, Quintana R M, Lujan S E y Palma Y 2015 La importancia de la huella hídrica en el sector agropecuario y un caso de estudio para la producción de leche de manera sustentable en el norte de México. Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias, 6(13): 163-174. Disponible en [http://emas.siu.buap.mx/portal\\_pprd/work/sites/rfac/resources/LocalContent/44/2/6\(13\)-13.pdf](http://emas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/rfac/resources/LocalContent/44/2/6(13)-13.pdf).
- Gallego-Castro L A, Mahecha-Ledesma L y Angulo-Arízala J 2017 Producción, calidad de leche y beneficio: costo de suplementar vacas Holstein con *Tithonia diversifolia*. Agron. Mesoam, 28(2): 357-370. DOI: <http://doi.org/10.15517/ma.v28i2.25945>.
- Gómez A 2016 Evaluación de tres variedades de gramíneas para pastoreo en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el noroeste del Estado de México. Tesis para obtener el título de médica veterinaria zootecnista, p. 51. Toluca- México, 2016.
- González-Quintero R, Sánchez-Pinzón M S, Bolívar-Vergara D M, Chirinda N, Arango J, Pantévez H, Correa-Londoño G y Barahona-Rosales R 2020 Caracterización técnica y ambiental de fincas de cría pertenecientes a muy pequeños, pequeños, medianos y grandes productores. Revista mexicana de ciencias pecuarias, 11 (1): 183-204. DOI: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4902>.
- Hassán JA 2011 El ciclo de vida en la producción de leche y la dinámica de las emisiones de gases de efecto invernadero en fincas doble propósito de la península de Azuero, República de Panamá. Tesis de maestría para optar el grado de Magister Scientia en Agroforestería Tropical. P. 162. Turrialba-Costa Rica, 2011.
- Hernández-Hernández A J, Hernández-Hernández J A y Tejada-Asencio JM 2020 Determinación de la huella hídrica en los procesos productivos de la leche y su nivel tecnológico en dos ganaderías del occidente de El Salvador. Revista Agrociencia, 3(15): 76-86. Disponible en [https://www.agronomia.ues.edu.sv/documentos/doc\\_carousel/Revista\\_Cientifica\\_Agrociencia-Articulo-7.pdf](https://www.agronomia.ues.edu.sv/documentos/doc_carousel/Revista_Cientifica_Agrociencia-Articulo-7.pdf).
- Ibdí B y Salem H B 2020 Water footprint and economic water productivity assessment of eight dairy cattle farms based on field measurement. Animal, 14(1): 180-189. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731119001526>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI 2012. Resultados definitivos IV Censo Nacional Agropecuario – 2012, Perú. (En línea). Consultado el 5 de mayo de 2021. Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/media/difusion/apps/>
- Johnston JL, Fanzo JC and Cogill B 2014 Understanding sustainable diets: a descriptive analysis of the determinants and processes that influence diets and their impact on health, food security, and environmental sustainability. Advances in Nutrition An International Review Journal, 5, 418-429. DOI: <https://doi.org/10.3945/aj.113.005553>
- Legesse G, Ominski K H, Beauchemin K A, Pfister S, Martel M, McGeough E J, Hoekstra A Y, Kroeber R, Cordeiro M R C and McAllister T A 2017 BOARDINVITED REVIEW: quantifying water use in ruminant production. Journal of Animal Science, 95, 2001–2018. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1439>.
- Leyva-Corona A C, Thomas M G, Rincón G, Medrano J F, Correa-Calderrón A, Avendaño-Reyes L, Halford D M, Rivera-Acuña F y Luna-Navárez P L 2016 Enfriamiento al inicio de verano para mitigar el estrés por calor en vacas Holstein del noroeste de México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 7(4), 415-429. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v7n4/2448-6698-rmcp-7-04-00415.pdf>.
- Lu Y, Payen S, Ledgard S, Luo J, Ma L and Zhang X 2018 Components of feed affecting water footprint of feedlot dairy farm systems in Northern China. Journal of Cleaner Production, 183, 208-219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.165>.
- Malca M M 2018 Determinación de la huella hídrica en la ganadería lechera en el fundo Cristo Rey, centro poblado de Otuzco-Cajamarca. Tesis para optar el Título de Ingeniero Zootecnista. p. 68. Cajamarca-Perú, 2018.
- Martínez L J y Zalazar F 2015 Huella hídrica de la producción de leche en el sur de Chile. En: V Congreso Latinoamericano de Agroecología. (En línea). Consultado 5 de mayo de 2021. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/58530>.
- Martínez-Mamián C A, Ruiz-Erazo X A y Morales-Velasco S 2016 Huella Hídrica de una finca ganadera lechera bajo las condiciones agroecológicas del valle del Cauca. Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial, 14 (2), 45-56. DOI: <https://doi.org/10.18684/BSAA1447-56>.
- Mejía-Díaz E, Mahecha-Ledesma L y Angulo-Arízala J 2017 Consumo de materia seca en un sistema silvopastoril de *Tithonia diversifolia* en trópico alto. Agronomía Mesoamericana, 28 (2), 389-403. DOI: <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.23561>.
- Mekonnen M M and Hoekstra A Y 2016 Four billion people facing severe water scarcity. Science Advances, 2(2), 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>.
- Mekonnen M M and Hoekstra A Y 2012 A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. Ecosystems, 15 (3), 401-415. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>
- Mekonnen M M and Hoekstra A Y 2010 A Global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. Hydrology and Earth System Sciences, 14, 1259-1276. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-14-1259-2010>
- Muñoz Q W 2014 Cálculo de la huella hídrica en fincas ganaderas ubicadas en la cuenca del río La Villa, Panamá. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, p. 92. Turrialba-Costa Rica.
- Murphy E, Boer I J M, Middelaar C E, Holden N M, Shalloo L, Curran T P and Upton J 2017 Water footprinting of dairy farming in Ireland. Journal of Cleaner Production, 140 (2), 547-555. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.199>.

- Oliva M, Collazos R, Vázquez H, Rubio K y Maicelo J L 2019** Composición florística de especies herbáceas forrajeras en praderas naturales de las principales microcuencas ganaderas de la región Amazonas. *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 109–117. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.12>.
- Oscanoa L y Flores E 2016** Influencia de técnicas de mejora de suelos sobre la función hídrica de pastos naturales altoandinos. *Ecología Aplicada*, 15(2), 91-99. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.748>.
- Owusu-Sekyere E, Scheepers M E and Jordaan H 2017** Economic water productivities along the dairy value chain in South Africa: implications for sustainable and economically efficient water-use Policies in the dairy industry. *Ecological Economics*, 134, 22–28. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.12.020>.
- Pulido M y Schnabel S 2010** La disponibilidad de agua en explotaciones de ganadería extensiva. En: Aportaciones a la geografía física de Extremadura con especial referencia a las Dehesas, España: Asociación Profesional para la Ordenación del Territorio, el Ambiente y el Desarrollo Sostenible-Fundicotex, 220-234.
- Ramírez J L, Zambrano D A, Campuzano J, Verdecia D M, Chacón E, Arceo Y, Labrada J y Uvidía H 2017** El clima y su influencia en la producción de pastos. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(6), 1-12. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63651420007.pdf>
- Ríos N, Lanuza E, Gámez B, Montoya A, Díaz A, Sepúlveda C e Ibrahim M 2012** Cálculo de la huella hídrica para producir un litro de leche en fincas ganaderas en Jinotega y Matiguás, Nicaragua. En: VII Congreso Latinoamericano de Sistemas Agroforestales para a Produção Sustentável. (En línea). Consultado el 5 de mayo de 2021. Disponible en: [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7961/Calculo\\_de\\_la\\_huella.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7961/Calculo_de_la_huella.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Riquelme C y Pulido RG 2008** Efecto del nivel de suplementación con concentrado sobre el consumo voluntario y comportamiento ingestivo en vacas lecheras a pastoreo primaveral. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40, 243-249. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/amv/v40n3/art04.pdf>
- Rivera J E, Cuartas C A, Naranjo J F, Tafur O, Hurtado E A, Arenas F A, Chará J y Murgueitio E 2015** Efecto de la oferta y el consumo de *Tithonia diversifolia* en un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), en la calidad y productividad de leche bovina en el piedemonte Amazónico colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 27 (10). Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/282606478\\_Efecto\\_de\\_la\\_oferta\\_y\\_el\\_consumo\\_de\\_Tithonia\\_diversifolia\\_en\\_un\\_sistema\\_silvopastoril\\_intensivo\\_SSPi\\_en\\_la\\_calidad\\_y\\_productividad\\_de\\_leche\\_bovina\\_en\\_el\\_piedemonte\\_Amazonico\\_colombiano\\_Effect\\_of\\_an\\_in](https://www.researchgate.net/publication/282606478_Efecto_de_la_oferta_y_el_consumo_de_Tithonia_diversifolia_en_un_sistema_silvopastoril_intensivo_SSPi_en_la_calidad_y_productividad_de_leche_bovina_en_el_piedemonte_Amazonico_colombiano_Effect_of_an_in)
- Rotz C A, Asem-Hiablie S, Place S and Thoma G 2019** Environmental footprints of beef cattle production in the United States. *Agricultural Systems*, 169 (2), 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.11.005>.
- Wirsenius S, Azar C and Berndes G 2010** How much land is needed for global food production under scenarios of dietary changes and livestock productivity increases in 2030? *Agricultural Systems*, 103(9),621-638. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.07.005>.

Received 24 May 2021; Accepted 4 September 2021; Published 1 October 2021