

UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA
VICERRECTORÍA ACADÉMICA
ESCUELA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
MAESTRÍA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES CON ENFÁSIS EN
GESTIÓN AMBIENTAL

**Establecimiento de tres indicadores de eficiencia en el uso de agua para
lavado en instalaciones lecheras en Zarcero, Costa Rica**

Tesis presentada al Tribunal Examinador del Programa de Maestría de Manejo
de Recursos Naturales de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales para
optar por el grado de *Magister Scientiae* con énfasis en gestión ambiental

Marco Vinicio Castro Calderón

Director de tesis: Jorge Alberto Elizondo Salazar

jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr

Lector de tesis: Javier Ernesto Rodríguez Yáñez urutico@gmail.com

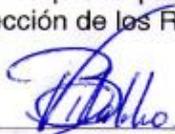
Lector de tesis: Jesús González Vindas jgnzlzv@gmail.com

San José, Costa Rica

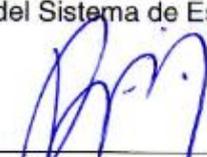
Agosto, 2019

TRIBUNAL EXAMINADOR

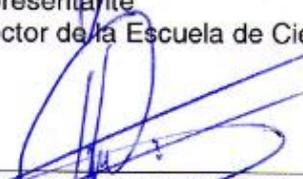
Este proyecto de Graduación ha sido aceptado y aprobado en su forma presente por el Tribunal Examinador del Programa de Maestría Académica en Manejo de Recursos Naturales del Sistema de Estudios de Postgrado de la Universidad Estatal a Distancia, como requisito parcial para optar por el grado de Magister Scientiae en Manejo y Protección de los Recursos Naturales con énfasis en Gestión Ambiental



Verónica Bonilla Villalobos, M.Sc.
Representante
Director del Sistema de Estudios de Posgrado



Benjamín Álvarez Garay, M.Sc.
Representante
Director de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales



Harold Arias LeClaire, Ph.D.
Representante
Profesores de la Maestría Académica en Manejo de Recursos Naturales



Zaidett Barrientos Llosa, Ph. D.
Coordinadora
Maestría Académica en Manejo de Recursos Naturales



Jorge A. Elizondo Salazar, Ph.D.
Director de Tesis

Javier Ernesto Rodríguez Yáñez, M.Sc.
Lector de tesis

Jesús González Vindas, M.Sc.
Lector de tesis

INDICE

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
INTRODUCCIÓN.....	6
METODOLOGÍA.....	7
RESULTADOS	11
DISCUSIÓN.....	14
AGRADECIMIENTOS	17
REFERENCIAS	18
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	21
ANEXOS.....	22

Establecimiento de tres indicadores de eficiencia en el uso de agua para lavado en instalaciones lecheras en Zarcero, Costa Rica

Marco Vinicio Castro Calderón

Maestría en Manejo de Recursos Naturales, UNED. mvcastrocalderon@yahoo.com

(Este trabajo fue sometido a la revista Agronomía Costarricense para su publicación formal. Debe buscarse como: Marco Vinicio Castro Calderón y Jorge Alberto Elizondo Salazar. Establecimiento de tres indicadores de eficiencia en el uso de agua para lavado en instalaciones lecheras en Zarcero, Costa Rica. Anexo 1)

RESUMEN

Introducción: El agua es el recurso más importante en todo el planeta y existe un claro reconocimiento de que los efectos de los sistemas de producción pecuaria y los patrones de consumo sobre este recurso deben disminuir en intensidad. **Objetivo:** Establecer tres indicadores de eficiencia en el uso de agua de lavado de instalaciones lecheras. **Materiales y métodos:** El estudio se llevó a cabo durante el segundo semestre del 2018, en 23 fincas lecheras, en Zarcero, Costa Rica. Para los tres indicadores, se consideraron cuatro variables: agua utilizada para lavado de instalaciones, superficie de piso expuesto a la excreción, animales presentes, y excretas generadas en las instalaciones. Se establecieron tres indicadores de eficiencia: agua utilizada por kilogramo de excreta generada, agua utilizada por animal y agua utilizada por unidad de superficie, que se analizaron a nivel general y a nivel de subgrupos de fincas, agrupadas de acuerdo con el mecanismo utilizado para el transporte de agua para lavado, y de acuerdo con la existencia de procesos previos de remoción de excretas. **Resultados:** Para el primer indicador, se obtuvo un rango de 2,7-27,0 litros de agua por kilogramo de excreta generada; para el segundo indicador, la mediana fue de 58,5 litros por animal con un rango de 23,0 a 149,5; finalmente para el tercer indicador, el agua utilizada por área expuesta osciló entre 4,7 y 40,6 litros por metro cuadrado. **Conclusión:** Existe una gran variabilidad en los valores obtenidos para los diferentes indicadores en las fincas analizadas; sin embargo, la información generada puede servir de insumo para generar herramientas con el fin de identificar opciones para maximizar el uso y conservación del agua.

ABSTRACT

Establishment of three efficiency indicators, in the use of water for cleaning dairy facilities, in Zarcero, Costa Rica

Introduction: Water is the most important resource on the entire planet and there is a clear recognition that the effects of livestock production systems and consumption patterns on this resource should decrease in intensity. **Objective:** To establish three efficiency indicators in the use of water for cleaning dairy facilities. **Materials and methods:** The study was carried out during the second half of 2018, in 23 dairy farms, in Zarcero, Costa Rica. For the three indicators, four variables were considered: water used for cleaning facilities, floor area exposed to excretion, animals present, and excreta generated in the facilities. Three efficiency indicators were established: water used per kilogram of excreta generated, water used per animal and water used per unit area, which were analyzed at a general level and at the subgroup level of farms, grouped according to the mechanism used to transport water for cleaning, and according to the existence of previous excreta removal processes. **Results:** For the first indicator, a range of 2.7-27.0 liters of water per kilogram of excreta generated was obtained; for the second indicator, the median was 58.5 liters per animal with a range of 23.0 to 149.5; finally, for the third indicator, water used for exposed area ranged between 4.7 and 40.6 liters per square meter. **Conclusion:** There is a great variability within the obtained values for the different indicators in the farms analyzed; however, this information can serve as an input to generate tools to identify options to maximize water use efficiency and conservation.

INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2003) y la Comisión Económica para América Latina (CEPAL, 2005) coinciden en que una inadecuada gestión del recurso hídrico será la causa principal de la escasez de agua. En este sentido, la agricultura, es considerada uno de los mayores consumidores de agua a nivel mundial (70% del agua global según el World Water Assessment Programme, 2009).

La mayoría de esta agua es utilizada para riego y la demanda de agua para uso agrícola se espera que crezca para poder suplir el 70% de incremento en la necesidad de alimentos para 9,7 billones de personas que se ha estimado para el 2050 (Food and Agriculture Organization, 2009; United Nations, 2015). Como consecuencia, es de vital importancia buscar maneras de incrementar la eficiencia de la utilización de este preciado líquido y que se establezcan normativas más estrictas al respecto.

En Costa Rica, las actividades agropecuarias consumen el 21% del agua disponible (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2016). Los sistemas lecheros, participan activamente del consumo del recurso hídrico y el agua total utilizada en las lecherías normalmente se divide en tres áreas: agua para consumo de los animales, agua para uso en la sala de ordeño e instalaciones y agua para riego.

Uno de los rubros que conlleva mayor consumo de agua, es para fines de limpieza de las instalaciones (piso, corrales, etc.), con el agravante de que no es agua reutilizada, ya que generalmente proviene directamente de fuentes naturales.

Las discusiones con respecto al uso de agua para lavado de excretas en instalaciones lecheras se centran en el manejo y disposición final de los purines, con su respectivo potencial de contaminación (Decreto Ejecutivo 33601 MINAE-S, 2007; Decreto 37017, 2012), dejando de lado los protocolos y metodologías que deberían emplearse para el lavado de excretas en lecherías.

Dichos lineamientos legales para el uso racional de agua en instalaciones se cuantifican de dos maneras: dotación diaria de agua por animal que se ha establecido en 130 litros por animal (SENARA, 2004) y la relación agua: excreta que debe ser como máximo de 4:1 (Decreto 37017, 2012). Estos lineamientos no toman en consideración aspectos como el área de deposición de las excretas ni las escalas de producción, entre otras; que son factores influyentes en relación con los volúmenes de agua para lavado en instalaciones lecheras.

A pesar de la importancia del agua para los diferentes sectores productivos, Costa Rica carece de estudios que hagan mención del consumo actual de agua para lavado de excretas en instalaciones lecheras, bajo los diferentes modelos existentes de producción, que permitan entre otras cosas, establecer rangos óptimos de utilización del recurso hídrico. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue establecer tres indicadores de eficiencia, en el uso de agua de lavado de instalaciones lecheras, en la zona de Zarcero, Costa Rica.

METODOLOGÍA

Materiales y métodos

Zona de estudio

La investigación se realizó en el cantón de Zarcero, de la provincia de Alajuela, Costa Rica, en 23 fincas lecheras situadas entre 1300 y 2000 msnm. La información se recolectó durante el segundo semestre del año 2018 y algunas de las características de las fincas se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Caracterización de 23 fincas lecheras, según área total del sistema, cantidad de animales y cantidad de colaboradores. Zarcero-Costa Rica, 2018.

Características	Sumatoria	Promedio±DE.	Mínimo	Máximo
Área total del sistema productivo, ha	598	24,9 ± 21,4	3	88
Cantidad de vacas en ordeño	788	32,8 ± 17,5	14	80
Cantidad de vacas secas	176	7,3 ± 4,2	2	20
Cantidad de reemplazos	587	24,5 ± 18,6	0	75
Cantidad total de animales en el ható	1551	64,6 ± 37,1	21	175
Cantidad de colaboradores	51	2,1 ± 1,1	1	5

DE: Desviación estándar.

Según Solano y Villalobos (1999), Zarcero se encuentra situado en dos regiones climatológicas:

- 1) Región del Valle Central Occidental:
 - a. Perteneciente a la subregión Faldas de la Cordillera Volcánica Central, caracterizada por formación forestal de bosque muy húmedo montano bajo, de alta humedad, con biotemperatura media anual de 12 a 17 °C, en el cual hay presencia de neblina.
- 2) Región Norte:
 - a. En la subregión climática RN1 (Faldas de la Cordillera de lado Pacífico) con presencia en la zona sur de Zarcero,
 - b. En la subregión climática RN2 (lluvioso de altura) al norte de Zarcero, y
 - c. En la subregión climática RN2 (seco de altura) sobre Zarcero.

Estas subregiones pertenecientes a la Región Norte son caracterizadas por un promedio de 225 días con lluvia, una lluvia media anual de 3100 mm (RN1) y 3768 mm (RN2). La temperatura media anual de 25 °C (RN1) y 20 °C (RN2).

Estimación del tamaño de muestra

La población para inferir fueron los establecimientos especializados en producción de leche vigentes, a excepción de las lecherías denominadas de “subsistencia” (menor a 10 vacas en producción) por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (Decreto Ejecutivo 34859-MAG, 2008), ya que se consideró que podían tener metodologías de limpieza particulares al resto de lecherías del Cantón.

Según el Censo Agropecuario en Costa Rica (INEC, 2015), para el Cantón de Zarceró existe un estimado de 450 fincas lecheras, dentro de las cuales hay 84 de subsistencia.

La muestra consistió en 23 fincas lecheras, seleccionadas con un método probabilístico aleatorio simple, calculada con la siguiente ecuación (Valdivieso et al., 2011):

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 N p q}{e^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 p q}$$

Donde:

n: tamaño de muestra

Z_{α} : 1,96. Proveniente de un nivel de confianza requerido del 95%

p: Proporción de unidades muestrales que poseen la característica de estudio = 0,5

q: Proporción de unidades muestrales que no poseen la característica de estudio = 0,5

e: Error muestreo de 0,2

Variables para el análisis de las unidades productivas

Para cada una de las 23 unidades productivas muestreadas, se determinaron las siguientes cuatro variables:

I. Agua utilizada para lavado de excretas (litros de agua por día):

Para realizar la cuantificación de los volúmenes de agua se utilizaron dos metodologías, dependiendo del mecanismo de uso de agua empleado.

Para las fincas que utilizaban la manguera como instrumento de transporte de agua, hasta el sitio de limpieza, se procedió a medir la duración de los tiempos de lavado, desde la apertura de llaves, hasta el cierre de estas. La duración de llaves abiertas se multiplicó por el caudal disponible de agua en la salida de la manguera. Dicho caudal se determinó llenando un recipiente de volumen conocido, en un tiempo determinado.

Para los sistemas que utilizaban baldes, como instrumento para acarreo de agua hasta el sitio de limpieza, se midió la diferencia de volúmenes del reservorio principal, antes y después de la extracción del agua.

II. Superficie de piso cementado con exposición de excreta bovina (m²):

En los sistemas lecheros visitados, se encontró dos tipos de superficie con exposición de excretas:

Piso de cama seca: el cual refiere a un sistema originalmente en tierra, recubierto con algún sustrato seco, que permita absorber la humedad de las excreciones y mantener un ambiente confortable para el animal. Conlleva una serie de procesos manuales y mecánicos para mantener bajas las cargas de patógenos. La principal característica de un sistema con piso de cama seca, es que no se utiliza agua para procesos de limpieza, generando un ahorro total del recurso hídrico para este fin. Por tal motivo dichas áreas no son contempladas en el presente estudio.

Piso cementado: Los sistemas que poseen pisos cementados, permiten la inclusión de agua para lavado de excretas como principal método de limpieza.

Sin embargo, los procesos que se ejecutan en estas labores varían sustancialmente entre fincas, ya que algunas utilizan instrumentos de recolección de excretas previo al lavado, otras incluyen en las salidas de manguera reductores de caudales, otras utilizan bomba de aumento de presión de agua para lavado, algunas no poseen ningún mecanismo alterno más que usar la presión de agua como acarreo de sólidos.

Para determinar el área de superficie cementada, expuesta a las excreciones bovinas y que son removidas con el uso de agua, se procedió a utilizar una cinta métrica y a realizar cálculos manuales de área.

III. Cantidad de animales presentes en las instalaciones:

Para cada finca se realizó un levantamiento del inventario de animales, el tiempo que permanecen los animales en las instalaciones y se estimó el peso vivo mediante el uso de una cinta bovinométrica para razas lecheras que correlaciona el perímetro torácico con el peso vivo del animal.

IV. Excreción generada del hato en instalaciones (kilogramos por día):

A partir de la cantidad de animales presentes, el peso vivo y la duración de estancia en las instalaciones; se determinó la cantidad de excretas producidas de acuerdo con la siguiente ecuación propuesta por el SENASA (Decreto 37017, 2012):

$$\text{Excretas generadas (kg)} = N * PV * 8\% * \left(\frac{P}{24}\right)$$

Donde:

N = número de animales que se encuentran en instalaciones parcial o permanentemente

PV = estimación del peso vivo promedio del hato (kg)

8 % = porcentaje del peso vivo, relacionado a la excreción diaria de un vacuno

P = Permanencia en las instalaciones (Horas)

Indicadores propuestos

Para las cuatro variables obtenidas en cada finca, se agruparon y se comprobó la normalidad de los datos mediante la prueba de ajuste de bondad, mientras que la homocedasticidad de las varianzas se determinó por el método Bartlett (Correa et al., 2006).

A partir de las cuatro variables, se generaron tres indicadores de eficiencia del uso de agua para lavado de instalaciones:

1. Relación volumen de agua utilizada respecto a la excreción generada en las instalaciones (litros de agua por kilogramo de excreta).
2. Relación volumen de agua utilizada respecto a los animales generadores (litros de agua por animal).
3. Relación volumen de agua utilizada respecto a área de exposición de excretas (litros de agua por metro cuadrado).

También se realizó una agrupación de las fincas de acuerdo con:

- A. Mecanismo utilizado en el transporte del agua hasta el sitio de limpieza: uso exclusivo de manguera y mixto: manguera y baldes para acarreo de agua.
- B. Procesos de remoción de sólidos previo al uso de agua para lavado: remueve, no remueve.

A partir de dichos agrupamientos, se realizó una comparación de medianas, de los tres indicadores de eficiencia de uso de agua, con la prueba de Kruskal-Wallis, para un nivel de significancia de $\alpha \leq 0,05$.

RESULTADOS

El promedio y la desviación estándar para el agua de lavado, la superficie de piso expuesto, la excreción en instalaciones y los animales presentes en las 23 explotaciones estudiadas se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Cantidad de agua, área de superficie de piso expuesta a la excreción, cuantificación de excretas generadas y cantidad de animales que conformaron el hato en las instalaciones para 23 fincas analizadas. Zarcero-Costa Rica, 2018.

Variables	Promedio \pm DE	Mínimo	Mediana	Máximo
Agua para lavado (l.día ⁻¹)	2560 \pm 1608	597	2456	7150
Superficie de piso expuesto (m ²)	163 \pm 81	56	156	424
Excreción en instalaciones (kg.día ⁻¹)	258 \pm 215	60	207	966
Animales presentes	38 \pm 19	20	33	100

DE: Desviación estándar

Una finca lechera promedio de la zona de Zarcero, utiliza a diario 2560 litros de agua para lavado de excretas, generadas en 163 m² de piso de concreto, con una excreción diaria en instalaciones de 258 kg, generados por 38 animales presentes.

El comportamiento de la mediana y el comportamiento del promedio obtenido son diferentes, para las cuatro variables establecidas, siendo la mediana inferior al promedio.

El análisis estadístico descriptivo, permite comprender la magnitud de las variables, sin embargo, para establecer criterios de eficiencia en cuanto al uso del recurso hídrico, se debe analizar los tres indicadores propuestos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Indicadores de eficiencia del uso diario de agua para lavado de instalaciones lecheras, de acuerdo con la excreción generada en las instalaciones, a los animales generadores y al área de exposición de excretas, para las 23 fincas analizadas. Zarcero-Costa Rica, 2018.

Indicadores	Mínimo	Mediana	Máximo
Agua utilizada por excreta generada (l.kg ⁻¹)	2,7	9,9	27,0
Agua utilizada por animal (l.animal ⁻¹)	23,0	58,5	149,5
Agua utilizada por área (l.m ⁻²)	4,7	15,5	40,6

Al menos el 50% de las fincas lecheras, destinan 9,9 litros de agua para lavado de 1,0 kg de excreta bovina. La finca que menos recurso hídrico utiliza según este indicador emplea 2,7 litros, mientras que la finca que más requiere de agua utiliza 27,0 litros por 1,0 kg de excreta.

Desde otra perspectiva, de acuerdo con la cantidad de animales presentes; 58,5 litros de agua es gastado por animal en el 50% de fincas. Así mismo, la finca que más

economiza el recurso utiliza 23,0 litros, en cambio la que más utiliza agua por animal, requiere de 149,5 litros de agua.

Con respecto al agua utilizada para lavar 1,0 m² de piso cementado, con exposición de excretas, el 50% de las fincas emplean 15,5 litros, con un mínimo de uso de 4,7 litros y un máximo de 40,6 litros.

Para realizar un análisis más detallado, se procedió a agrupar las fincas, de acuerdo al mecanismo de transporte de agua utilizado y si ejecutan procesos previos de remoción de excretas, ya que ambos factores se consideran como influyentes en la determinación del volumen de agua para procesos de lavado, con la distribución correspondiente de cada una de las fincas, que se agruparon en aquellas con uso exclusivo de manguera y sin remoción previa de excretas (MSR=13), aquellas con uso mixto entre manguera y baldes, con remoción previa de excretas (MBCR=5), las que hacían uso exclusivo de manguera con remoción previa de excretas (MCR=4) y las que hacían uso mixto entre manguera y baldes, sin remoción previa de excretas (MBSR=1).

De las 23 unidades productivas muestreadas, 17 fincas (74%) utilizan exclusivamente la manguera, como mecanismo de transporte de agua hasta el sitio de lavado de excretas, las otras seis fincas (26%) realizaban procesos mixtos, entre el uso de manguera y el uso de baldes como instrumento de acarreo.

Además, 14 fincas (61%) no realizaban procesos de remoción de excretas sólidas, previo al uso de agua para lavado; mientras que nueve fincas (39%) empleaban metodologías como el uso de paletas, palas y carretillos, con el fin de disminuir la cantidad de sólidos a lavar.

Una de las explotaciones no hacía remoción previa de las excretas y utilizaba un sistema mixto de transporte de agua, por lo que esta agrupación se eliminó de la evaluación de los indicadores que a continuación se detallan.

Para las tres agrupaciones mencionadas anteriormente, se determinaron los tres indicadores de eficiencia en el uso de agua para lavado de instalaciones (Cuadro 4).

Cuadro 4. Indicadores de eficiencia del uso diario de agua para lavado de instalaciones lecheras, de acuerdo con la excreción generada, a los animales generadores y al área de exposición de excretas, de los tres subgrupos conformados por transporte de agua utilizado y por remoción de excretas previo al lavado. Zarcero-Costa Rica, 2018.

	Subgrupo (Fincas)		
	MSR (13)	MBCR (5)	MCR (4)
Agua utilizada por excreta generada (l.kg ⁻¹)	10,5±5,9	9,0±10,2	6,7±8,0
Agua utilizada por animal (l.animal ⁻¹)	82,8±43,7	47,5±39,9	45,5±24,0
Agua utilizada por área (l.m ⁻²)	18,0±10,6	9,9±3,5	14,8±7,3

MSR: Uso exclusivo de manguera sin remoción previa de excretas. MBCR: Uso mixto entre manguera y baldes con remoción previa de excretas. MCR: Uso exclusivo de manguera con remoción previa de excretas. Nota: Valores promedio ± Desviación Estándar.

No se encontraron diferencias significativas (P>0,05) entre los diferentes subgrupos establecidos. El volumen de agua por kilogramo de excreta generado osciló entre 6,7 y

10,5; el agua utilizada por animal varió entre 45,5 y 82,8 litros, mientras que el volumen de agua utilizada por área varió de 9,9 a 18,0 litros por metro cuadrado.

DISCUSIÓN

Poder generar información sobre el consumo de agua para lavado de excretas en instalaciones lecheras, permite dimensionar parcialmente la demanda del recurso hídrico en esta actividad, especialmente al considerar que existen preocupaciones concernientes al cambio climático, la escasez global de agua y el reto de llenar los requerimientos dietéticos de una creciente población mundial que están haciendo que muchas personas se cuestionen la sostenibilidad de los sistemas actuales de producción de alimentos, especialmente el papel de productos cárnicos y lácteos (Steinfeld et al., 2006; Baroni et al., 2007; Marlow et al., 2009).

Esto está creando una demanda por indicadores basados en ciclos de vida que puedan soportar patrones sostenibles de producción (Munasinghe, 2010). El ejemplo más conocido es la huella de carbono, que se ha popularizado en diversos negocios y se convertirá en una herramienta de venta en muchos mercados.

Paralelo a la huella de carbono, el interés en la huella hídrica también se ha venido desarrollando en los últimos años debido a la creciente preocupación de que el agua fresca se ha convertido en un bien escaso que se ha sobreexplotado en muchas partes del mundo, amenazando con cambios irreversibles al ambiente e impactos negativos en el bienestar de la humanidad (Rockström et al., 2009; Ridoutt and Pfister, 2010).

Algunas encuestas públicas indican que el agua tiene una prioridad global superior al cambio climático (Circle of Blue and Globescan, 2009) y por lo tanto existe un claro reconocimiento de que los efectos de los sistemas de producción y los patrones de consumo sobre los recursos acuáticos deben disminuir en intensidad.

La producción pecuaria consume aproximadamente un tercio de la huella de agua de la actividad humana (Mekonnen and Hoekstra, 2012) y 98% de la huella hídrica para producción animal es el agua requerida para producir su alimento (Shiklomanov, 2000).

Es claro que los diversos sistemas de producción pecuaria difieren en la cantidad de agua utilizada por animal y en la manera de satisfacer tal necesidad. En Nueva Zelanda, por ejemplo, se han reportado consumos que oscilan entre 345 y 1084 litros de agua por kilogramo de leche corregida por grasa y proteína (Zonderland-Thomassen y Ledgard, 2012).

También en Irlanda, se realizó un estudio de huella hídrica en 24 fincas lecheras que en promedio consumieron 690 litros de agua por kilogramo de leche corregida por grasa y proteína, oscilando entre 534 y 1107 litros (Murphy et al., 2017). Estos últimos autores cuantificaron que el agua requerida para la producción de forraje contribuyó al 85% de la huella hídrica, 10% para la producción de forraje importado (heno y ensilado), 4% para la producción de concentrado y 1% para uso de agua en la explotación.

Para conocimiento del autor, no hay estudios en nuestro país que hayan cuantificado la huella hídrica en los sistemas productivos de leche; sin embargo, para el presente estudio se consideró de gran importancia poder generar información que pueda documentar parte del uso del recurso hídrico en sistemas ganaderos de leche en la zona de Zarcero de nuestro país, considerando solamente el uso de agua de lavado de las instalaciones.

Los rangos obtenidos de los consumos de agua para lavado (597 a 7150 l.d⁻¹), de la superficie de piso expuesto (56 a 424 m²), de la excreción en instalaciones (60 a 966 kg.d⁻¹) y de los animales presentes (20 a 100), evidencian la alta variabilidad encontrada en los sistemas lecheros en la zona de estudio. Esta alta variabilidad no se

aleja de otras investigaciones encontradas en la literatura; así, por ejemplo, Sweeten y Wolfe (1994), evaluaron once fincas lecheras en Texas-Estados Unidos, con manejos diferentes de excretas en instalaciones y una cantidad de vacas en ordeño que osciló entre 150 y 1300.

Respecto a la cantidad de agua diaria por animal, en el presente estudio se obtuvo un rango de 23,0 a 149,5 l.animal⁻¹.d⁻¹ con un promedio de 58,5 l.animal⁻¹.d⁻¹. Iramain et al. (2001) en Argentina reportaron valores entre 18 y 23 l.animal⁻¹.d⁻¹, González et al. (2008) en Uruguay obtuvo valores por animal entre 25 y 100 l.d⁻¹, Dairy Co (2009) entre 5 a 50 l.d⁻¹ para Reino Unido, mientras que en Estados Unidos Sweeten y Wolfe (1994) reportaron un promedio de volumen de uso de agua de 149,9 l.animal⁻¹.d⁻¹ para un rango que osciló entre 47 y 259 l.animal⁻¹.d⁻¹.

Para Costa Rica, la recomendación de la dotación de agua promovida por el Estado, a través del SENARA (2004), plantea que se debe utilizar un máximo de consumo de agua por animal de 130 l.d⁻¹, por lo que el 85% de las fincas evaluadas cumplen con esta recomendación. Sin embargo, dicho planteamiento técnico de uso de agua no especifica el estado fisiológico del animal, lo cual puede traer gran confusión para los productores o técnicos.

Así mismo, la recomendación anterior, asume un comportamiento lineal de dicho indicador, omitiendo variaciones por escalas de producción u otras variables influyentes en los procesos de lavado excretas en instalaciones lecheras.

Con respecto a la cantidad de agua utilizada por kilogramo de excreta generada, el presente estudio reporta valores con una alta variabilidad similar a los encontrados en la literatura. Dumont (2006) y Paniagua-Madrigal (2006), mencionan valores de 4,7 y 2,8 l.kg⁻¹, respectivamente. Sin embargo, el valor de 2,8 l.kg⁻¹ de excreta, se obtuvo luego de implementar prácticas eficientes de consumo de agua, para favorecer el ahorro del recurso, ya que inicialmente el valor reportado fue de 26 l.kg⁻¹ de excreta.

Hay que tener presente que el Decreto 37017 (2012) establecido por el Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA) de Costa Rica, recomienda la utilización de 4 l.kg⁻¹ de excreta, y tomando de referencia los datos obtenidos en el presente estudio, sólo 8% de las fincas cumplen con esta condición del Decreto, con un rango de 2,7 a 29,0 l.kg⁻¹ y una mediana de 9,9 l.kg⁻¹.

Para la cantidad de agua utilizada por área, Iramain et al. (2001) reportaron valores entre 22 y 40 l.m⁻², datos muy similares a los encontrados en el presente estudio (4,7-40,6 l.m⁻²).

Cuando se agruparon las fincas de acuerdo con el mecanismo de transporte de agua utilizado y si ejecutan procesos previos de remoción de excretas, en aquellas con uso exclusivo de manguera y sin remoción previa de excretas (MSR), aquellas con uso mixto entre manguera y baldes, con remoción previa de excretas (MBCR) y las que hacían uso exclusivo de manguera con remoción previa de excretas (MCR), no se encontraron diferencias entre ellas, debido a la gran variabilidad existente.

Sin embargo, es claro deducir que en cualquier explotación se utilizará un mayor volumen de agua por kilogramo de excreta generado, por animal y por área cuando no hay remoción previa de excretas. Así, por ejemplo, cuando existe remoción previa de excretas, González et al. (2008) encontraron valores de 3 l.m⁻² y cuando utilizaron agua a presión o métodos de inundación, el valor se duplicó a 6 l.m⁻².

De manera general, los indicadores muestran rangos amplios de uso de agua para lavado de instalaciones lecheras. González et al. (2008) mencionan que para lecherías pequeñas (menos de 130 animales), el uso de agua es ineficiente y mejora conforme crece el tamaño de producción.

Hay que tener presente que son muchos los factores que tienen influencia directa sobre la eficiencia del uso de agua para lavado de excretas que dependen de las características propias de cada explotación lechera, condiciones climáticas, grado de intensificación, entre otras (Mekonnen y Hoekstra, 2012). Sin embargo, factores referentes al mecanismo de transporte de agua empleado y la remoción previa de excretas, son factores también importantes en la gestión del agua.

Tener conocimiento al menos parcial de la huella hídrica en los sistemas de producción de leche tiene una serie de implicaciones sociales, económicas y ambientales que tienen que ver con oportunidades de mejora en su uso y eficiencia, especialmente en lugares de escasez, lo que a su vez debe permitir el desarrollo de estrategias para planificar mejor el uso de la tierra tanto a nivel de finca como a nivel regional.

Otro aspecto de suma importancia es que al tener indicadores de este tipo, puede constituirse en una estrategia de mercadeo al igual que en una herramienta para canalizar fondos públicos o privados para la actividad, especialmente al considerar que un manejo inapropiado del recurso hídrico puede conllevar a una mala imagen del sector, puede incrementar las regulaciones estatales, tener consecuencias económicas debido a la contaminación y por supuesto una mala imagen por parte del consumidor final. Por lo tanto, debe existir una conciencia para el uso sostenible y conservación de este líquido vital.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradezco al acompañamiento de mi director de tesis Jorge Elizondo Salazar, ya que fue un orientador dentro del todo el proceso del proyecto final.

A Zaidett Barrientos Llosa, por sus observaciones y recomendaciones que me forjaron para ser un mejor estudiante dentro de la Maestría de Manejo de Recursos Naturales con énfasis en Gestión Ambiental.

Para mis lectores del trabajo final, Javier Rodríguez Yáñez y Jesús González Vindas que me brindaron su colaboración incondicional.

Para aquellos productores de leche que me facilitaron la información correspondiente, del día a día de sus labores en el sector primario, con el fin de poder generar un aporte a la sociedad y al ambiente.

Y por último, y no menos importante, a mi familia que ha sido mi apoyo y mi motivación para culminar un gran proceso de aprendizaje.

REFERENCIAS

- Baroni, L; Cenci, L; Tettamanti, M; Berati, M. 2007. Evaluating the environmental impact of various dietary patterns combined with different food production systems. *Eur. J. Clin. Nutr.* 61: 279-286.
- CEPAL. 2005. Los recursos hídricos y la agricultura en el Istmo Centroamericano. Mexico DF. Mexico: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Circle of Blue and Globescan. 2009. Water Issues Research. Consultado 01 Oct. 2019. Disponible en http://www.circleofblue.org/waternews/wpcontent/uploads/2009/08/circle_of_blue_globescan.pdf
- Correa, J.C; Iral, R; Rojas, L. 2006. Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista Colombiana de Estadística.* 29(1): 57-76.
- Dairy Co. 2009. Effective use of water on dairy farms . Warwickshire, United Kindom: Dairy Co. Consultado 01 Oct. 2019. Disponible en <https://www.consorcirolechero.cl/chile/documentos/documentos-interes/24junio/effective-use-of-water-on-dairy-farms.pdf>
- Decreto Ejecutivo 33601-MINAE-S. 2007. Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales. *La Gaceta* No 55, del 19 de marzo del 2007. San José, Costa Rica.
- Decreto Ejecutivo 37107. 2012. Autoriza el uso de purines del ganado bovino como mejorador de las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo. *La Gaceta* No 48, del 07 de marzo del 2012. San José, Costa Rica.
- Decreto Ejecutivo 34859-MAG. 2008. Reglamento general para el otorgamiento del certificado veterinario de operación (CVO). *La Gaceta* No 230, del 27 de noviembre del 2008. San José, Costa Rica.
- Dumont, JC. 2006. Manual de producción de leche para pequeños y medianos productores: Manejo de purines e infraestructura para lechería. Instituto de Investigaciones Agropecuarias - Centro Regional de Investigación Remehue. *Boletín INIA.* 148: 137-146.
- Food and Agriculture Organization. 2009. *Global Agriculture Towards 2050.* A. D. E. Division, ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Gerbens-Leenes, PW; Mekonnen, M.M; Hoekstra, AY. 2013. The water footprint of poultry, pork and beef: a comparative study in different countries and production systems. *Water Resour. Ind.* 1-2: 25-36.
- González, AE; Rezzano, N; Indarte, E. 2008. Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros. Diseño, operación y mantenimiento de sistemas de tratamientos de efluentes. Convenio: MVOTMA, DINAMA, CONAPROLE. Montevideo, Uruguay.
- Hoekstra, AY. 2010. The water footprint of animal products. In: *The meat crisis: Developing more sustainable production and consumption.* D'Silva, J; Webster, J (Editors). Earthscan, London, UK.

- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. 2016. Política nacional de agua potable de Costa Rica 2017 - 2030. San José, Costa Rica: Comisión Interinstitucional AyA.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales. San José, Costa Rica.
- Iramain, MS; Nosetti, MA; Herrero, M; May, M; Flores, M; Carbó, L. 2001. Evaluación del uso y manejo del agua en establecimientos lecheros. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Veterinarias. Buenos Aires, Argentina. Consultado 01 Oct. 2019. Disponible en <https://www.bvsde.paho.org/bvsacd/encuen/leche.pdf>
- Marlow, HJ; Hayes, WK; Soret, S; Carter, RL; Schwab, ER; Sabaté, J. 2009. Diet and environment: does what you eat matter? *Am. J. Clin. Nutr.* 89(Suppl.): 1699S-1703S.
- Mekonnen, MF; Hoekstra, AY. 2012. A global assessment of the water footprint of farm animal product. *Ecosystems.* 15: 401-415.
- Munasinghe, M. 2010. Can sustainable consumers and producers save the planet? *J. Ind. Ecol.* 14: 4-6.
- Murphy, E; de Boer, IJM; vanMiddelaaar, CE; Holden, NM; Shalloo, L; Curran, TP; Upton, J. 2017. Water footprinting of dairy farming in Ireland. *J. Clean. Prod.* 140: 547-555.
- Paniagua-Madrigal, W. 2006. Limpieza de la sala para ordeño y corrales de espera en lecherías, con uso racional del agua. *Tecnología en Marcha.* 19(2): 53-58.
- Ridoutt, BG; Pfister, S. 2010. Reducing humanity's water footprint. *Environ. Sci. Technol.* 44: 6019-6021.
- Rockström, J; Steffen, W; Noone, K; Persson, A; Chapin, FS; Lambin, EF; Lenton, TM; Scheffer, M; Folke, C; Schellnhuber, HJ; Nykvist, B; de Wit, CA; Hughes, T; van der Leeuw, S; Rodhe, H; Sörlin, S; Snyder, PK; Costanza, R; Svedin, U; Falkenmark, M; Karlberg, L; Corell, RW; Fabry, VJ; Hansen, J; Walker, B; Liverman, D; Richardson, K; Cruzen, P; Foley, JA. 2009. A safe operating space for humanity. *Nature.* 461: 472-475.
- SENARA (Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento). 2004. Dotaciones agua para calcular las necesidades de las solicitudes de concesión de aprovechamiento de aguas. San José, Costa Rica: La Gaceta No 98, del 20 de mayo del 2004. San José, Costa Rica.
- Shiklomanov, IA. 2000. Appraisal and assessment of world water resources. *Water Int.* 25: 11-32.
- Solano, J; Villalobos, R. 1999. Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica. Gestión de desarrollo. San José, Costa Rica: Instituto Meteorológico Nacional.
- Steinfeld, H; Gerber, P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, R; de Haan, C. 2006. *Livestock's long shadow: Environmental issues and options.* FAO, Rome, Italy.
- Sweeten, JM; Wolfe, ML. 1994. Manure and wastewater management systems for open lot dairy operations. *American Society of Agriculture Engineers.* 37(4): 1145-1154.

- UNESCO. 2003. Water for people, water for live. Executive Summary of the UN World Water Development Report. Francia: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- United Nations. 2015. World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, United Nations, New York, NY.
- Valdivieso Taborga, CE; Valdivieso Castellón, R; Valdivieso Taborga, O. 2011. Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisión. Investigación y Desarrollo. 11: 148-176.
- World Water Assessment Programme. 2009. The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World. UNESCO, Paris, France; Earthscan, London, UK.
- Zonderland-Thomassen, MA; Ledgard, SF. 2012. Water footprinting - a comparison of methods using New Zealand dairy farming as a case study. Agric. Syst. 110: 30-40.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La ganadería de leche es un usuario importante del agua y tiene grandes efectos sobre el recurso hídrico, tanto en términos de consumo como de degradación, por lo que se necesitan más herramientas como las implementadas, para identificar opciones de mitigación y conservación.

Existe una alta variabilidad en los datos recolectados, que reflejan amplios rangos de valores obtenidos para los indicadores de uso de agua, de acuerdo con la cantidad de excreta generada, a los animales presentes y al área de exposición a la deposición de excretas. Se recomienda implementar estos indicadores en otras zonas de producción de leche en Costa Rica para tener un conocimiento robusto del sector.

Las prácticas de remoción de sólidos previo a la utilización de agua, y los mecanismos de transporte hídrico hasta el sitio de limpieza, son dos variables influyentes en la cantidad de líquido utilizado, por lo que se recomienda profundizar en alternativas que generen eficiencia en el consumo del recurso hídrico.

Los resultados obtenidos evidencian información necesaria para la elaboración de propuestas de utilización del agua que sean adecuadas para el manejo en establecimientos lecheros promoviendo y fortaleciendo el desarrollo sostenible de estos sistemas de producción.

ANEXOS

ANEXO 1: Carta de autores para solicitar la revisión del artículo para su publicación.

07 de octubre del 2019

Señores:
Consejo Editorial
Revista Agronomía Costarricense
Universidad de Costa Rica

Estimados señores:

Reciban un cordial saludo y éxitos en su gestión.

Los autores del manuscrito que ha sido sometido para consideración y que se titula: **“Establecimiento de tres indicadores de eficiencia en el uso de agua para lavado en instalaciones lecheras en Zarcero, Costa Rica”**, damos fe de que la información presentada es original, no ha sido publicada en ningún otro medio y, además, no está siendo considerado para su publicación en ninguna otra revista.

Sin más nos despedimos atentamente;



MBA. Marco Vinicio Castro Calderón
Estudiante
Universidad Estatal a Distancia



Dr. Jorge Alberto Elizondo Salazar
Docente-Investigador
Universidad de Costa Rica

ANEXO 2: Correo de la recepción del artículo en la revista científica.

De: Jorge Alberto Elizondo Salazar <jorge.elizondosalazar@gmail.com>

Fecha: lunes, 7 de octubre de 2019, 07:42

Para: Revista <RAC.CIA@ucr.ac.cr>

Asunto: Manuscrito para consideración

Señora

Silvia Elena Arce Quesada

Editora

Revista Agronomía Costarricense

Estimada Silvia:

Reciba cordiales saludos y muchos deseos de éxito en su labor académica.

Adjunto el manuscrito titulado " **Establecimiento de tres indicadores de eficiencia en el uso de agua para lavado en instalaciones lecheras en Zarcero, Costa Rica**" para que por favor sea considerado para una futura publicación de tan prestigiosa revista.

Adjunto carta de originalidad.

Muchas gracias y favor acusar recibo.

Saludos,

Jorge Alberto Elizondo Salazar

Estación Experimental Alfredo Volio Mata

Facultad de Ciencias Agroalimentarias

Universidad de Costa Rica

2511-7815

----- Forwarded message -----

From: Revista Agronomía Costarricense <rac.cia@ucr.ac.cr>

Date: Wed, Oct 9, 2019 at 8:18 AM

Subject: Re: Manuscrito para consideración

To: Jorge Alberto Elizondo Salazar <jorge.elizondosalazar@gmail.com>

Buenos días don Jorge manuscrito recibido, adjunto carta de autores para revisar, llenar y firmar.

Saludos, Rosibel