

Nota técnica

ESTABLECIMIENTO DE TRES INDICADORES DE EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA PARA LAVADO EN INSTALACIONES LECHERAS EN ZARCERO, COSTA RICA*

Marco Vinicio Castro-Calderón¹, Jorge Alberto Elizondo-Salazar^{2/**}

Palabras clave: Ambiente; ganado de leche; huella hídrica; sostenibilidad; escasez de agua.

Keywords: Environment; dairy cattle; water footprint; sustainability; water scarcity.

Recibido: 07/10/2019

Aceptado: 24/04/2020

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 3 indicadores de eficiencia en el uso de agua de lavado en 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 3 indicadores, se consideraron 4 variables: 1) agua utilizada para lavado de instalaciones, estimada por duración del tiempo de lavado y el caudal utilizado, 2) superficie de piso expuesto a la excreción, mediante la determinación de las áreas de piso cementado con presencia animal, 3) animales presentes, y 4) excretas generadas en las

ABSTRACT

Establishing of three cleaning water efficiency indicators used in 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. **Objective.** To establish 3 efficiency indicators in the use of water for cleaning dairy facilities. **Materials and methods.** The study was carried out during the second semester of 2018, in 23 dairy farms, in Zarcero, Costa Rica. For the 3 indicators, 4 variables were considered: 1) water consumption for cleaning facilities estimated by duration of wash time and flow rate used, 2) floor area exposed to excretion, by determining the areas of cemented floor with animal presence, 3) animals present,

* Este trabajo formó parte del proyecto de investigación 737-B5-188 inscrito en la Vicerrectoría de Investigación. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

** Autor para correspondencia. Correo electrónico: jorge.elizondosalazar@ucr.ac.cr

1 Universidad Estatal a Distancia, Programa de Maestría Académica en Manejo de Recursos Naturales con énfasis en Gestión Ambiental, San José, Costa Rica.

 0000-0003-2308-7789.

2 Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Estación Experimental Alfredo Volio Mata, Costa Rica.

 0000-0003-2603-9635.

instalaciones, a partir de la estimación del peso vivo de los animales presentes. Se establecieron 3 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.

and 4) excreta generated in the facilities, from the estimation of live weight of animals present. 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 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; and for the third indicator, water used for exposed area ranged between 4.7 and 40.6 liters per square meter. **Conclusion.** There is a high 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 para uso doméstico y para la agricultura, especialmente cuando se considera que esta actividad es 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 con la demanda para uso agrícola, se espera que crezca para suplir el 70% de incremento en la necesidad de producción de

alimentos para 9,7 billones de personas que se ha estimado para el 2050 (Food and Agriculture Organization 2009, United Nations 2015). De esta manera, es de vital importancia buscar métodos para incrementar la eficiencia de su uso y que se establezcan normativas más específicas con respecto a su utilización.

Algunas evaluaciones 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 situación ha promovido la necesidad de generar indicadores sustentados en ciclos de vida del recurso que apoyen patrones sostenibles

de producción (Munasinghe 2010), tal como lo expone Antequera y Gonzalez (2005), ya que esa información permitirá el análisis de variables de un sistema que otorgue datos sobre las tendencias a través del tiempo.

Como ejemplo más conocido aparece la huella de carbono, que se ha popularizado en diversos negocios y se convertirá en una herramienta de venta en muchos mercados; paralelamente se encuentra el interés desarrollado por la huella hídrica debido a la creciente preocupación de que el agua fresca se ha convertido en un bien escaso y sobreexplotado en muchas partes del mundo, con la amenaza de cambios irreversibles al ambiente e impactos negativos en el bienestar de la humanidad (Rockström *et al.* 2009, Ridoutt y Pfister 2010).

Es así como la comprensión de la eficiencia en el uso de agua desde una perspectiva de transformación de insumo-producto, resulta indispensable para lograr comparaciones de los consumos de agua en un mismo sector productivo (Currie 2002, Salazar *et al.* 2014, Sánchez *et al.* 2006).

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

Ríos *et al.* (2015) plantean la necesidad de conocer claramente los procesos y las cantidades de agua empleados en cada una de las funciones que se realizan en las lecherías, desde el uso de agua para la producción de forrajes, hasta el uso de agua destinado para lavado de instalaciones.

Generar información sobre el consumo de agua para lavado de excretas en instalaciones lecheras, permitiría dimensionar parcialmente la demanda del recurso hídrico en esta actividad. Esto 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 ha provocado el cuestionamiento de la sostenibilidad de los sistemas actuales de producción de alimentos, en especial el de productos cárnicos y lácteos (Steinfeld *et al.* 2006, Baroni *et al.* 2007, Marlow *et al.* 2009).

En Costa Rica las actividades agropecuarias consumen el 21% del agua disponible (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados 2016) y los sistemas lecheros participan activamente del consumo del recurso hídrico, a partir de 1) agua para consumo de los animales, 2) para uso en la sala de ordeño, 3) instalaciones para riego. Uno de los rubros que conlleva mayor consumo es la limpieza de las instalaciones del piso y corrales, con el agravante de que no es agua reutilizada, ya que generalmente proviene directamente de fuentes naturales.

A pesar de lo anterior, las discusiones con respecto al uso de agua para lavado de excretas, en instalaciones lecheras en Costa Rica, se centran en el manejo y disposición final de los purines o aguas verdes, con su respectivo potencial de contaminación (Decreto Ejecutivo 33601 MINAE-S, 2007, Decreto 37017, 2012), por lo que se dejan 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 a partir de la dotación diaria de agua por animal que se ha establecido en 130 l por animal (SENARA 2004) y por medio de la relación agua/excreta que debe ser como máximo de 4:1 (Decreto 37017 2012). Esos lineamientos no toman en consideración aspectos como el área de deposición de las excretas ni las escalas de producción, 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, bajo los diferentes modelos de producción lechera, que permitan establecer rangos óptimos de utilización. Según lo anterior, el objetivo del presente estudio fue establecer 3 indicadores de eficiencia en el uso de agua de lavado de instalaciones lecheras en la zona de Zarcero, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio. La investigación se realizó en el cantón de Zarcero, provincia de Alajuela, Costa Rica, en 23 fincas lecheras situadas entre 1300 y 2000 msnm durante el segundo semestre del 2018. Algunas de las características de las fincas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 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 hato	1551	64,6±37,1	21	175
Cantidad de colaboradores	51	2,1±1,1	1	5

DE = desviación estándar.

Estimación del tamaño de muestra. La muestra consistió de 23 fincas lecheras, seleccionadas con un método probabilístico aleatorio simple, calculado 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

Según el Censo Agropecuario en Costa Rica (INEC 2015), para el cantón de Zarcero

existe un estimado de 450 fincas lecheras, dentro de las cuales hay 84 de subsistencia (menor a 10 vacas en producción).

La población fueron los establecimientos activos dedicados a producción de leche, a excepción de las lecherías denominadas de subsistencia por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (Decreto Ejecutivo 34859-MAG 2008), ya que se consideró que podían tener metodologías de limpieza distintas al resto de lecherías del cantón.

Variables para el análisis de las unidades productivas. Para cada una de las 23 unidades productivas muestreadas, se determinaron las siguientes 4 variables:

Agua utilizada para lavado de excretas (litros de agua por día). Para realizar la cuantificación de los volúmenes de agua se utilizaron 2 metodologías, de acuerdo con el mecanismo de uso de agua empleado.

Para las fincas que utilizaban 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 las mismas. La duración de llaves abiertas se multiplicó por el caudal disponible de agua en la salida de la manguera. Dicho caudal se determinó con el llenado de 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.

Superficie de piso cementado con exposición de excreta bovina (m²). En los sistemas lecheros, se encontraron 2 tipos de superficie con exposición de excretas:

1) Piso de cama seca. Sistema originalmente en tierra, recubierto con algún sustrato seco, que permitía 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 los procesos de limpieza, aspecto que genera un ahorro total del recurso hídrico para ese fin.

2) Piso cementado. El sistema posee pisos cementados que permiten la inclusión de agua para lavado de excretas como principal método de limpieza.

Los procesos que se realizaban en estas labores varían sustancialmente entre fincas, ya que algunas utilizan instrumentos de recolección de excretas previo al lavado, otras incluían en las salidas de manguera reductores de caudales, otras utilizaban bomba de aumento de presión de agua para lavado y algunas no utilizaban ningún mecanismo alterno más que aprovechar la presión de salida de agua como acarreo de sólidos.

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

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

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):

$$N \times PV \times 8 \% \times \left(\frac{HP}{24}\right) = \text{excretas en instalaciones}$$

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 con la excreción diaria de un vacuno.

HP = horas diarias de permanencia en las instalaciones.

Las 4 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 4 variables, se generaron 3 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 los siguientes criterios:

- Mecanismo utilizado en el transporte del agua hasta el sitio de limpieza con uso

exclusivo de manguera y mixto con manguera y baldes para acarreo de agua.

- Procesos de remoción de sólidos previo al uso de agua para lavado: remueve, no remueve.

A partir de esos agrupamientos, se realizó una comparación de medianas de los 3 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 la Tabla 2.

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

DE = desviación estándar.

Se identificó que una finca de la zona de Zarcero en promedio 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, generadas por 38 animales presentes.

A partir del comportamiento de la mediana respecto al promedio obtenido para las 4

variables establecidas, el 50% de las fincas poseen valores más bajos que la media.

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

Tabla 3. Indicadores de eficiencia del uso diario de agua para lavado de instalaciones lecheras, de acuerdo con la excreción generada en las instalaciones, los animales generadores y el 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

Se encontró que 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, empleó 2,7 litros, mientras que la finca que más requirió de agua, utiliza 27 litros por 1,0 kg de excreta.

Desde otro punto de vista, se identificó que con la cantidad de animales presentes, 58,5 litros de agua son utilizados por animal en el 50% de fincas. Asimismo, la finca que más recurso ahorró, utiliza 23 litros mientras que la que más agua utilizó por animal, requiere de 149,5 litros.

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.

Al agrupar las fincas de acuerdo con el mecanismo de transporte de agua utilizado se consideró si se 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. Esto 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). También las que hicieron 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%) utilizaron exclusivamente la manguera como mecanismo de transporte de agua hasta el sitio de lavado de excretas; las otras 6 fincas (26%) realizaron procesos mixtos, entre el uso de manguera y el uso de baldes como instrumento de acarreo. Un 61% no realizaban procesos de remoción de excretas sólidas previo al uso de agua para lavado; mientras que un 39% empleaban metodologías como el uso de paletas, palas y carretillos con el fin de disminuir la cantidad de sólidos a remover.

Una de las unidades productivas, 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 3 agrupaciones mencionadas anteriormente, se determinaron los 3 indicadores de eficiencia en el uso de agua para lavado de instalaciones (Tabla 4).

Tabla 4. Indicadores de eficiencia del uso diario de agua para lavado de instalaciones lecheras, de acuerdo con la excreción generada, los animales generadores y el área de exposición de excretas, de los 3 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.

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

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). Esas últimas personas autoras, 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.

No hay estudios en Costa Rica 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 Costa Rica, y se consideró 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), evidenciaron 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 de Sweeten y Wolfe (1994), que evaluaron 11 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. Los autores 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.

En Argentina, Iramain *et al.* (2001) reportaron valores entre 18 y 23 l.animal⁻¹.d⁻¹; González *et al.* (2008) en Uruguay obtuvieron valores por animal entre 25 y 100 l.d⁻¹; Dairy Co (2009) entre 5 a 50 l.d⁻¹ para Reino Unido, en tanto que Elizondo-Salazar y Marín-Hernández (2019), en el Valle Central de Costa Rica, encontraron un valor de 104 l.animal⁻¹.d⁻¹.

La recomendación de la dotación de agua promovida por el estado a través del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA 2004), planteó que se debe

utilizar un máximo de consumo de agua por animal de 130 l.d⁻¹; sin embargo, no especifica el estado fisiológico del animal, lo cual puede generar desaciertos para las personas productoras o técnicas. Asimismo, la recomendación anterior, asume un comportamiento lineal de dicho indicador, ya que omite variaciones por escalas de producción u otras variables influyentes en los procesos de lavado de excretas en instalaciones lecheras. Con respecto a la cantidad de agua utilizada por kilogramo de excreta generada, el presente estudio reportó valores similares a los encontrados en la literatura. Dumont (2006) y Elizondo-Salazar y Marín-Hernández (2019), obtuvieron valores de 4,7 y 12,0 l.kg⁻¹, respectivamente.

Paniagua-Madrigal (2006) reportan valores de 2,8 l.kg⁻¹ de excreta, sin embargo, este dato 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 26,0 l.kg⁻¹ de excreta. Es importante tener presente que en el Decreto 37017 (2012), establecido por el SENASA de Costa Rica, se recomendó la utilización de 4,0 l.kg⁻¹ de excreta y está claro que algunas de las explotaciones evaluadas sobrepasaron dicha norma.

Para la cantidad de agua utilizada por área, Iramain *et al.* (2001) reportaron valores entre 22,0 y 40,0 l.m⁻², en tanto que Elizondo-Salazar y Marín-Hernández (2019) reportan valores de 7,3 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 con la ejecución de procesos previos de remoción de excretas, en aquellas con uso exclusivo de manguera y sin remoción previa de excretas (MSR), con uso mixto entre manguera y baldes, con remoción previa de excretas (MBCR) y las que hicieron 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 3,0 l.m⁻² y cuando utilizaron agua a presión o métodos de inundación, el valor se duplicó a 6,0 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 muchos factores 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 y 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.

Se debe enfatizar que dentro del sector agrícola, la producción animal representa cerca de un tercio del consumo de agua total (Gerbens-Leenes *et al.* 2013), en la que los productos de origen animal tienen una huella hídrica mayor que los cultivos en una base calórica o de peso (Hoekstra 2010).

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 el 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 de la persona consumidora final.

CONCLUSIONES

Las explotaciones lecheras son usuarios importantes del agua y tienen grandes efectos sobre el recurso hídrico, tanto en términos de consumo como de degradación, por lo que se necesitan de herramientas 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.

Las prácticas de remoción de sólidos, previo a la utilización de agua, y los mecanismos de transporte hídrico hasta el sitio de limpieza, son 2 variables que favorecen la disminución de líquido utilizado.

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

LITERATURA CITADA

- Antequera, J; Gonzalez, E. 2005. ¿Medir la sostenibilidad?: una aproximación al tema de los indicadores de sostenibilidad. Cátedra UNESCO en Tecnología, Desarrollo Sostenible. Desequilibrios y Cambio Global, N° 7. España. p. 133-160.
- 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, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 78 p.
- Circle of Blue and Globescan. 2009. Water Issues Research (en línea). Consultado 01 oct. 2019. Disponible en http://www.circleofblue.org/waternews/wpcontent/uploads/2009/08/circle_of_blue_globescan.pdf
- Correa, JC; Iral, R; Rojas, L. 2006. Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista Colombiana de Estadística* 29(1):57-76.
- Currie, H. 2002. Evaluación de los sistemas arroceros a través de indicadores de eficiencia. *Agrotecnia*(8):8-13.
- Dairy Co. 2009. Effective use of water on dairy farms . Warwickshire, United Kindom: Dairy Co (en línea). 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. *Diario Oficial La Gaceta* N° 55. San José, Costa Rica. 19 mar. 56 p.
- Decreto Ejecutivo 37107. 2012. Autoriza el uso de purines del ganado bovino como mejorador de las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo. *Diario Oficial La Gaceta* N° 48. San José, Costa Rica. 07 mar. 6 p.
- Decreto Ejecutivo 34859-MAG. 2008. Reglamento general para el otorgamiento del certificado veterinario de operación (CVO). *Diario Oficial La Gaceta* N° 230. San José, Costa Rica. 27 nov. 14 p.
- 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, Chile. *Boletín INIA.* 148:137-146.
- Elizondo-Salazar, JA; Marín-Hernández, DE. 2019. Uso de agua para limpieza en una lechería del Valle Central de Costa Rica. *Nutrición Animal Tropical* 13(2):43-57.
- Food and Agriculture Organization. 2009. Global Agriculture Towards 2050. ADE. Division, ed. Rome, Italy, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 4 p.
- Gerbens-Leenes, PW; Mekonnen, MM; 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. Montevideo, Uruguay, Convenio: MVOTMA, DINAMA, CONAPROLE. 232 p.
- Hoekstra, AY. 2010. The water footprint of animal products. *In* D'Silva, J; Webster, J (eds.). *The meat crisis: Developing more sustainable production and consumption.* Earthscan, London, UK. 12 p.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. 2016. Política nacional de agua potable de Costa

- Rica 2017-2030. San José, Costa Rica, Comisión Interinstitucional AyA. 84 p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales. San José, Costa Rica. 146 p.
- Iramain, MS; Nosetti, MA; Herrero, M; May, M; Flores, M; Carbó, L. 2001. Evaluación del uso y manejo del agua en establecimientos lecheros (en línea). Buenos Aires, Argentina. 11 p. 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.
- Ríos, N; Lanuza, E; Gámez, B; Montoya, A; Díaz, A; Sepúlveda, C; Ibrahim, M. 2015. Cálculo de la huella hídrica de la producción de un litro de leche en fincas ganaderas. Ponencia en: VII Congreso Latinoamericano de Sistemas Agroforestais para a Producao Pecuária Sustentável, Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). p.12.
- 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.
- Salazar, R; Rojano, A; Lorenzo, I. 2014. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del agua.* 2:177-183.
- Sánchez, I; Catalán, E; González, G; Estrada, J; García, D. 2006. Indicadores comparativos en el uso de agua en la agricultura. *Agricultura Técnica en México.* 32(3):333-340.
- 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. *Diario Oficial La Gaceta* N°. 98. San José, Costa Rica. 20 may. 20 p.
- Shiklomanov, IA. 2000. Appraisal and assessment of world water resources. *Water Int.* 25:11-32.
- Steinfeld, H; Gerber, P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, R; de Haan, C. 2006. *Livestock's long shadow: Environmental issues and options.* Rome, Italy, FAO. 416 p.
- 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. 36 p.
- 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. 66 p.
- 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. 349 p.
- 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.



