

UNIVERSIDAD NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR
ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

**Cálculo de la huella hídrica del sector ganadero bovino costarricense para el
2014 como indicador de consumo de agua**

Trabajo de graduación bajo la modalidad de artículo científico sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Gestión Ambiental.

Por:

David Esteban Chaves Núñez

Heredia, Costa Rica

Febrero, 2021

ACTA DE APROBACIÓN

Trabajo de graduación aprobado por el Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, para optar al grado de Licenciatura en Gestión Ambiental

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Fabio Chaverri Fonseca, M.Sc.

Decano a.i. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

José Félix Rojas Marín, M.Sc.

Representante Escuela Ciencias Ambientales

Manfred Murrell Blanco, M.Sc.

Tutor

Rodolfo WingChing-Jones, M.Sc.

Lector

María del Mar Solano Arce, M.Sc.

Lectora

David Chaves Núñez, Bach.

Estudiante

Cálculo de la huella hídrica del sector ganadero bovino costarricense para el 2014 como indicador de consumo de agua

Calculation of the water footprint of the Costa Rican bovine livestock sector for 2014 as an indicator of water consumption

¹David Chaves-Núñez

Resumen

[Introducción]: alrededor del mundo la actividad ganadera ha aumentado, por lo que la presión que ejerce esta actividad en el ambiente también se encuentra en crecimiento. En Costa Rica, la actividad ganadera genera empleo y ofrece oportunidades de desarrollo para el medio rural, por este motivo es una de las principales actividades socioeconómicas. No obstante, también consume gran cantidad de agua; la huella hídrica es una herramienta que se utiliza para cuantificar la cantidad de agua consumida y contaminada para producir bienes y servicios a lo largo de toda la cadena de suministro. **[Objetivo]:** se buscó calcular la huella hídrica en el sector ganadero bovino en Costa Rica, tomando como año base el 2014 para la identificación de estrategias ecoeficientes orientadas a la disminución del consumo de agua en este sector. **[Metodología]:** según Hoekstra y Chapagain (2008) la huella hídrica de la ganadería equivale al uso de los recursos hídricos en la ganadería, más las importaciones de agua virtual contenida en los productos ganaderos, menos el agua virtual exportada. Se utilizaron las 1 275 612 cabezas de ganado que se establecieron en el Censo Agropecuario de 2014 y se determinaron las dietas según el propósito productivo del hato (carne, leche o doble propósito), además, los datos de exportaciones e importaciones para ese año se obtuvieron del Ministerio de Hacienda. **[Resultados]:** para el 2014 se obtuvo una huella hídrica de $2.39 \times 10^9 \text{ m}^3$, la cual se compone en su mayoría por los recursos hídricos utilizados en la ganadería (agua de bebida, de servicios y virtual contenida en el alimento) y, en menor medida, por el agua contenida en las exportaciones e importaciones de productos ganaderos. **[Conclusiones]:** La huella hídrica como indicador de uso del agua en la ganadería bovina permite que se tenga una noción más clara de la presión que ejerce esta actividad productiva sobre este recurso natural, pero existen técnicas que se pueden implementar para hacer un uso más eficiente del agua, mejorando así la competitividad de este importante sector.

Palabras clave: agua virtual; consumo de agua, ganadería bovina; huella hídrica.

Abstract

[Introduction]: Livestock activity has increased around the world, so the pressure exerted by this activity on the environment is also growing. In Costa Rica, livestock production generates

¹ Estudiante, Lic. Ingeniería en Gestión Ambiental, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional, Costa Rica; david.chaves.nunez@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0839-138X>

employment and offers development opportunities for rural areas, for this reason it is one of the main socio-economic activities. However, it also consumes a lot of water; the water footprint is a measure used to quantify the amount of water consumed and contaminated to produce goods and services throughout the entire supply chain. **[Objective]:** It was sought to calculate the water footprint in the bovine livestock sector in Costa Rica, taking 2014 as the base year for the identification of eco-efficient strategies aimed at reducing water consumption in this sector. **[Methodology]:** According to Hoekstra and Chapagain (2008) the water footprint of livestock is equivalent to the use of water resources in livestock, plus imports of virtual water contained in livestock products, less virtual water exported. The 1 275 612 head of cattle that were established in the 2014 Agricultural Census were used and the diets were determined according to the productive purpose of the herd (meat, milk or dual purpose), in addition, the export and import data for that year were obtained from the Ministerio de Hacienda. **[Results]:** For 2014, a water footprint of $2.39 \times 10^9 \text{ m}^3$ was obtained, which is made up mostly by the water resources used in livestock (drinking, service and virtual water contained in the feed) and, to a lesser extent, due to the water contained in exports and imports of livestock products. **[Conclusions]:** The water footprint as an indicator of water use in bovine livestock allows a clearer notion of the pressure exerted by this productive activity on this natural resource, but there are techniques that can be implemented to make more efficient use of water, thus improving the eco-competitiveness of this important sector.

Keywords: bovine livestock; virtual water; water consumption; water footprint.

1. Introducción

1.1. La actividad ganadera en el ámbito mundial

Para el 2014, el 30 % de la superficie terrestre del mundo estaba ocupada por ganadería y actividades ganaderas, como los cultivos forrajeros (Mora, 2014) y para el 2016 el porcentaje de tierras agrícolas en el mundo fue de un 37.43 % (Banco Mundial, s. f.b). Esta actividad es parcialmente responsable de la crisis ambiental de la actualidad, debido al impacto significativo en el cambio climático, el suelo, el agua y en la biodiversidad (Steinfeld *et al.*, 2009). La carne y la leche de ganado vacuno emiten 3.0 y 1.6 gigatoneladas de CO₂-eq (FAO, 2018a), asimismo, la agricultura utiliza el 70 % del agua dulce disponible en el mundo, el 30 % del agua utilizada en la agricultura se dirige a la producción animal. El estiércol, la orina y las aguas servidas que se generan durante la producción pueden contener compuestos orgánicos, sustancias inorgánicas y otros elementos utilizados como aditivos en los forrajes, por lo que la infiltración de nutrientes desde fuentes concentradas de residuos ganaderos podría llegar a ser un peligro para las corrientes de agua dulce, así como para el ambiente marino y oceánico. Si estas aguas no se manejan de una manera adecuada pueden dañar los ecosistemas y las pesquerías costeras.

Las actividades ganaderas como la producción lechera o el engorde de vacas generan presiones sobre los ecosistemas ya que producen residuos biológicos y químicos, son fuentes de emisión de gases efecto invernadero, además de que en ocasiones se vierten las aguas residuales que pueden contener compuestos orgánicos como macronutrientes, residuos de medicamentos, hormonas, patógenos y metales pesados, todas estas actividades pueden llegar a afectar el medio ambiente, sin embargo, la producción ganadera es considerada una actividad fundamental para la seguridad alimentaria a nivel mundial. (FAO, 2018b) (Muñoz, 2014). Según la FAO (2010), en el mundo, el

sector pecuario contribuye con el “15 % del total de la energía alimentaria y el 25 % de las proteínas incluidas en la dieta. Los productos pecuarios aportan micronutrientes esenciales que no se obtienen fácilmente de otros productos alimentarios vegetales” (s. p.).

En el 2014, el sector agrícola representaba el 3.588 % del producto interno bruto mundial y para el 2018 aumentó a 4.003 %, acá se incluye la producción pecuaria (Banco Mundial, s. f.a) que en algún momento llegó a representar el 40 % del sector agrícola (Steinfeld *et al.*, 2009). Debido a la urbanización acelerada y el aumento de los ingresos de las personas, la alimentación ha cambiado, se espera que para el 2028 se consuman 35.1 kg de carne por persona al año (OCDE y FAO, 2019) y para el 2050, 52 kg (FAO, 2012).

La humanidad usa los recursos naturales renovables a un ritmo que supera su capacidad de regeneración (Steinfeld *et al.*, 2009), entre 1970 y 2017 la extracción mundial de materiales (metales, minerales no metálicos, combustibles fósiles, biomasa, agua y tierra) pasó de 27 mil millones a 92 mil millones de toneladas anuales. Si se continúa con las tendencias, se estima que para el 2060 se alcancen las 190 mil millones de toneladas y que el uso de los recursos per cápita pase de 11.9 a 18.5 toneladas. Es por esta razón que, si no se emprenden acciones urgentes y concertadas, el crecimiento rápido y el uso ineficiente de los recursos naturales producirá presiones insostenibles en el ambiente (Panel de Recursos Internacionales [PIR], 2019).

Desde el ámbito de la producción ganadera, se han puesto en práctica sistemas de producción sostenibles, como los silvopastoriles, que son una combinación de árboles, arbustos forrajeros y pastos con la producción ganadera en la finca (Sistemas silvopastoriles en RD). Estos contribuyen con la generación de servicios ecosistémicos como protección de fuentes de agua, protección del suelo, conservación de biodiversidad y secuestro de carbono (Villanueva, Ibrahim y Haenel, 2010). En un estudio realizado por Torres (2014), se estimaba que para el 2018, 547.7 ha distribuidas en 20 fincas ubicadas en el cantón de San Mateo en Costa Rica removieran 74 472.7 t de CO₂-eq.

Como en los sistemas silvopastoriles se utilizan árboles, estos son adecuados para llevar a cabo una producción de madera sostenible, gracias al manejo silvicultural de la regeneración natural, por lo que les permite a las fincas obtener beneficios económicos adicionales a la actividad ganadera (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [Catie], 2012). Los sistemas silvopastoriles pueden representar un sistema para absorber y capturar dióxido de carbono, este compuesto químico es considerado el más importante en términos de calentamiento global, ya que se produce gran cantidad de volumen anualmente, su permanencia en la atmósfera es prolongado y su concentración atmosférica ha incrementado lo que ocasiona que la absorción de la radiación térmica aumente, provocando así alrededor del 50 % del calentamiento global (Arciniegas-Torres y Flórez-Delgado, 2018).

La actividad ganadera se ha desarrollado alrededor del mundo, en América Latina y el Caribe cerca del 64.5 % de la población dedicada a la agricultura deriva parte de sus medios de vida de la ganadería y esta actividad está presente en el 84.5 % de la superficie dedicada a la agricultura (FAO, 2014). Costa Rica no es la excepción, en el país la actividad ganadera tiene 446 años de historia, desde que ingresaron los primeros bovinos procedentes de Honduras y Nicaragua (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2007).

1.1.1. Ganadería en Costa Rica

La actividad ganadera está distribuida en el país, genera empleo, brinda servicios ecosistémicos y

ofrece oportunidades de desarrollo para el medio rural. Además, este sector asegura el autoconsumo nacional de la carne y derivados lácteos, sin embargo, “la ganadería es responsable de cerca del 23 % de las emisiones brutas de gases de efecto invernadero del país, pero es también en las fincas ganaderas donde es esperable la mayor capacidad de secuestro de carbono” (MAG, 2015, s. p.). Las dos actividades a las que más se dedican las fincas agropecuarias son la ganadería vacuna con un 29 % y la producción de café con un 25 % del total nacional (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014). En el **Gráfico 1** se muestra la distribución del total de fincas censadas en el 2014, según la actividad principal. En el país únicamente dos cantones (Tibás y San Pablo) de los 81 que había cuando se llevó a cabo el CENSO en el 2014 no contaban con fincas ganaderas (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014) (ver **Figura 1**).

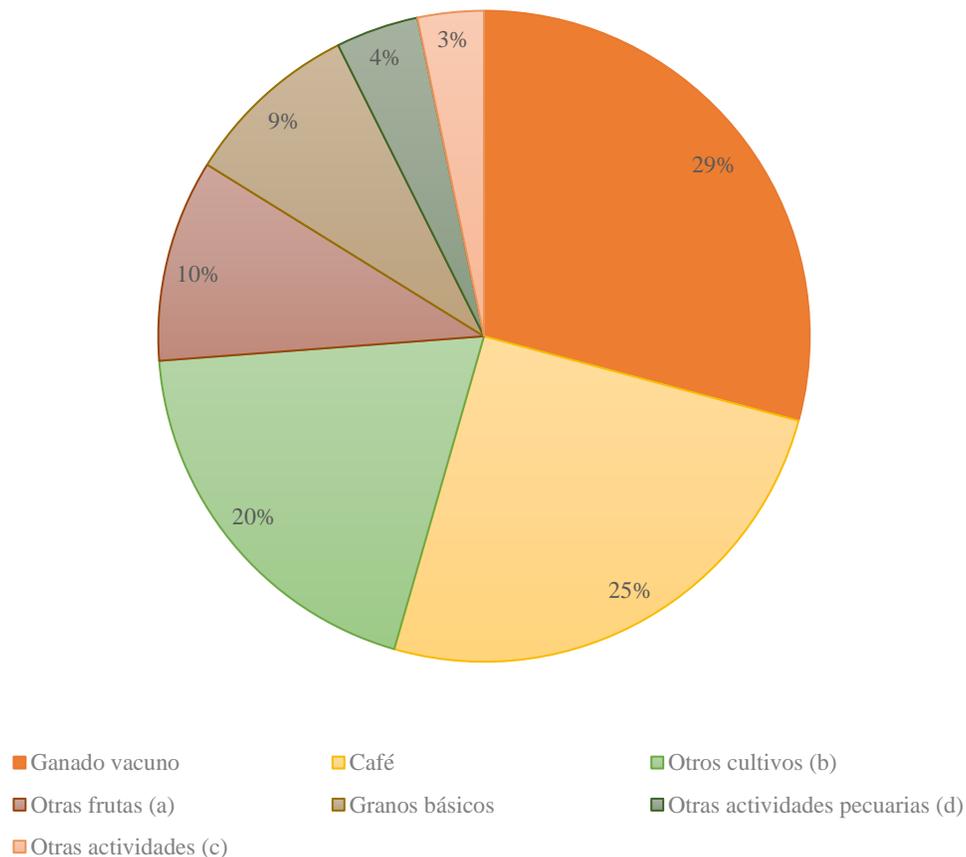


Gráfico 1. Distribución porcentual de las fincas en Costa Rica por actividad principal, 2014
Graph 1. Percentage distribution of farms in Costa Rica by main activity, 2014

(a): Incluye: naranja, piña y otras frutas.

(b): Incluye: banano, caña de azúcar, palma aceitera, hortalizas, árboles forestales, plantas ornamentales, raíces y tubérculos.

(c): Incluye: pastos y otra actividad principal agrícola.

(d): Incluye: acuicultura, avicultura, ganado porcino, apicultura, caballos, mulas, búfalos, asnos y otras especies menores como cabras y ovejas.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014.

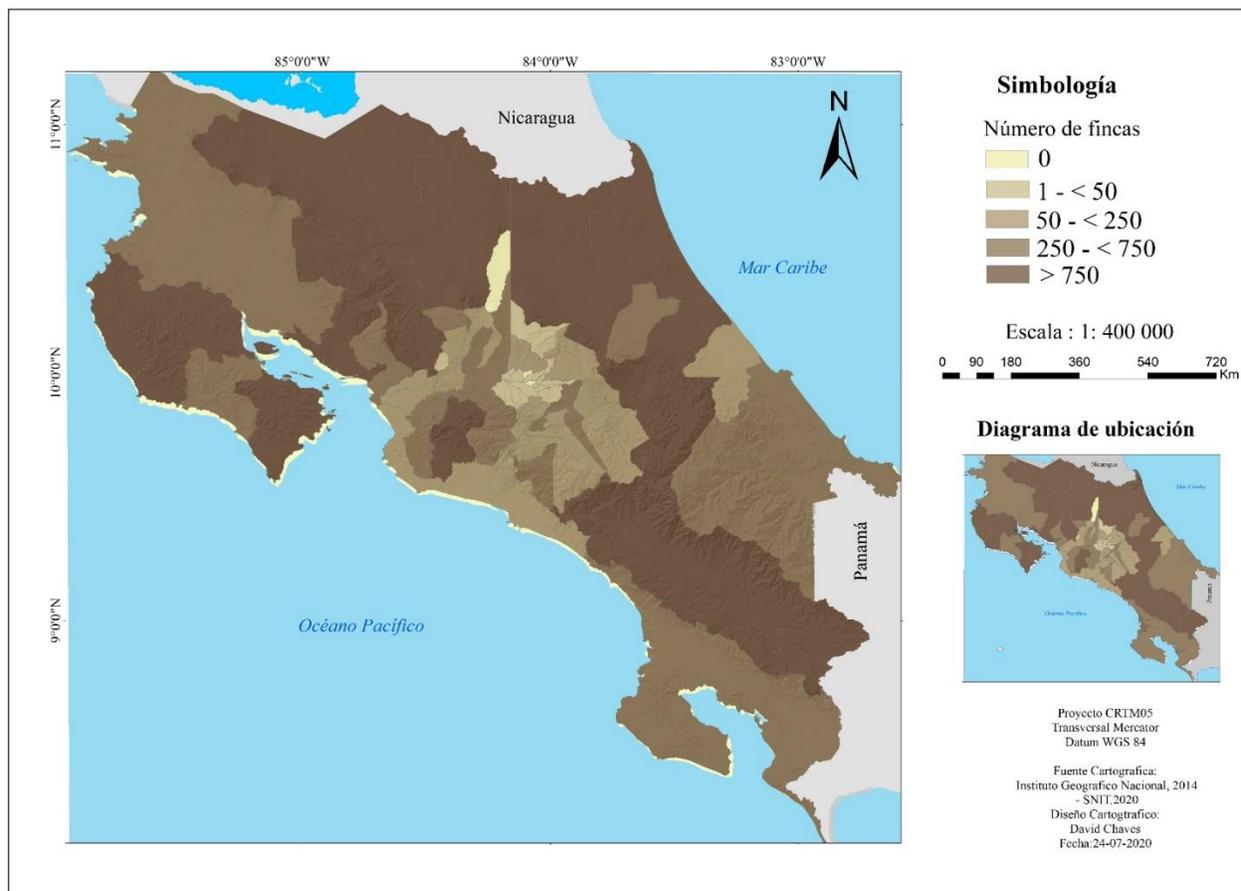


Figura 1. Distribución de la cantidad de fincas en Costa Rica que tienen la producción de ganado bovino como su actividad principal por cantón, 2014

Figure 1. Distribution of the number of farms in Costa Rica that have the production of cattle as their main activity by canton, 2014

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014.

En Costa Rica existen un total de 93 017 fincas agropecuarias, de las cuales 37 171 tienen inventario bovino, es decir, cuentan con ganado bovino y en 26 516 el ganado es la actividad económica principal (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014). Guanacaste es el lugar en el que hay más hato dedicado a la producción de carne y en Cartago es donde se presenta menos hato dedicado a la producción de carne y al doble propósito. Alajuela es la provincia con más hato dedicado a dos propósitos diferentes, a la producción de leche y al doble propósito. En el **Gráfico 2** se muestra la distribución del ganado vacuno por provincia según el propósito productivo.

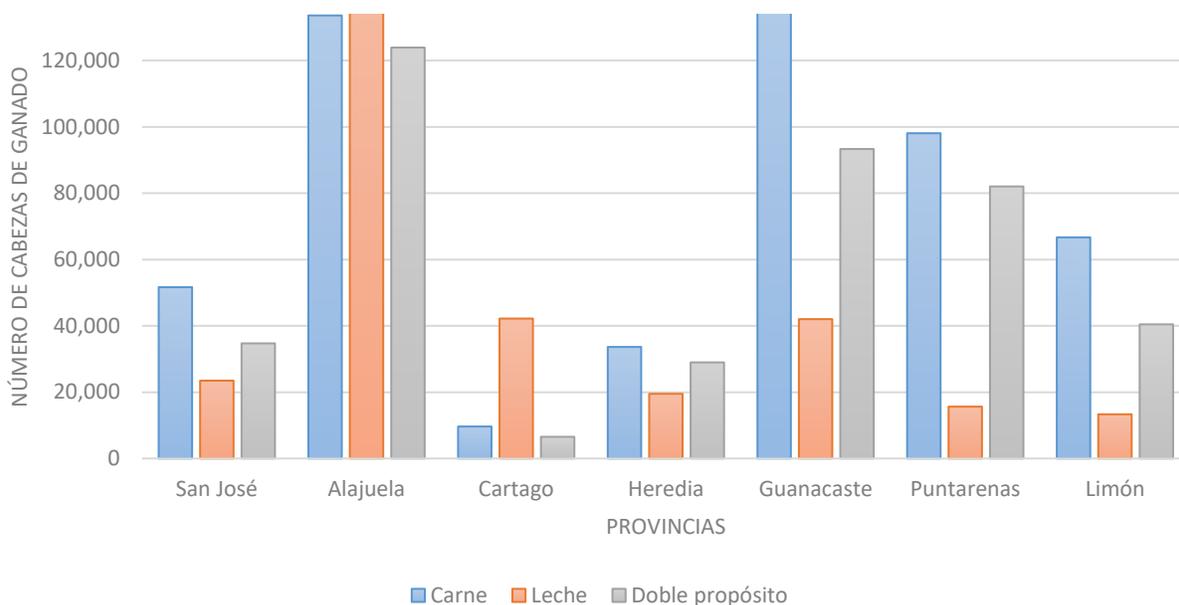


Gráfico 2. Distribución del ganado vacuno según su propósito productivo por provincia, 2014
Graph 2. Distribution of cattle according to their productive purpose by province, 2014

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014.

La ganadería también es una actividad estratégica porque es un proveedor de alimento para la población nacional, la cual consume entre el 80 % y 90 % de la producción (MAG, 2007). Como esta actividad está presente en la mayoría de los cantones (79 de los 81 en el momento de llevar a cabo el CENSO) se podría decir que Costa Rica es un país con gran tradición ganadera y que posee una sólida agroindustria, ya que es uno de los únicos tres países exportadores de lácteos en Latinoamérica. De acuerdo con el MAG (2015), aunque en el país existan gran cantidad de fincas ganaderas el 70 % de la producción lechera es procesada por la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R. L., mientras que la producción de carne bovina se concentra en cuatro grandes empresas que procesan alrededor del 80 % de los animales que se sacrifican cada año, estos se conocen como mataderos industriales, en donde la mitad de los animales sacrificados son contratos de maquila, es decir, los supermercados y las carnicerías les pagan a los mataderos para que los animales sean maquilados (MAG, 2007), entre los mataderos de Costa Rica se encuentran: Matadero del Valle, Montecillos y el Centro Internacional de Inversiones S.A (conocido como El Arreo) (Corporación Ganadera [CORFOGA], s.f.).

1.1.2. Propósito productivo del ganado bovino en Costa Rica

El Censo agropecuario del 2014 muestra que en el país el ganado bovino se utiliza para la producción de leche, de carne o de doble propósito. El sistema predominante es la producción de carne y un 42.22 % del hato nacional se dedica a esta actividad; el segundo en importancia es el doble propósito y el tercero la producción de leche, ver **Gráfico 3** (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014).

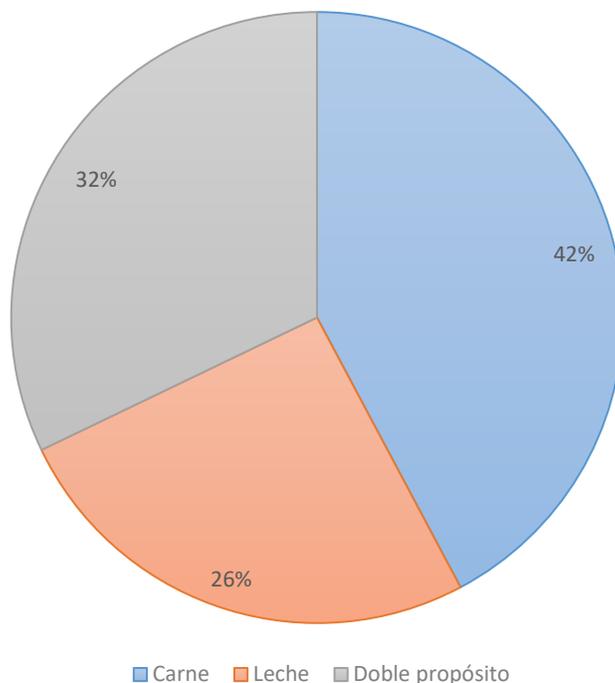


Gráfico 3. Distribución porcentual del hato bovino en Costa Rica según propósito productivo, 2014

Graph 3. Percentage distribution of the cattle herd in Costa Rica according to productive purpose, 2014

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014.

Las fincas que se dedican a la producción de leche tienen como objetivo la producción y venta de leche o sus derivados (Viguera *et al.*, 2018), en el país los hatos lecheros se ubican principalmente en zonas que van desde los 500 hasta los 2 500 msnm con temperaturas promedio que oscilan entre los 18 y 30°C y niveles de precipitación que van desde los 500 hasta 3500 mm por año (González, 2015). Las fincas que se dedican al doble propósito tienen como objetivo el ordeño y venta de leche o queso y crianza de terneros para venta como carne, la relación de ingreso entre los productos está en un 70/30.

Por otro lado, las fincas que se dedican a la producción de carne pueden ser de cuatro tipos: de cría, su objetivo es la producción y venta de animales para repasto o carne; de desarrollo, su objetivo es el engorde de animales para su venta como carne o para engorde; de engorde, el objetivo es el engorde de animales para su venta como carne o para engorde; mixtas, que es una mezcla de los tipos anteriores. Parte de los sistemas nacionales responden a esta última categoría, ya que son fincas con un objetivo principal (por ejemplo la cría) que hacen en paralelo a otra actividad (por ejemplo, el desarrollo) (Viguera *et al.*, 2018).

1.1.3. Sistemas de producción bovinos en Costa Rica

En Costa Rica la producción bovina está basada en el uso de pasturas reconocidas por su capacidad de producir biomasa (Rojas y Campos, 2015). Los pastos tropicales son ideales para suministrar al

ganado proteína, energía, minerales, vitaminas y fibra, esto porque poseen una gran capacidad de producir materia seca. Los forrajes tropicales tienen procesos fotosintéticos muy eficientes, esta capacidad se debe a que son C4, además de que su selección está orientada hacia la producción de materia seca y a que se desarrollan en regiones geográficas donde la irradiación solar y la temperatura ambiente les permite crecer en forma más o menos continua durante todo el año (Sánchez, 2007)

En Costa Rica se utilizan tres principales sistemas de producción ganadera: el sistema estabulado, el semiestabulado y el pastoreo. El sistema estabulado se caracteriza por tener más producción en el menor tiempo, utiliza mayor cantidad de mano de obra, los animales siempre se encuentran dentro del establo y de los tres es el sistema de producción con los costos más altos (Arronis, 2010). Por otro lado, el sistema de pastoreo presenta los costos más bajos, se utilizan suplementos energéticos y los animales siempre se encuentran en los potreros (Martínez, 2007). Además, el sistema semiestabulado es una combinación de los dos anteriores, los animales se encuentran ciertas horas en los establos y ciertas horas en los potreros (Arronis, 2010). En el **Cuadro 1** se mencionan características de estos tres sistemas de producción. El Censo Agropecuario del 2014 determinó que el pastoreo se emplea en el 89.41 % de las fincas ganaderas en el ámbito nacional como sistema de producción principal, además, el semiestabulado lo usan el 8.66 % de los productores y el estabulado por el 1.93 % de los productores con ganado (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014).

Cuadro 1. Características de los sistemas de producción ganadera utilizados en Costa Rica
Table 1. Characteristics of the livestock production systems used in Costa Rica

Sistema de producción	Características
Estabulado ¹	<p>Con este sistema se pretende una mayor producción y mejor calidad en un menor tiempo.</p> <p>Los animales permanecen confinados todo el tiempo, por lo que es muy poco el ejercicio físico que hacen.</p> <p>Toda la alimentación se les brinda en el comedero, por lo tanto, se debe contar con mano de obra especializada y con la cantidad requerida de forrajes para todo el ciclo.</p> <p>Las instalaciones deben ser funcionales y prácticas para evitar el estrés de los animales.</p> <p>Es el sistema con los costos de producción más altos y una rentabilidad más baja.</p> <p>No es recomendable para grandes volúmenes de animales.</p>
Semiestabulado ¹	<p>Este sistema consiste en tener confinados los animales ciertas horas. Parte de la alimentación se les da en la canoa y el resto de esta la obtienen en los potreros.</p> <p>Demanda menos cantidad de mano de obra.</p> <p>El área de los forrajes de corte es menor que en el sistema estabulado.</p>
Pastoreo ²	<p>Este sistema es el que tiene los costos más bajos.</p> <p>En este sistema los animales se encuentran las 24 horas del día en potreros, los cuales son rotados periódicamente.</p>

	<p>Se sustenta en el uso de suplementos energéticos.</p> <p>Presenta una gran estacionalidad.</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuentes: ¹Arronis, 2010 y ²Martínez, 2007.

1.1.4. Sistemas de alimentación del ganado bovino en Costa Rica

Con respecto a los sistemas de alimentación del ganado bovino en el país, el censo agropecuario realizado en el 2014 destaca el uso de pastos naturales como el principal sistema de alimentación del hato (57.32 %), seguido por los pastos mejorados (37.41 %) y en tercer lugar los pastos de corte o forrajes (2.73 %). Estos tres acumulan el 97.45 % del total de los sistemas principales de alimentación por finca. Los sistemas restantes son el ensilaje, los concentrados, los residuos agrícolas y otros (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014).

Los pastos naturales son plantas gramíneas y leguminosas que se desarrollan en el potrero y sirven para la alimentación del ganado (Instituto Nacional Tecnológico [Inatec], s. f.). Los pastos mejorados son especies forrajeras -mayormente gramíneas y leguminosas-, que no son autóctonas pero que debido a sus características se adaptan muy bien a las condiciones de la finca, por lo que al manejarlas adecuadamente producen grandes cantidades de biomasa forrajera de una alta calidad nutritiva, permitiendo así alcanzar una productividad animal alta, pero además contribuyendo a conservar el ambiente (Pezo, 2018).

Los pastos de corte o forrajes son gramíneas o leguminosas cosechadas para suministrarse como alimento a los animales, sea verde, seco o procesado. Además, de acuerdo con Inatec (s. f.) algunos granos de estas especies podrían utilizarse para el consumo de las personas, sin embargo la mayoría de estas variedades se establecen exclusivamente para alimentar al ganado. Para el presente estudio se utilizó que un kilogramo de pasto ya sea mejorado o de corte, contiene 0.17 m³ de agua, valor recopilado por Chapagain y Hoekstra (2004), sin embargo en otros estudios se considera que los pastos destinados a la alimentación del ganado no utilizan riego, por lo tanto la demanda de agua para el crecimiento del forraje es la del agua llovida (Corporación Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia *et al.*, 2015).

1.2. Huella hídrica

El concepto de huella hídrica se creó en el 2002, cuando Arjen Hoekstra, quien trabajaba en el Instituto Unesco-IHE para la Educación del Agua, la determinó como una medida para cuantificar la cantidad de agua consumida y contaminada para producir bienes y servicios a lo largo de toda su cadena de suministro. Cuando se incorporó en la literatura académica, grandes compañías de alimentos y bebidas se dieron cuenta de su dependencia del agua y del riesgo relacionado con el agua que enfrentaban (Water Footprint Network, s. f.a).

Esta medida es un indicador del uso de agua que no solo se refiere al uso directo de ella por parte de un consumidor o productor, sino también al uso indirecto. Además, puede considerarse como un indicador integral de la apropiación de los recursos de agua junto a la medida tradicional y restringida de extracción de agua (Hoekstra *et al.*, 2011), asimismo, se presenta como un indicador de sostenibilidad que permite identificar relaciones causa-efecto en el ámbito socioambiental, ya que las actividades socioeconómicas son el principal factor de presión sobre los recursos naturales (Arévalo, Lozano y Sabogal, 2011).

La huella hídrica directa se refiere al volumen de agua consumida y contaminada durante el proceso de fabricación de un producto o durante el manejo del recurso de agua de forma directa, mientras que la indirecta se refiere al volumen de agua utilizada y contaminada en toda la cadena de producción de un producto, es decir, el agua que se involucra detrás de un producto o servicio (Hoekstra *et al.*, 2011). Una huella hídrica generalmente se divide en tres componentes, estos son la huella de agua azul, de agua verde y de agua gris:

La huella del agua azul es un indicador del uso consuntivo del agua dulce superficial o subterránea. El término uso consuntivo del agua se refiere a uno de los siguientes cuatro casos: el agua que se evapora; el agua que se incorpora al producto; el agua no regresa a la misma área de captación, por ejemplo, regresa a otra área de captación o al mar y el agua que no regresa en el mismo periodo, por ejemplo, se retira en un periodo escaso y se devuelve en uno húmedo (Hoekstra *et al.*, 2011).

El agua verde se refiere a la precipitación en la tierra que no se escurre ni recarga el agua subterránea, sino que se almacena en el suelo o se mantiene temporalmente sobre este o en la vegetación. Esta parte de la precipitación se evapora o transpira a través de las plantas, por lo que la huella hídrica del agua verde es el volumen de agua de lluvia consumida durante el proceso de producción y es relevante para la evapotranspiración agrícola y forestal (de campos y plantaciones) más el agua incorporada al cultivo cosechado (Hoekstra *et al.*, 2011).

La huella de agua gris es el volumen de agua contaminada que se cuantifica como el volumen que se necesita para diluir los contaminantes, de manera que la calidad del agua ambiental permanezca por encima de los estándares acordados (Hoekstra y Chapagain, 2008). El concepto de la huella de las aguas grises ha surgido del reconocimiento de que el tamaño de la contaminación del agua puede expresarse en términos del volumen que se necesita para diluir los contaminantes y que estos sean inofensivos (Hoekstra *et al.*, 2011).

1.2.1. Estudio de huella hídrica en fincas ganaderas

La cuantificación de las huellas hídricas de consumo y producción es un tema relativamente nuevo y en constante evolución, los estudios existentes en huella hídrica en sistemas tropicales en su mayoría hacen referencia a la cantidad de agua requerida para producir un litro de leche o bien un kilogramo de carne bovina, pero no se refieren a la huella del sector ganadero o a la huella de una cabeza de ganado (Muñoz, 2014).

Según Mekonnen y Hoekstra (2012) la huella hídrica de los sistemas de producción ganadera está influenciada por el tipo de sistema de producción, su tamaño, la composición del hato y la geografía. De igual manera, indican que existen diferencias entre países, debido a la conversión de alimento y las cantidades de agua necesarias para producir forrajes (esto se debe a las condiciones climáticas).

De acuerdo con Rodríguez *et al.* (citado en Muñoz, 2014) en la ganadería bovina, el requerimiento de agua depende del consumo de agua del animal durante el día, del tipo de ganado y la unidad de medida es en litros por cabeza y día o bien en litros por unidad ganadera y día.

La huella hídrica de un animal puede calcularse con base en la huella hídrica del alimento consumido y el agua que consume de forma directa (Hoekstra, 2012). Mekonnen y Hoekstra (2012) indican que la huella hídrica promedio de una vaca lechera es de 2 056 m³ por año, mientras que la de una vaca dedicada a la producción de carne es de 630 m³ por año. En términos de producto, estos mismos autores, indican que la huella hídrica de la carne de res es de 15 415 m³/ton y la de

la leche es de 1 020 m³/ton.

Además, Alarcón y Wagner (2016) en un estudio realizado en Zipaquirá, Colombia determinaron 246.92 l agua/l leche. Por otro lado, Muñoz (2014) en un estudio realizado en fincas ganaderas destinadas a la producción lechera ubicadas en la cuenca del río La Villa, Panamá, determinó 970.44 l agua/l leche. En Nicaragua, en los municipios de Jinotega y Matiguás, Ríos *et al.* (2013), en un estudio que consistió en calcular la huella hídrica de fincas ganaderas destinadas a la producción de leche, indican que los requerimientos de agua para producir un litro de leche corresponden a 948.2 litros en Matiguás y 1 588.8 litros en Jinotega. En un estudio realizado en Australia, se obtuvo una huella hídrica para ganado bovino dedicado a la producción de carne de 3,3 a 221 litros/kg de peso vivo del animal (Ridoutt *et al.*, 2011). Chapagain y Hoekstra (2003) determinaron que en Costa Rica la huella hídrica del ganado bovino dedicado a la producción de carne era de 10 761 m³/ton y la del ganado bovino dedicado a la producción de leche de 127 113 m³/ton.

1.2.2. Factores que afectan el consumo de agua del ganado

Como indica Duarte (2011), el agua que requiere una vaca está determinada por la sumatoria de las pérdidas de agua en excretas, las pérdidas evaporativas para disipar el calor, el agua retenida en el cuerpo en tejidos para crecimiento y preñez, y en la secretada en leche.

Además, según Alarcón y Wagner (2016) existen varios factores que afectan los requerimientos de agua del ganado, algunos de ellos son: el consumo de materia seca y el contenido de esta en la dieta del animal, la producción de leche, el estado reproductivo, la ganancia de peso, la temperatura ambiente y el consumo de sodio.

Los factores ambientales afectan el comportamiento de los bovinos, uno de los más importantes es la temperatura ambiental (Arias, Mader y Sabogal, 2008). Si existe una temperatura mayor a la normal se pueden producir pérdidas de hasta del 2 % del peso vivo, esto propicia mayor ingesta de agua fresca (Muñoz, 2014). Los bovinos consumen agua varias veces al día y prefieren tomar en pequeñas cantidades (1.5 a 2 l), las horas de mayor consumo de agua se asocian con de mayor consumo de alimento (Alarcón y Wagner 2016).

En lo que respecta a la dieta de los animales, “como regla general todos los forrajes secos y/o concentrados demandan mayor cantidad de agua, que los forrajes verdes. Existe una relación directa entre el consumo de materia seca y los requerimientos de agua” (Duarte, 2011, s. p.). Por lo tanto, los animales con alto consumo de materia seca demandan mayor cantidad de agua. En oposición:

Una restricción en la oferta de agua ocasiona una reducción en el consumo de materia seca, afectando indirectamente el nivel de producción esperado. Existen diversos factores, que pueden incidir negativamente sobre el consumo voluntario de agua, entre estos, los más importantes son: la frecuencia y periodicidad de la oferta de agua, la facilidad de acceso a la fuente de agua, las interacciones sociales y de comportamiento y finalmente la calidad del agua (Ibídem).

Con el cálculo de la huella hídrica del sector ganadero y con las propuestas para el uso ecoeficiente del recurso hídrico se puede llegar a producir un cambio transformacional en la forma de producción del sector ganadero costarricense con miras a una ganadería eco competitiva, la cual es una estrategia integral que busca ventajas competitivas para obtener un beneficio provocando así

mejoras en términos sociales, ambientales y productivos; y se basa en la utilización de nuevas tecnologías, innovaciones, técnicas de producción más eficientes y en el uso sostenible de los recursos (Decreto Ejecutivo N° 37109, 2012). La cuantificación de las huellas hídricas de consumo y producción de alimentos es un tema relativamente nuevo y en constante evolución, por lo que este estudio funcionará como una línea base en la cuantificación de la huella hídrica del sector ganadero bovino de Costa Rica. Y determinar el consumo de agua de un sector tan importante en el sistema productivo del país se torna de gran valor ya que según el Programa Estado de la Nación [PEN] (2012), Costa Rica consume un 8% más de agua que el promedio mundial y además, se consume un 31.2 % más del agua que le puede dar el territorio, por lo que el país está consumiendo su recurso de agua dulce de una manera acelerada y la huella hídrica funcionará como un indicador para poder crear estrategias que ayuden a disminuir o desacelerar el consumo.

2. Metodología

El alcance del estudio se definió como correlacional, ya que Hernández *et al.* (2014) establecen que estos tienen como propósito conocer la relación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular y que su utilidad principal es saber cómo se puede comportar un concepto o una variable al conocer el comportamiento de otras relacionadas. Para determinar la huella hídrica del sector ganadero (bovino) costarricense se necesita relacionar el uso de los recursos hídricos en la ganadería (UA_{Liv}), las importaciones de agua virtual contenida en los productos ganaderos ($VW_{I, Liv}$) y el agua virtual exportada en estos productos ($VW_{E, Liv}$), los cuales, a la vez, se relacionan con otras variables. Para realizar la cuantificación de la Huella Hídrica se siguió la metodología de Hoekstra y Chapagain (2008).

El Censo Agropecuario realizado en Costa Rica determinó que para el 2014 el hato nacional fue de 1 278 817 cabezas de ganado, las cuales incluyen el hato dedicado a la producción de leche, carne, doble propósito y trabajo (bueyes) (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014). Sin embargo, para el presente estudio se excluyó el hato dedicado al trabajo, esto porque el alcance se concentró en el consumo de agua por parte del ganado bovino que se utiliza para la producción alimentaria (leche y carne). En el **Cuadro 2** se puede ver la distribución del ganado bovino del país, según la actividad a la que se dedica.

Cuadro 2. Cabezas de ganado bovino costarricense para el 2014 según su actividad de producción y edad.

Table 2. Costa Rican cattle heads for 2014 according to their production activity and age

Actividad	Edad	Cabezas de ganado
Leche	Terneras	65 406
	Novillas	61 197
	Vaca adulta	200 527
Doble propósito	Terneras	111 039
	Novillas	99 275
	Vaca adulta	199 575
Carne	Terneras	132 376
	Novillas	184 472
	Vaca adulta	221 745

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014.

2.1. Diagnóstico de la dieta del ganado bovino

Para llevar a cabo el diagnóstico la dieta de los animales e identificar los patrones alimenticios de este sector se investigó cuáles son los alimentos que normalmente consume el ganado bovino. Esto se hizo mediante la revisión de diferentes Trabajos Finales de Graduación de estudiantes de la Universidad de Costa Rica (UCR) y del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie). Se pudo determinar que en Costa Rica no existe una dieta promedio para el hato bovino, sino que cada ganadero alimenta a sus animales con los productos que tenga a su alcance o con aquellos que considere necesarios para satisfacer las necesidades de engorde o producción de leche.

Al no existir un promedio nacional de alimentación y a que todas las dietas fueran tan variadas se procedió a utilizar información bibliográfica según el propósito productivo del hato y se aplicó a las 1 275 612 cabezas de ganado que se encuentran distribuidas en todo el país. En el **Gráfico 4** se muestran las diferentes cantidades de alimento que reciben los animales según la dieta y la actividad, se denota que varían mucho en la cantidad y en la composición.

Para llevar a cabo el cálculo de la huella hídrica del sector se utilizaron aquellas dietas que le brindaran mayor y menor cantidad de alimento al ganado. En vacas dedicadas a la producción de leche la dieta 1 es la que más alimento le brinda al ganado con 55.12 kg/día y la dieta 3 la que menos con 38.86 kg/día. En vacas dedicadas al doble propósito, la dietas 11, 12 y 14 les brinda 40.00 kg/día y la 13 les da 57.70 kg/día. Finalmente, en el hato dedicado a la producción de carne la dieta 19 les brinda 58.39 kg/día y las demás les ofrece 40.00 kg/día. Las dietas utilizadas eran muy variadas en su composición, sin embargo, normalmente la dieta de los animales está compuesta por forrajes más suplementos alimenticios, tales como subproductos agrícolas, pasto de corta, forraje ensilado entre otros, y alimento balanceado.

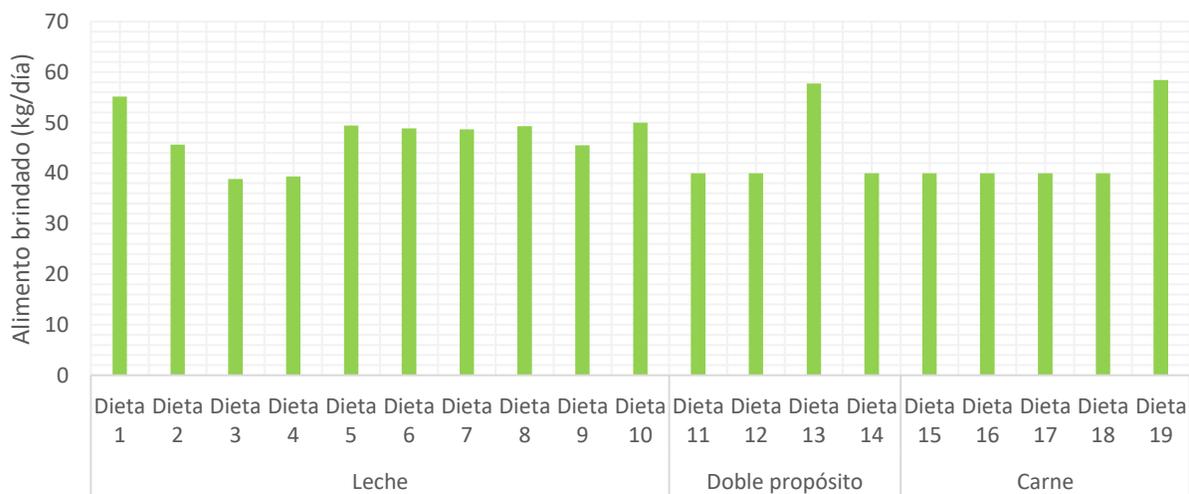


Gráfico 4. Resumen de dietas para el ganado bovino costarricense según su actividad de producción

Graph 4. Summary of diets for Costa Rican cattle according to their production activity

Fuente: Dietas 1 y 2 (Arguedas, 2014). Dietas 3 y 4 (Villalobos, 2012). Dietas 5, 6, 7 y 8 (Castro, 2013). Dieta 9 (Molina, 2008). Dieta 10 (Aguilar, 2007). Dietas 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 (Torres, 2014). Dieta 19 (Monge, 2016).

2.2. Cálculo de la huella hídrica

Para llevar a cabo la cuantificación de la huella hídrica asociada con la ganadería bovina en Costa Rica, fue necesario elaborar una base de datos con la información requerida para llevar a cabo los cálculos. La huella hídrica de la ganadería (WF_{Liv}), de acuerdo con Hoekstra y Chapagain (2008), equivale al uso de los recursos hídricos en la ganadería (UA_{Liv}), más las importaciones de agua virtual contenida en los productos ganaderos señalados en el **Anexo A** ($VW_{I,Liv}$), menos el agua virtual exportada en estos productos ($VW_{E,Liv}$) [1]. Se llevó a cabo el cálculo en dos escenarios diferentes, uno con los valores máximos y otro con los valores mínimos de agua contenida en la alimentación.

$$WF_{Liv}(m^3) = UA_{Liv} + VW_{I,Liv} - VW_{E,Liv} [1]$$

Entre los datos necesarios para el cálculo están: el número de cabezas de ganado, este dato se obtuvo mediante la revisión del Censo Agropecuario del 2014. Además, fueron necesarios los datos de volumen de agua requerida por los animales para beber (V_{drink}) y volumen de agua requerida para el servicio de los animales ($V_{services}$), los cuales se obtuvieron de fuentes secundarias. El contenido de agua virtual de cada producto que consumen los animales y el contenido de agua virtual de los productos de origen bovino se obtuvo de tablas creadas por investigadores del tema de huella hídrica en el ámbito internacional. Las toneladas importadas y exportadas de cada producto de origen bovino se buscaron en la base de datos del Ministerio de Hacienda.

Para el calcular el uso de los recursos hídricos en la ganadería (UA_{Liv}) se multiplicó el contenido de agua virtual de los animales (V_a , m^3/animal) por el número de animales censados (A).

$$UA_{Liv} = V_a \times A [2]$$

El contenido del agua virtual de los animales (V_a , m^3/animal) se calculó en función de los contenidos de agua virtual de los productos empleados en su alimentación (V_{feed} , m^3/animal) y de los volúmenes de agua requeridos en el manejo del animal a lo largo del año en estudio, es decir, los volúmenes de agua consumida por el animal (V_{drink}) y los volúmenes de agua utilizada en los servicios ($V_{services}$), ambos en unidades de m^3/animal . Para este estudio no se hizo distinción por sexo, pero sí por propósito productivo (carne, leche y doble propósito) y edad (ternero, novillo y vaca productora). Lo que quiere decir que los cálculos se realizaron haciendo una diferenciación con respecto al propósito y a la edad, esto porque el hato consume diferente cantidad de alimento y agua según sea su requerimiento. Teniendo en cuenta que las disponibilidad de información en cuanto se refiere al agua utilizada en el lavado de corrales, equipo y utensilios, es decir agua utilizada en los servicios ($V_{services}$) es escasa a nivel país se hizo un recuento de fuentes secundarias, dónde se llegó a la conclusión de utilizar el valor promedio calculado por Muñoz (2014) para todo el hato incluido en el cálculo.

$$V_a = V_{feed} + V_{drink} + V_{services} [3]$$

Para obtener el contenido de agua virtual relativa a la alimentación (V_{feed} , m^3/animal), fue necesario multiplicar las toneladas ingeridas de cada producto (j) por cada animal (T_j , ton/animal) por los contenidos de agua virtual de cada producto (V_j , m^3/ton). Las toneladas de cada producto ingeridas por cada animal se obtuvieron de las dietas seleccionadas según el propósito productivo y los contenidos de agua virtual de cada producto se obtuvo de tablas elaboradas por Chapagain y Hoekstra, 2004.

$$V_{feed} = \sum_{j=producto} T_j \times V_j \quad [4]$$

Para calcular las exportaciones de agua virtual ($VW_{E, Liv}$, m^3) del sector ganadero se multiplicaron las toneladas de cada producto (j) exportadas (X_j , ton) por su contenido de agua virtual (V_j , m^3/ton).

$$VW_{E, Liv} = \sum_{j=producto} X_j \times V_j \quad [5]$$

Del mismo modo, para calcular las importaciones de agua virtual ($VW_{I, Liv}$, m^3) del sector se multiplicaron las toneladas de cada producto (j) importadas (p) (M_j , ton) por su contenido de agua virtual ($V_{j,p}$, m^3/ton). Los datos de importaciones y exportaciones se obtuvieron del Ministerio de Hacienda, mientras que los contenidos de agua virtual de los productos de origen bovino se obtuvieron de tablas elaboradas por Chapagain y Hoekstra, 2003.

$$VW_{I, Liv} = \sum_{\substack{j=producto \\ p=País}} M_{j,p} \times V_{j,p} \quad [6]$$

Una vez que se calculó el uso de los recursos hídricos en la ganadería (UA_{Liv}), las importaciones de agua virtual contenida en los productos ganaderos ($VW_{I, Liv}$) y el agua virtual exportada en estos productos ($VW_{E, Liv}$) se procedió a calcular la huella hídrica de la ganadería (WF_{Liv}) con la fórmula [1].

3. Análisis de resultados

Se pudo determinar que para el 2014 el uso de los recursos hídricos (UA_{Liv}), utilizando los valores máximos de agua contenida en la alimentación, fue de $2.3 \times 10^9 m^3$, mientras que al utilizar los valores mínimos se redujo a $1.00 \times 10^9 m^3$. La diferencia entre ambos se puede deber a que en el primer escenario los alimentos que se le brindaron a los animales tenían un mayor contenido de agua virtual, o bien, a la cantidad de alimento brindado, ya que en el segundo escenario se le brinda menos cantidad de alimento al hato. Sin embargo, es un resultado esperado porque el primer escenario es más pesimista que el segundo.

Las importaciones de agua virtual fueron de $2.19 \times 10^8 m^3$ y las exportaciones de $1.38 \times 10^9 m^3$ (ver **Anexo A**), las exportaciones son mayores a las importaciones porque en el año de estudio en Costa Rica se exportaron más productos de origen bovino de los que se importaron. En cuanto al contenido de agua virtual en la alimentación, en el primer escenario se tiene que para el 2014 fue de $3.52 \times 10^9 m^3$, mientras que en el escenario contrario fue de $2.13 \times 10^9 m^3$ (ver **Anexo B**).

Según Mekonnen y Hoekstra (2012), la mayor huella hídrica para la producción animal proviene del alimento que consumen, este representa el 98 % de la huella hídrica total. En este estudio el uso de los recursos hídricos en la ganadería representa el 33.20 % en el primer escenario y el 41.15 % en el segundo, y ese porcentaje lo componen: el agua utilizada por el hato en la bebida, en los servicios y el agua virtual contenida en el alimento. Cómo se asumió que la cantidad de agua utilizada para los servicios era la misma para todo el hato, $6.69 \times 10^6 m^3$ para el 2014. Se puede decir que la diferencia entre ambos escenarios la hace el contenido de agua virtual en la alimentación,

que cómo se mencionó anteriormente fue de $3.52 \times 10^9 \text{ m}^3$ para el primer escenario y de $2.13 \times 10^9 \text{ m}^3$ para el segundo. Sin embargo el contenido de agua virtual en la alimentación representa el 99.04 % y el 98.42 % del uso de los recursos hídricos en la ganadería. Aunque no existen datos del agua virtual contenida en varios de los alimentos que le proporciona el ganadero a su hato sí se denota que cuanto mayor sea la alimentación mayor será el contenido de agua virtual, y los valores obtenidos en el estudio son muy cercanos a los Mekonnen y Hoekstra (2012). Pero, se torna de mucha importancia establecer las cantidades de agua virtual contenida en esos alimentos para así obtener un mejor aproximado de la huella hídrica del sector ganadero bovino, ya que el agua virtual de los alimentos varía según los países, en función de las diferencias en el clima y de la práctica agrícola.

En este estudio, para el primer escenario, la huella hídrica de una vaca lechera es de $4\ 868.47 \text{ m}^3$ por año, la de una vaca dedicada a la producción de carne de $2\ 208.91 \text{ m}^3$ por año y la de una vaca dedicada al doble propósito de $1\ 873.88 \text{ m}^3$ por año. Asimismo, para el segundo escenario son: $2\ 224.04$, $1\ 622.84$ y $1\ 374.12 \text{ m}^3/\text{año}$, respectivamente. Los valores de huella hídrica del primer escenario varían mucho con respecto a los de Mekonnen y Hoekstra (2012), quienes indican que la huella hídrica promedio de una vaca lechera es de $2\ 056 \text{ m}^3$ por año y la de una vaca dedicada a la producción de carne es de 630 m^3 por año. Pero en el segundo escenario, la huella hídrica de una vaca lechera es cercana a la de estos autores, sin embargo, la de una vaca de carne es diferente a la que ellos brindan.

En los valores que se obtuvieron en el presente estudio, el mayor porcentaje de la huella hídrica del animal lo aporta el uso de los recursos hídricos en la ganadería. Para el primer escenario el UA_{Liv} del ganado lechero se compone por un 99.29 % del agua virtual contenida en su alimentación, el del ganado doble propósito por un 98.67 % y el del ganado de carne por un 98.94 %. En el segundo escenario los valores disminuyen a 98.44, 98.18 y 98.56 % respectivamente, pero sigue siendo el agua contenida en el alimento la que mayor aporte hace a la huella hídrica del hato bovino.

El aporte del agua que consume el ganado a la huella hídrica del sector es menor a un 1 % en el primer escenario y para el segundo es de únicamente un 1.27 % . Según Steinfeld *et al.* (2009), el agua presente en los forrajes verdes contribuye a satisfacer las necesidades de agua. En las dietas que se utilizaron para llevar a cabo el cálculo y en las que se analizaron, el mayor porcentaje del alimento lo representaba el pasto, es decir, al hato se le brinda gran cantidad de pasto en su dieta, en algunos ocasiones hasta un 10 % de su peso según los estudios consultados, por consiguiente lo expresado por Steinfeld *et al.* (2009) toma relevancia, ya que toma sentido el hecho de que el agua bebida por el hato represente un porcentaje tan bajo en el cálculo de la huella del sector. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los datos de consumo de agua se obtuvieron de la literatura, por lo que los consumos no son específicos para el ganado bovino de Costa Rica.

Durante el periodo de 1995 a 1999, Costa Rica exportó en promedio $8.17 \times 10^8 \text{ m}^3$ por año e importó $3.06 \times 10^8 \text{ m}^3$ por año de agua virtual contenida en los productos ganaderos (Chapagain y Hoekstra, 2003). Para el 2014 se exportaron $1.38 \times 10^9 \text{ m}^3$ de agua virtual contenida en los productos ganaderos y se importaron $2.19 \times 10^8 \text{ m}^3$. Las exportaciones de agua virtual han aumentado considerablemente, mientras que las importaciones se han reducido desde ese periodo hasta el 2014. Esto se puede deber a varios factores, por ejemplo, que en el país haya más productores de bienes de origen bovino por lo que no es necesario importarlos, según los datos del Ministerio de Hacienda, para el año en estudio se exportó más productos de origen bovino que los que se importó (ver **Anexo A**), por lo que en términos de toneladas de estos productos se mantiene la tendencia de que se exporta

más de los que se importa, por lo que se denota que Costa Rica es un país exportador de este tipo de bienes en el ámbito mundial.

Al llevar a cabo una comparación entre ambos escenarios, el agua contenida en los alimentos para el primero representa el 99.04 % del uso de los recursos hídricos en la ganadería, mientras que para el segundo es de 98.42 %. Esto en contraste con el agua utilizada en los servicios que representa un 0.19 % para el primer caso y aumenta a un 0.31 % para el segundo, incluso cuando en m^3 en ambos escenarios el valor es el mismo. Cuando se calcula el porcentaje de participación de un componente, entre menor sea el total, mayor va a ser la proporción de ese componente al resultado final, es por esta razón que cómo la huella hídrica del segundo escenario es menor, el aporte del agua utilizada en los servicios representa una mayor proporción, en cambio en el primer escenario la huella hídrica es mayor y por consiguiente el aporte del agua utilizada en los servicios es en menor. Pero con estos resultados obtenidos se denota que una disminución o un aumento en la cantidad de alimentos que recibe el ganado varía el contenido de agua y, por consiguiente, el cálculo de la huella hídrica de todo el sector ganadero.

Varios estudios se han llevado a cabo para estimar el agua virtual requerida por una cabeza de ganado a lo largo de su vida, encontrándose estimaciones de 16 222.26 m^3 /animal sin diferenciar el tipo de producción, de 39 443 m^3 /animal en vacas lecheras en Estados Unidos, 42 197 m^3 /animal en Argentina, 31 383 m^3 /animal en Brasil y 44 645 m^3 /animal en Uruguay. Mientras que para ganado de carne las estimaciones son de 5 484 m^3 /animal, de 159 523 m^3 /ton y 13 824 m^3 /ton para sistemas de pastoreo en bovinos de leche y carne, respectivamente (Corredor *et al.*, 2017). En el presente estudio se calculó la huella hídrica de todo el sector ganadero bovino de un país (Costa Rica) para un año en específico (2014), por consiguiente la comparación entre resultados es difícil de llevar a cabo dada las diferencias metodológicas, a los objetivos de los estudios y sus alcances, así como a los supuestos usados en cada uno (Manazza, 2012)

Estrategias para la reducción de la Huella Hídrica

Como parte del estudio se identificaron varias estrategias para la disminución del consumo agua. Una de estas, que es un tanto difícil de implantar, es el cambio de los patrones de consumo de las personas. Según los estudios realizados por Mekonnen y Hoekstra (2012), la huella hídrica de cualquier alimento de origen animal es mayor que la de una cantidad equivalente de alimento proveniente de las plantas. Por ejemplo: la huella hídrica promedio mundial por tonelada de cultivo aumenta de cultivos de azúcar (aproximadamente 200 m^3 /ton) y vegetales (\approx 300 m^3 /ton) a legumbres (\approx 4 000 m^3 /ton) y nueces (\approx 9 000 m^3 /ton) y, para los productos animales, aumenta de la leche (\approx 1 000 m^3 /ton) y el huevo (\approx 3 300 m^3 /ton) a la carne de res (\approx 15 400 m^3 /ton). Como los alimentos de origen animal son los que requieren más agua para su producción, se afirma que una dieta orientada al consumo de vegetales, legumbres y frutas ayudaría a disminuir el uso de este preciado recurso. En perspectiva, la carne equivale a un 37 % de la huella hídrica de la dieta promedio de un ciudadano estadounidense y al cambiar ese consumo por legumbres y nueces, la huella se reduciría en un 30 %. En Estados Unidos una persona consume anualmente más de 100 kg de carne (Ritchie, 2019), mientras que en Costa Rica una persona consume en promedio 15.50 kg de carne bovina al año (CORFOGA, 2020) por lo que la huella hídrica de la dieta de un costarricense es menor a la de un estadounidense basándose en que cómo la huella hídrica de los alimentos de origen animal es mayor a los de origen vegetal, sí una persona consume más alimentos de origen animal por consiguiente la huella hídrica de su dieta será mayor.

Según la FAO (2018b) para lograr una mejor eficiencia en el uso del agua por parte del sector ganadero existen tres estrategias: uso reducido del agua, esta incluye la mejora de la tecnología de riego para mejorar la eficiencia y el cambio hacia sistemas mixtos de cultivos y ganado que usan menos agua y aumentan la productividad. Esto se debe a que normalmente el mayor porcentaje de la huella hídrica de ganado bovino lo compone el agua presente en los alimentos, con un 98 %, mientras que el agua de bebida y de servicios representan 1.1 y 0.8 % respectivamente (Mekonnen y Hoekstra 2012). Esta medida es aplicable a Costa Rica porque con los resultados que se obtuvieron en el presente estudio se determinó que el agua contenida en los alimentos del ganado es la que presenta un mayor aporte a la huella hídrica total del sector, en el primer escenario representa el 99.04 % del uso de los recursos hídricos en la ganadería, mientras que para el segundo representa el 98.42 %.

Las otras dos estrategias se enfocan en la reducción del agotamiento y la mejora de la reposición de los recursos hídricos, esto porque uno de los desafíos centrales de la producción animal es el manejo y la disposición de sus residuos. Para producción bovina únicamente se consideran el Nitrógeno y el Fósforo, sin embargo existen diferentes tipos de sustancias contaminantes (Corredor *et al.*, 2017). Por lo anterior el uso de Sistemas Integrados de Fitodepuración (ISP) o Biojardineras es una opción para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de los sistemas de producción ganaderos, ya que como indica el estudio realizado por Petroselli *et al.* (2017), estos sistemas de tratamiento de aguas residuales pueden tener hasta una eficiencia de más de un 85 % en la eliminación de sustancias químicas.

Los bebederos pueden representar un foco de desperdicio de agua por varias razones. Si estos se llenan en su totalidad, el ganado, en el momento de introducir su cabeza para beber agua, ocasiona un derramamiento de este líquido. De igual manera, si los bebederos son muy altos y el ganado no alcanza para introducir la cabeza se puede producir un volcamiento. Por otro lado, si son muy profundos, el hato no consumirá todo el líquido, esto hace que el agua se caliente, se contamine y no sea apta para el ganado, debido a que se necesita dotarlos de agua fresca pues si el animal tiene problemas para acceder al recurso automáticamente dejará de comer, bajará de peso y dejará de ser productivo (Alarcón y Wagner 2016). El ganadero puede instalar una bomba reguladora del nivel del agua en los bebederos ubicados en los potreros de la finca para graduar el nivel que se requiera y evitar desperdicios. Esto reduce el uso de agua, evita la formación de zonas pantanosas que pueden causar enfermedades y aleja la presencia de moscas (Piedra *et al.*, 2017).

Otro foco de desperdicio de agua es el lavado y la limpieza de las instalaciones y equipos utilizados. Normalmente, si una finca desea comercializar un producto debe seguir una serie de requisitos sanitarios, por lo que deben lavar y limpiar los equipos y las instalaciones que se utilizan y, en ocasiones, se mantiene la llave del agua abierta durante todo el proceso, sin importar si se está enjabonando el utensilio o el lugar. Por lo tanto, se recomienda el uso de sistemas de limpieza de alta presión, además, se puede establecer un sistema para reutilizar las aguas de lluvia no contaminadas como agua de lavado. Sin embargo, esta última medida suele tener un costo muy elevado, lo que limita su implantación (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2017). También se pueden crear estrategias de capacitación para que el personal encargado de realizar el lavado de las instalaciones tome conciencia de la necesidad de reducir la cantidad de agua utilizada en esta actividad. Aunque en este estudio el agua de servicios representa únicamente el 0.19 % para el primer caso y el 0.31 % para el segundo de la huella hídrica del sector se debe tener en consideración que se utilizó un valor de la literatura, y por consiguiente puede ser un valor subestimado, por ellos también se deben realizar esfuerzo en disminuir el consumo de

agua en este apartado.

4. Conclusiones

Según la revisión de fuentes secundarias en Costa Rica no existe un estándar de alimentación para el hato bovino, las dietas son muy variadas en cantidad y en composición, esto se debe a que el ganadero brinda a sus animales aquellos productos con los que cuente en su finca, con el objetivo de cumplir las necesidades nutricionales que le permitan una mayor producción.

De todos los productos que se le ofrece al ganado para su alimentación son muy pocos los que tienen disponibles el contenido de agua y aquellos que lo tienen son de estudios internacionales, por ello es necesario implementar estudios sobre huella hídrica de los productos alimenticios del ganado para que se utilicen los valores nacionales al momento de calcular la huella hídrica del sector ganadero bovino, o bien algún otro sector

En Costa Rica no existe un promedio del volumen de agua que consume el ganado ni del volumen que se utiliza en sus servicios. Lo anterior se debe a que los volúmenes varían según el sistema de producción o la actividad a la que se dedique el hato, también cambian de acuerdo con la tecnología con la que se cuente cada productor. Por eso existe la necesidad de llevar a cabo estudios sobre estos volúmenes de agua para lograr que el cálculo de la huella hídrica se haga con valores más precisos.

Durante el 2014, la huella hídrica del sector bovino fue de 2.39×10^9 m³ para el primer escenario y de 1.00×10^9 m³ para el segundo, sin embargo, no existen estudios previos para determinar si la huella ha disminuido o aumentado con el paso de los años. Por lo anterior, se puede considerar este trabajo como la línea base para realizar futuras investigaciones en esta temática, teniendo en consideración que existen diferentes metodologías para el cálculo de la huella hídrica y esto no quiere decir que las demás estén mal, sino más bien, cada metodología aplicada puede llevar a la identificación de nuevas estrategias para el uso eficiente de los recursos.

Este estudio proporciona una fuente de datos para futuros trabajos sobre la huella hídrica en el sector ganadero bovino, debido a que es el primero que se lleva a cabo con esta temática en el ámbito nacional. Debido a que la producción y el consumo de productos de origen animal desempeñan un papel importante en el agotamiento y la contaminación de recursos de agua dulce, la información sobre la huella hídrica de los productos animales ayudará a comprender cómo se puede utilizar este preciado recurso de forma sostenible.

Existen diferentes estrategias para lograr una disminución de la huella hídrica, van desde aquella que implica un cambio en los hábitos alimenticios de las personas, hasta aquellas que requieren inversión por parte de los productores para implementar nuevas tecnologías e innovaciones, pero cada una de ellas depende del nivel de compromiso y de la disponibilidad económica para implementar dichos cambios en la ganadería tradicional.

5. Referencias

- Aguilar, A. (2007). Práctica dirigida sobre ganado de leche en la finca Montezuma, Cañas, Guanacaste, Costa Rica (Tesis de Licenciatura). Universidad de Costa Rica.
- Alarcón, M. y Wagner, M. (2016). Propuesta de estrategias para la disminución del consumo de agua por ganadería lechera en la finca La Gaitana vereda Portachuelo municipio de Zipaquirá por medio de la huella hídrica (Trabajo de grado). Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia.
- Arciniegas-Torres, S., Flórez-Delgado, D. (2018). Study of silvopastoral systems as an alternative for the sustainable management of livestock. *Ciencia y Agricultura*, 15(2), 107-116.
- Arévalo, D., Lozano, J. y Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de huella hídrica Colombia sector agrícola. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*.
- Arguedas, S. (2014). Práctica dirigida en la finca de ganado lechero de la Asociación Roblealto Pro- Bienestar del Niño, San José de la Montaña, Barva de Heredia (Tesis de Licenciatura). Universidad de Costa Rica.
- Arias, R. A., Mader, T. L. y Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40(1), 7-22.
- Arronis, V. (2010). Manual de recomendaciones sobre Sistemas Intensivos de Producción de Carne. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). San José, Costa Rica.
- Banco Mundial (s. f.a). Agricultura, valor agregado (% del PIB). Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS?end=2018&start=2014&type=points&view=chart>
- Banco Mundial. (s. f.b). Tierras agrícolas (% del área de tierra). Recuperado de <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.AGRI.ZS>.
- Castro, J. (2013). Práctica dirigida en dos fincas: finca Venado y finca Botijo ubicadas en Venado y Botijo de San Carlos Alajuela, dedicadas al engorde de ganado (Tesis de Licenciatura). Universidad de Costa Rica.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie). (2012). Producción de madera en sistemas agroforestales de Centroamérica. Turrialba, Costa Rica. 244p.
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. (2003). Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. Value of Water Research Report Series n. ° 13, Unesco-IHE. Delft, The Netherlands.
- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. (2004). Water footprint of nations. Volume 1: Main Report. Value of Water Research Report Series n. ° 16, Unesco-IHE. Delft, The Netherlands.

- Corporación Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA), Good Stuff International Latinoamérica y El Caribe (GSI-LAC), Embajada Suiza-Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2015). Evaluación Multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia. Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014. Medellín, Colombia. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023272/HH_ENA2014.pdf
- Corporación Ganadera (CORFOGA). (2020). Consumo aparente per cápita de carne de res agosto 2020. Recuperado de <http://www.corfoga.org/download/consumo-aparente-per-capita-de-carne-de-res-agosto-2020-2/>
- Corporación Ganadera (CORFOGA). (s.f.). Mataderos. Recuperado de <https://www.corfoga.org/mataderos/>
- Corredor-Camargo, E. S., Castro-Escobar, E. S., Páez-Barón, E. M. y Fonseca-Carreño, J. A. (2017). Metodologías utilizadas para estimar el impacto de la ganadería bovina sobre el recurso hídrico. Documentos De Trabajo ECAPMA, (1). Disponible en <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.1771>
- Decreto Ejecutivo N ° 37109. Reglamento del sistema de reconocimientos ambientales (SIREA) y derogatoria del decreto ejecutivo N ° 33525-MINAE, Reglamento para otorgar el certificado Bandera Ecológica, del 27 de noviembre de 2006 (NO VIGENTE). San José, Costa Rica, 13 de febrero de 2012. Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=72554#up
- Duarte, E. (2011). Uso del Agua en establecimientos agropecuarios: Sistema de abrevadero (I. Parte). Revista del Plan Agropecuario. 139: 52-55.
- Ertug, A. y Hoekstra, AY. (2012). Carbon and Water Footprints: concepts, methodologies and policy responses. Paris, Francia.
- Gonzáles, L. (2015). Análisis del sistema de producción de leche de la finca La Luna en el cantón de San Carlos (Trabajo Final de Graduación). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede San Carlos.
- Grajales, A., Jaramillo, A. y Cruz, G. (2008). Los nuevos conceptos sobre agua virtual y huella hídrica aplicados al desarrollo sostenible: implicaciones de la agricultura en el consumo hídrico. Universidad de Caldas, Colombia.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. 6.ª edición. McGraw-Hill Interamericana.
- Hoekstra, A. (2012). The hidden water resource use behind meat and dairy. Animal Frontiers 2(2).
- Hoekstra, A. y Chapagain, A. (2008). Globalization of water: Sharing the planet's freshwater

resources. Oxford, UK. Blackwell Publishing

Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M. y Mekonnen, M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual. Earthscan. London, Washington, D.

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2014). VI Censo Nacional Agropecuario 2014. Costa Rica. Recuperado de <https://www.inec.cr/agropecuario/actividad-agricola>

Instituto Nacional Tecnológico (Inatec) (s. f.). Manual del Protagonista: Pastos y Forrajes. Nicaragua. Recuperado de https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Manual_de_Pastos_y_Forrajes.pdf

Madrid, C. y Velázquez, E. (2008). El metabolismo hídrico de agua virtual: Una aplicación al sector hortofrutícola de Andalucía (España). Revista Iberoamericana de Economía Ecológica. 8: 29-47.

Manazza, J. (2012). Cuantificación y valoración económica del uso consuntivo del agua en los principales productos de las cadenas Lácteas de La Pampa y San Luis. - 1a ed. – San Luis: Ediciones INTA, 2012. 70 p.

Martínez, P. (2007). Descripción y evaluación económica de los sistemas de producción: Pastoreo, semiestabulado y estabulado en una muestra de fincas lecheras asociadas con Dos Pinos de la Zona norte, Costa Rica (Tesis de Licenciatura). Universidad Zamorano, Honduras.

Mekonnen, M. y Hoekstra, Y. (2012). A. global assessment of the water footprint of farm animal products. Ecosystems 15:401-415.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2007). Plan estratégico para el desarrollo de la agrocadena de la ganadería de carne en la Región Chorotega. Costa Rica.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2015). NAMA Ganadería. Costa Rica. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00368.pdf>

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.(2017). Guía de las Mejores Técnicas Disponibles para reducir el impacto ambiental de la ganadería. Madrid, España. Recuperado de https://rumiantes.com/wp-content/uploads/2018/06/mejorestecnicasdisponiblesparareducirelimpactoambientaldelaganaderia_tcm30-436663.pdf

Ministerio de Hacienda de Costa Rica. Estadísticas de importación y exportación. Recuperado de <http://www.hacienda.go.cr/contenido/370-estadisticas-de-importacion-y-exportacion>

Molina, R. (2008). Práctica dirigida en la finca y granja Loma Bonita en Pavones Turrialba, dedicada a la producción de huevo comercial y leche caprina y bovina (Tesis de Licenciatura). Universidad de Costa Rica.

- Molina, R. (2011). Sostenibilidad de los sistemas ganaderos localizados en el Parque Nacional Natural de las Hermosas y su zona de influencia (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia.
- Monge, M. (2016). Viabilidad económica-ambiental para la producción de cuarenta novillos de engorde estabulado en el cantón de San Ramón, Alajuela (Tesis de Licenciatura). Universidad de Costa Rica.
- Mora, E. (2014). Ganadería entre los árboles para recuperar equilibrios ecológicos. *AMBIENTICO*. 245.
- Morales, I. y Murillo, L. (2015). Análisis del censo ganadero 2014 para el sector ganadero. Recuperado de <http://corfoga.org/2012/wp-content/uploads/2013/07/An%C3%A1lisis-del-Censo-Agropecuario-2015-para-el-Sector-Ganadero.pdf>
- Muñoz, W. (2014). Cálculo de la huella hídrica en fincas ganaderas ubicadas en la cuenca del río La Villa, Panamá (Tesis de Maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie), Turrialba, Costa Rica.
- OCDE, FAO. (2019). OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2019-2028. Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/3/ca4076es/CA4076ES.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de política. Santiago, Chile. Recuperado de <http://www.fao.org/3/i3788s/i3788s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2012). El Agua y la seguridad alimentaria. Recuperado de http://www.unwater.org/wwd12/downloads/WWD2012_BROCHURE_ES.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2010). Hacia un sector ganadero más sostenible. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/40142/icode/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2018a). Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial-Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y su potencial de mitigación. Recuperado de <http://www.fao.org/gleam/results/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2018b). World Livestock: Transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals. Rome.
- Panel de Recursos Internacionales (PIR). (2019). Panorama de los Recursos Globales 2019: Recursos naturales para el futuro que queremos. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Nairobi, Kenia. Recuperado de https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27518/GRO_2019_SPM_SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y

- Petroselli, A., Giannotti, M., Marras, T. y Allegrini, E. (2017). Integrated system of phytodepuration and water reclamation: a comparative evaluation of four municipal wastewater treatment plants. *International Journal of Phytoremediation* Vol. 19, n.º 6, 563–571.
- Pezo, D. (2018). *Los pastos mejorados: su rol, usos y contribuciones a los sistemas ganaderos frente al cambio climático*. 1ª edición. Catie. Turrialba, Costa Rica.
- Piedra, L., Orozco, M., Ramírez, F., Castillo, M., Morales, V. y Luna, S. (2017). *Manual de Buenas Prácticas Ambientales para la Producción Ganadera dentro y fuera del Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado (RNVS Barra Del Colorado), Limón, Costa Rica. Área de Conservación Tortuguero (ACTo), Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), Proyecto para la Promoción del Manejo Participativo en la Conservación de la Biodiversidad (MAPCOBIO), la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA)*. Guápiles, Costa Rica.
- Programa Estado de la Nación (PEN). (2012). *Decimooctavo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*. San José, Programa Estado de la Nación.
- Ridoutt, B., Sanguansri, P. y Harper, G. (2011). Comparing Carbon and Water Footprints for Beef Cattle Production in Southern Australia. *Sustainability* 3(12):2443-2455.
- Ríos, N., Lanuza, E., Gámez, B., Montoya, A., Díaz, A., Sepúlveda, C. e Ibrahim, M. (2013). *Cálculo de la huella hídrica para producir un litro de leche en fincas ganaderas en Jinotega y Matiguás, Nicaragua. VII Congreso Latinoamericano de Sistemas Agroflorestais para produçãoa Pecuário Sustentev*. Turrialba, Costa Rica.
- Ritchie, H. (2019). Which countries eat the most meat?. Recuperado de <https://www.bbc.com/news/health-47057341>
- Rodríguez, F., Sotelo, J., Olcina, J., Tolón, A., García, J., Lastra, X., García, F., Sotelo, M. y Sotelo, I. (2011). *Huella hídrica, desarrollo y sostenibilidad en España*. Fundación MAPRE. Madrid, España.
- Rodríguez, R., Garrido, A., M. R. Llamas. y Varela-Ortega, C. (2008). *La huella hidrológica de la agricultura española*. Papeles de agua virtual (2). Madrid, España.
- Rojas, A. y Campos, C. (2015). *Hacia sistemas más intensivos en la producción de carne bovina: pastoreo con suplementación, semiestabulación y estabulación*. *Revista UTN Informa* (74), 14-21.
- Salmoral, G., Dumont, A., Ayala, M., Rodríguez-Casado, R., Garrido, A. y Llamas, M. (2011). *Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir*. Fundación Botín. Madrid, España.
- Sánchez, J. (2007). *Utilización eficiente de las pasturas tropicales en la alimentación del ganado lechero*. Seminario de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal. Barquisimeto, Venezuela. Recuperado de <http://www.feednet.ucr.ac.cr/bromatologia/forrajes.pdf>

- Sánchez, L. (2007). Caracterización de la mano de obra en fincas ganaderas y rentabilidad de bancos forrajeros en Esparza, Costa Rica (Tesis de Maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie), Turrialba, Costa Rica.
- Schroeder, J. (2008). Water needs and quality guidelines for dairy cattle. North Dakota State University. Recuperado de <https://www.ag.ndsu.edu/publications/livestock/water-needs-and-quality-guidelines-for-dairy-cattle>
- Spencer, C., Lalman, D., Rolf, M. y Richards, C. (2017). Estimating water requirements for beef cows. Oklahoma State University. Recuperado de <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-10759/ANSI-3299web.pdf>
- Statistics Canada. (2003). Livestock feed requirement study 1999-2001. Agriculture Division, Statistics Canada. Ottawa, Canada. Recuperado de <http://www.statcan.gc.ca/pub/23-501-x/23-501-x2003001-eng.pdf>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. y Haan, C. (2009). La larga sombra del ganado. Roma, Italia.
- Torres, A. (2014). Planificación de fincas basada en sistemas silvopastoriles en la cuenca media del río Jesús María, Costa Rica (Tesis de Maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie).
- Viguera, B., Watler, W. y Morales, M. (2018). Ficha Técnica para sistemas productivos con ganado bovino. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe%20Bobino.pdf>
- Villalobos, R. (2012). Práctica dirigida realizada en la finca lechera agropecuaria Valle Arriba (Río Cuarto, Grecia Costa Rica) (Tesis de Licenciatura). Universidad de Costa Rica.
- Villanueva, C., Ibrahim, M. y Haenel, G. (2010). Producción y rentabilidad de sistemas silvopastoriles. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie), Turrialba, Costa Rica.
- Water Footprint Network (s.fa). Aims & history. Recuperado de <https://waterfootprint.org/en/about-us/aims-history/>
- Water Footprint Network (s.fb). Frequently asked questions. Recuperado de <https://waterfootprint.org/en/water-footprint/frequently-asked-questions/>

Anexo A. Tablas de los cálculos de agua virtual por producto importado y exportado

Cuadro A.1. Contenido de agua virtual de las exportaciones realizadas en el 2014, Ministerio de Hacienda

Table A.1. Virtual water content of exports made in 2014, Ministerio de Hacienda

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	PESO EN TONELADAS	Agua virtual ¹ (m ³ /ton)	Exportaciones de agua virtual (m ³)
Animales vivos de la especie bovina.	265.05	10 761.00	2 852 190.24
Carne de animales de la especie bovina, fresca o refrigerada	28 930.59	25 314.00	732 348 919.31
Carne de animales de la especie bovina, congelada	10 121.18	25 314.00	256 207 529.66
Despojos comestibles de animales de las especies bovinas refrigerados o congelados	2 723.01	10 142.00	27 616 774.23
Leche y nata (crema), sin concentrar, sin adición de azúcar ni otro edulcorante	52 923.09	2 450.00	129 661 580.23
Leche y nata (crema), concentradas o con adición de azúcar u otro edulcorante	13 783.28	2 978.00	41 046 609.25
Suero de mantequilla, leche y nata (crema) cuajadas, yogur, kéfir y otras leches y natas (cremas) fermentadas o acidificadas, incluso concentrados, con adición de azúcar u otro edulcorante, aromatizados o con frutas u otros frutos o cacao	6 133.63	2 617.00	16 051 700.51
Lactosuero, incluso concentrado o con adición de azúcar u otro edulcorante; productos constituidos por los componentes naturales de la leche, incluso con adición de azúcar u otro edulcorante, no expresados ni comprendidos en otra parte	7 213.47	1 858.00	13 402 622.70
Mantequilla y otras materias grasas de la leche; pastas lácteas para untar	1 349.69	-	-
Quesos y requesón	2 799.36	8 526.00	23 867 366.58
Grasa de animales de las especies bovina	1 717.00	-	-
Helados, incluso con cacao	4 169.00	1 858.00	7 746 003.20
Cueros y pieles en bruto de bovino	10 481,67	11 234.00	117 751 053.36
Cueros y pieles curtidos o <i>crust</i> de bovino	324.62	28 150.00	9 138 081.15
Cueros preparados después del curtido o del secado y cueros y pieles apergaminados de bovino	20.54	28 160.00	578 485.25
Total	142 955.18		1 378 268 915.67

Fuente: Chapagain y Hoekstra, 2003.

Cuadro A.2. Contenido de agua virtual de las importaciones realizadas en el 2014, Ministerio de Hacienda
Table A.2. Virtual water content of imports made in 2014, Ministerio de Hacienda

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	PESO EN TONELADAS	Agua virtual ¹ (m ³ /ton)	Importaciones de agua virtual (m ³)
Animales vivos de la especie bovina	5 033.05	10 761.00	54 160 620.12
Carne de animales de la especie bovina, fresca o refrigerada	1 505.65	25 314.00	38 114 064.80
Carne de animales de la especie bovina, congelada	1 849.72	25 314.00	46 823 706.12
Despojos comestibles de animales de las especies bovinas	1 030.79	10 142.00	10 454 274.28
Leche y nata (crema), sin concentrar, sin adición de azúcar ni otro edulcorante	4 896.44	2 450.00	11 996 286.46
Leche y nata (crema), concentradas o con adición de azúcar u otro edulcorante	7 585.19	2 978.00	22 588 701.21
Suero de mantequilla, leche y nata (crema) cuajadas, yogur, kéfir y otros leches y natas (cremas) fermentadas o acidificadas, incluso concentrados, con adición de azúcar u otro edulcorante, aromatizados o con frutas u otros frutos o cacao	335.02	2 617.00	876 754.74
Lactosuero, incluso concentrado o con adición de azúcar u otro edulcorante; productos constituidos por los componentes naturales de la leche, incluso con adición de azúcar u otro edulcorante, no expresados ni comprendidos en otra parte	1 590.94	1 858.00	2 955 959.97
Mantequilla y otras materias grasas de la leche; pastas lácteas para untar	292.02	-	-
Quesos y requesón.	2 941.41	8 526.00	25 078 455.07
Grasa de animales de la especie bovina	285.58	-	-
Helados, incluso con cacao	1 213.08	1 858.00	2 253 904.22
Cueros y pieles en bruto de bovino	138.31	11 234.00	1 553 729.60
Cueros y pieles curtidos o <i>crust</i> de bovino	11.61	28 150.00	326.836.39
Cueros preparados después del curtido o del secado y cueros y pieles apergaminados de bovino	62.83	28 160.00	1 769 208.09
Total	28 771.64		218 952 501.08

Fuente: ¹Chapagain y Hoekstra, 2003

Anexo B. Cálculo de la huella hídrica del sector ganadero bovino de Costa Rica

Anexo B.1. Cálculo con los valores máximos de agua contenida en la alimentación

$$WF_{Liv}(m^3) = UA_{Liv} + VW_{I,Liv} - VW_{E,Liv} [1]$$

$$UA_{Liv} = V_a \times A [2]$$

$$V_a = V_{feed} + V_{drink} + V_{services} [3]$$

Cuadro B.1.1. Cálculo del agua virtual contenida en la alimentación para las vacas lecheras

Table B.1.1. Calculation of the virtual water contained in the feed for dairy cows

Edad	Agua contenida en la alimentación (m ³ /día/vaca)	Agua contenida en la alimentación (m ³ /año)
Productora	21.18	1,274,148,558.00
Vaca seca	8.50	110,791,167.50
Terneras	4.51	107,548,720.95
Novillas	3.97	88,748,990.95
Total		1,581,237,437.40

Cuadro B.1.2. Cálculo del agua virtual contenida en la alimentación para las vacas doble propósito

Table B.1.2. Calculation of the virtual water contained in the feed for dual purpose cows

Edad	Agua contenida en la alimentación (m³/día/vaca)	Agua contenida en la alimentación (m³/año)
Productora	6.00	437,069,250.00
Novilla	5.53	200,200,446.88
Ternera	2.98	120,574,474.13
Total		757,844,171.00

Cuadro B.1.3. Cálculo del agua virtual contenida en la alimentación para las vacas de carne

Table B.1.3. Calculation of the virtual water contained in the feed for beef cows

Edad	Agua contenida en la alimentación (m³/día/vaca)	Agua contenida en la alimentación (m³/año)
Terneras	2.98	143,743,789.00
Novillas	4.76	320,501,652.80
Productora	8.81	712,868,154.32
Total		1,177,113,596.12

Cuadro B.1.4. Cálculo del agua de bebida para vacas lecheras

Table B.1.4. Calculation of drinking water for dairy cows

Edad	Consumo de agua (m³/d)	Consumo de agua (m³/año)
Productora	0.1089	6,553,021.83
Vaca seca	0.0650	847,226.58
Terneras	0.0925	2,208,270.08
Novillas	0.0028	61,426.49
Total		9,669,944.97

Cuadro B.1.5. Cálculo del agua de bebida para vacas doble propósito

Table B.1.5. Calculation of drinking water for dual purpose cows

Edad	Consumo de agua (m³/d)	Consumo de agua (m³/año)
Productora	0.060	3,592,350.00
Novilla	0.057	2,065,416.38
Ternera	0.060	2,431,754.10
Total		8,089,520.48

Cuadro B.1.6. Cálculo del agua de bebida para vacas de carne

Table B.1.6. Calculation of drinking water for beef cows

Edad	Consumo de agua (m³/d)	Consumo de agua (m³/año)
Productora	0.060	4,854,596.76
Novilla	0.036	2,423,962.08
Ternera	0.052	2,488,337.86
Total		9,766,896.70

Cuadro B.1.7. Cálculo del agua para servicios para vacas lecheras, doble propósito y de carne

Table B.1.7. Calculation of water for services for dairy, dual purpose and beef cows

	Uso de agua (m³/d)	Uso de agua (m³/año)
Leche	0.014	1,715,415.20
Doble Propósito	0.014	2,149,389.60
Carne	0.014	2,824,291.93
Total		6,689,096.73

Cuadro B.1.8. Cálculo del uso de los recursos hídricos en la ganadería para vacas lecheras, doble propósito y de carne
Table B.1.8. Calculation of the use of water resources in livestock for dairy, dual purpose and beef cows

	Agua virtual alimentación (V_{feed}) (m^3)	Agua de bebida (V_{drink}) (m^3)	Agua de servicios ($V_{services}$) (m^3)	Agua virtual animales (UALiv) (m^3)
Leche	1,581,237,437.40	9,669,944.97	1,715,415.20	1,592,622,797.57
Doble Propósito	757,844,171.00	8,089,520.48	2,149,389.60	768,083,081.08
Carne	1,177,113,596.12	9,766,896.70	2,824,291.93	1,189,704,784.75
Total (m^3)	3,516,195,204.52	27,526,362.15	6,689,096.73	3,550,410,663.39

$$WF_{Liv}(m^3) = UA_{Liv} + VW_{I,Liv} - VW_{E,Liv}$$

$$WF_{Liv}(m^3) = 3\,550\,410\,663.39 + 218\,952\,501.08 - 1\,378\,268\,915.67$$

$$WF_{Liv}(m^3) = 3\,769\,363\,164.47 - 1\,378\,268\,915.67$$

$$WF_{Liv}(m^3) = 2\,391\,094\,248.80$$

Anexo B.2. Cálculo con los valores mínimos de agua contenida en la alimentación

$$WF_{Liv}(m^3) = UA_{Liv} + VW_{I,Liv} - VW_{E,Liv} [1]$$

$$UA_{Liv} = V_a \times A [2]$$

$$V_a = V_{feed} + V_{drink} + V_{services} [3]$$

Cuadro B.2.1. Cálculo del agua virtual contenida en la alimentación para las vacas lecheras

Table B.2.1. Calculation of the virtual water contained in the feed for dairy cows

Edad	Agua contenida en la alimentación (m ³ /día/vaca)	Agua contenida en la alimentación (m ³ /año)
Productora	6.80	409,075,080.00
Vaca seca	8.50	110,791,167.50
Terneras	4.51	107,548,720.95
Novillas	3.97	88,748,990.95
Total		716,163,959.40

Cuadro B.2.2. Cálculo del agua virtual contenida en la alimentación para las vacas doble propósito

Table B.2.2. Calculation of the virtual water contained in the feed for dual purpose cows

Edad	Agua contenida en la alimentación (m ³ /día/vaca)	Agua contenida en la alimentación (m ³ /año)
Productora	3.19	232,224,305.77
Novilla	5.53	200,200,446.88
Ternera	2.98	120,574,474.13
Total		552,999,226.77

Cuadro B.2.3. Cálculo del agua virtual contenida en la alimentación para las vacas de carne

Table B.2.3. Calculation of the virtual water contained in the feed for beef cows

Edad	Agua contenida en la alimentación (m³/día/vaca)	Agua contenida en la alimentación (m³/año)
Terneras	2.98	143,743,789.00
Novillas	4.76	320,501,652.80
Productora	4.91	397,213,524.23
Total		861,458,966.03

Cuadro B.2.4. Cálculo del agua de bebida para vacas lecheras

Table B.2.4. Calculation of drinking water for dairy cows

Edad	Consumo de agua (m³/d)	Consumo de agua (m³/año)
Productora	0.1089	6,553,021.83
Vaca seca	0.0650	847,226.58
Terneras	0.0925	2,208,270.08
Novillas	0.0028	61,426.49
Total		9,669,944.97

Cuadro B.2.5. Cálculo del agua de bebida para vacas doble propósito

Table B.2.5. Calculation of drinking water for dual purpose cows

Edad	Consumo de agua (m³/d)	Consumo de agua (m³/año)
Productora	0.060	3,592,350.00
Novilla	0.057	2,065,416.38
Ternera	0.060	2,431,754.10
Total		8,089,520.48

Cuadro B.2.6. Cálculo del agua de bebida para vacas de carne**Table B.2.6.** Calculation of drinking water for beef cows

Edad	Consumo de agua (m³/d)	Consumo de agua (m³/año)
Productora	0.060	4,854,596.76
Novilla	0.036	2,423,962.08
Ternera	0.052	2,488,337.86
Total		9,766,896.70

Cuadro B.2.7. Cálculo del agua para servicios para vacas lecheras, doble propósito y de carne**Table B.2.7.** Calculation of water for services for dairy, dual purpose and beef cows

	Uso de agua (m³/d)	Uso de agua (m³/año)
Leche	0.014	1,715,415.20
Doble Propósito	0.014	2,149,389.60
Carne	0.014	2,824,291.93
Total		6,689,096.73

Cuadro B.2.8. Cálculo del uso de los recursos hídricos en la ganadería para vacas lecheras, doble propósito y de carne**Table B.2.8.** Calculation of the use of water resources in livestock for dairy, dual purpose and beef cows

	Agua virtual alimentación (V_{feed}) (m³)	Agua de bebida (V_{drink}) (m³)	Agua de servicios (V_{services}) (m³)	Agua virtual animales (UALiv) (m³)
Leche	716,163,959.40	9,669,944.97	1,715,415.20	727,549,319.57
Doble Propósito	552,999,226.77	8,089,520.48	2,149,389.60	563,238,136.85
Carne	861,458,966.03	9,766,896.70	2,824,291.93	874,050,154.66
Total (m³)	2,130,622,152.20	27,526,362.15	6,689,096.73	2,164,837,611.07

$$WF_{Liv}(m^3) = 2\,164\,837\,611.07 + 218\,952\,501.08 - 1\,378\,268\,915.67$$

$$WF_{Liv}(m^3) = 2\,383\,790\,112.15 - 1\,378\,268\,915.67$$

$$WF_{Liv}(m^3) = 1\,005\,521\,196.48$$