

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DEL AGUA EN ESTABLECIMIENTOS
LECHEROS DEL DEPARTAMENTO DE COLONIA

por

Iván MALÁN

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO
URUGUAY
2015

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Alejandro LA MANNA

Ing. Agr. Laura ASTIGARRAGA

Ing. Agr. Ana BIANCO

Fecha:

Autor:

Iván MALÁN

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Bruno y Graciela, a mis hermanas Ine y Pauli por apoyarme y animarme siempre, y al Ciro por distraerme en momentos necesarios.

A Susi y Riki por su colaboración y por siempre estar.

A los Ing. Mario Fosatti, Silvia Bertón y Jorge Nicoli, así también productores y tamberos por su buena disposición a brindar información.

A Sylvia por sus aportes fundamentales.

A mis amigos por siempre acompañarme y apoyarme.

A mi tutor de Tesis Alejandro La Manna, y a Lorena Román por el apoyo y la conducción de este trabajo.

A aquellos docentes de Facultad de Agronomía que motivan y comparten sus conocimientos con entusiasmo.

Al personal de Biblioteca por tener siempre muy buena disposición y ser amables en la búsqueda de información y en la corrección de este trabajo.

Por último todos aquellos que han colaborado en la obtención y presentación del presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1 AGUA EN EL MUNDO.....	3
2.2 CICLO HIDROLÓGICO.....	4
2.3 CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DEL URUGUAY..	5
2.4 SITUACIÓN HÍDRICA DEL URUGUAY.....	6
2.5 HUELLA DEL AGUA.....	7
2.5.1 <u>Metodologías de cálculo de la huella del agua</u>	8
2.5.1.1 Water footprint network	8
2.5.1.2 Evaluación del impacto del consumo de agua dulce	8
2.5.1.3 Impacto del uso del agua dulce.....	9
2.5.1.4 Organización Internacional de Normalización (ISO).....	10
2.5.2 <u>Huella del agua en la producción agropecuaria</u>	11
2.5.2.1 Huella del agua de la leche.....	12
2.6 USO DE AGUA EN TAMBOS.....	12
2.6.1 <u>Consumo animal</u>	12
2.6.2 <u>Agua en instalaciones</u>	14
2.6.3 <u>Lavado de pezones</u>	15
2.6.4 <u>Mojado de animales</u>	15
2.6.5 <u>Energías</u>	16
2.6.5.1 Combustible.....	16
2.6.5.2 Energía eléctrica.....	17
2.7 SITUACIÓN DE CASOS DE LA HUELLA DEL AGUA EN ESTABLECIMIENTOS LECHEROS DEL MUNDO.....	17
2.7.1 <u>Nueva Zelanda</u>	17
2.7.2 <u>Australia</u>	18
2.7.3 <u>Reino Unido</u>	19
2.7.4 <u>Brasil</u>	20

2.7.5 <u>Chile</u>	21
2.8 HIPÓTESIS.....	22
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	23
3.1 LECHERÍA EN EL URUGUAY.....	23
3.1.1 <u>Lechería en Colonia</u>	23
3.2 SELECCIÓN DE CASOS.....	23
3.3 ALCANCE Y LIMITES DEL ANÁLISIS.....	25
3.4 DEFINICIÓN DE LA UNIDAD FUNCIONAL.....	25
3.5 CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA DEL AGUA.....	26
3.5.1 <u>Huella del agua verde</u>	26
3.5.1.1 Alimentación.....	26
3.5.1.2 Alimentos prediales.....	26
3.5.1.3 Semillas.....	28
3.5.1.4 Alimentos extraprediales.....	29
3.5.2 <u>Huella del agua azul</u>	30
3.5.2.1 Agua bebida.....	30
3.5.2.2 Vacas en ordeño.....	30
3.5.2.3 Vacas secas.....	31
3.5.2.4 Combustible.....	31
3.5.2.5 Electricidad.....	32
3.5.2.6 Fertilizantes y pesticidas.....	32
3.5.2.7 Efluentes.....	33
3.5.3 <u>Huella del agua gris</u>	33
3.5.3.1 Manejo en el ordeño.....	33
3.5.3.2 Fertilizantes y pesticidas.....	34
3.6 AGUA EN LOS ESTABLECIMIENTOS.....	35
4. <u>RESULTADOS</u>	36
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA BASE DE DATOS.....	36
4.2 HUELLA DEL AGUA VERDE.....	37
4.3 HUELLA DEL AGUA AZUL.....	38
4.4 HUELLA DEL AGUA GRIS.....	39
4.5 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	40
4.5.1 <u>Huella del agua verde</u>	40
4.5.2 <u>Huella del agua azul</u>	42
4.5.3 <u>Huella del agua gris</u>	44

4.5.4 <u>Variables productivas</u>	45
4.5.5 <u>Huella del agua total</u>	47
5. <u>DISCUSIÓN</u>	49
5.1 HUELLA DEL AGUA.....	49
5.2 HUELLA DEL AGUA VERDE.....	49
5.3 HUELLA DEL AGUA AZUL.....	50
5.4 HUELLA DEL AGUA GRIS.....	51
5.5 ANÁLISIS COMPARATIVO.....	52
5.5.1 <u>Nueva Zelanda</u>	52
5.5.1.1 Huella del agua verde.....	52
5.5.1.2 Huella del agua azul.....	53
5.5.1.3 Huella del agua gris.....	54
6. <u>CONCLUSIONES</u>	55
7. <u>RESUMEN</u>	56
8. <u>SUMMARY</u>	57
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	58

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Consumo de agua para diferentes categorías y niveles de producción bajo diferentes temperaturas ambientes.....	14
2. Valores de Huella del agua de la leche de los predios analizados.....	37
3. Eigenvectores correspondientes al agua verde de los 14 tambos.....	40
4. Eigenvectores correspondientes al agua azul de los 14 tambos.....	42
5. Eigenvectores correspondientes al agua gris de los 14 tambos.....	44
6. Eigenvectores correspondientes a variables productivas de los 14 tambos.....	45
7. Eigenvectores correspondientes a la huella del agua azul, verde y gris de los 14 tambos	47
Figura No.	
1. Componentes de la huella del agua verde en los establecimientos analizados.....	38
2. Componentes de la huella del agua azul en los establecimientos analizados.....	39
3. Componentes de la huella del agua gris en los Establecimientos analizados.....	40
4. Proyección de variables técnicas de la huella del agua verde de los predios lecheros, en los ejes 1 y 2 definidos por el análisis de componentes principales.....	41

5. Proyección de variables técnicas de la huella del agua azul de los predios lecheros, en los ejes 1 y 2 definidos por el análisis de componentes principales.....	43
6. Proyección de variables técnicas de la huella del agua gris de los predios lecheros, en los ejes 1 y 2 definidos por el análisis de componentes principales.....	44
7. Proyección de variables productivas de los predios lecheros en los ejes 1 y 2 definidos por el análisis de componentes principales.....	46
8. Proyección de la huella del agua azul, verde y gris de los predios lecheros, en los ejes 1 y 2 definidos por el análisis de componentes principales.....	47

1. INTRODUCCIÓN

“El agua es esencial para la vida. La cantidad de agua dulce existente en la tierra es limitada, y su calidad está sometida a una presión constante” (OMS, 2015). La creciente preocupación a nivel mundial, sobre la sostenibilidad del recurso agua, como consecuencia de su mala gestión, planteó la necesidad de crear un indicador de consumo de agua.

En el año 2002, Hoekstra introduce el concepto de huella del agua, como un indicador capaz de representar geográficamente los impactos del consumo global de agua dulce. Este indicador permite relacionar el consumo humano con los recursos hídricos mundiales, y puede ser aplicado a individuos, comunidades o productos (Aldaya et al., 2011).

En el año 2009 se lanza la Norma Internacional ISO 14046, siendo modificada en el año 2014 la cual proporciona un marco estandarizado para la cuantificación y reporte de la Huella de Agua. La nueva norma ISO 14046:2014 unifica conceptos a nivel mundial en huella hídrica, y pasa a ser referencia internacional para el cálculo de este indicador.

En la actualidad, es sabido, que los mayores consumos de agua dulce se dan en el sector agropecuario. En el Uruguay en el año 2014, los principales productos exportados de nuestro país fueron la soja, la carne bovina y los productos lácteos (Uruguay XXI, 2014). En este sentido, como país agroexportador, se plantea la necesidad de conocer mejor las características intrínsecas de los productos comercializados. Los mercados internacionales exigen cada vez más estándares asociados al cambio climático, como forma de conocer más el ciclo de vida de los productos agropecuarios.

El presente trabajo tuvo como objetivo general determinar la huella del agua de la leche en sistemas de producción con diferente productividad por vaca y unidad de superficie en el departamento de Colonia. En tanto como objetivos específicos, se planteó, determinar la huella del agua verde, azul y gris en diferentes sistemas de alimentación y productividad, y relacionarlo con el valor de huella del agua total.

El trabajo se estructura en diferentes etapas. En una primera instancia se planteó el problema y se definieron los conceptos teóricos

principales implicados en la construcción del problema. Luego se buscaron antecedentes de estudio y se plantearon las hipótesis.

En una segunda instancia se definió el sistema a estudiar, la unidad funcional de trabajo y la metodología de empleada para el cálculo del indicador. Por último se analizaron los resultados y se generaron las conclusiones.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 AGUA EN EL MUNDO

El agua cubre un 71% de la superficie del planeta aproximadamente, de la misma 2,5 % es agua dulce, y un 0,003% es de fácil acceso para el consumo humano (CIA, 2014).

En la actualidad, la población mundial es de aproximadamente 7000 millones de personas, y se prevé que para el año 2050 llegue a los 9000 millones (Crossette, 2011). Se estimó que para el año 2015 unas 600 millones de personas, según informe sobre los “Objetivos de Desarrollo del Milenio”, no tenían acceso a una fuente de agua potable (Zukang, 2012).

La escasez de agua es un fenómeno tanto natural como inducido por la intervención humana. A pesar de que hay suficiente reserva de agua dulce para satisfacer las necesidades de la población mundial, su distribución no es equitativa y en algunos casos se desperdicia, contamina o afecta por una gestión inapropiada (UNESCO, 2015).

En la actualidad muchos países se encuentran en una situación hídrica deficitaria, porque están consumiendo más agua, que los recursos renovables que tienen disponibles. Los déficits de agua se producen principalmente si la extracción de aguas subterráneas supera la recarga de los acuíferos (FAO, 2011).

Se considera a nivel mundial, que las extracciones de agua dulce (aguas superficiales como subterráneas) han aumentado alrededor de un 1 % por año, desde finales de la década de 1980 (Koncagül et al., 2014).

Por estas razones, es de suma importancia la implementación de programas que apunten a la protección del medio ambiente natural, la conservación de los recursos hídricos y su eficiente gestión (UNESCO, 2015).

En muchos países son necesarias políticas más firmes para regular la utilización del agua y permitir un orden equitativo y sostenible de la misma. En especial los países en desarrollo, las instituciones encargadas de gestionar el agua, a menudo carecen de los recursos humanos, técnicos y financieros necesarios para elaborar planes globales de gestión y garantizar su aplicación (UNESCO, 2013).

En nuestro país el Ministro Tabaré Aguerre, se refirió en el año 2012, a la relevancia de este recurso natural para la producción agropecuaria en su discurso “El agua como recurso estratégico para el desarrollo sustentable” (24/03/12). Además entre los objetivos oficiales consignados en el documento de “Lineamientos políticos del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca y la institucionalidad pública agropecuaria 2010-2015”, se menciona el de *“articular con las instituciones que correspondan para la identificación y desarrollo de la política de agua con una visión de mediano y largo plazo”* (Galván, 2012).

La creciente demanda de la agricultura y otros sectores conduce a la competencia por el agua, debido a la presión ambiental. En este sentido la agricultura ocupa un 11% de la superficie terrestre, donde se extrae un 70% del agua total de los acuíferos, ríos y lagos para la producción de cultivos (FAO, 2011). El sector pecuario también es un factor clave en el incremento del uso del agua ya que es responsable del 8 % del consumo mundial de este recurso (Steinfeld et al., 2006).

2.2 CICLO HIDROLÓGICO

El comportamiento del agua en la naturaleza, se explica por el ciclo hidrológico, el cual es fundamental en el estudio del agua.

El ciclo hidrológico es el proceso de circulación de agua entre los distintos compartimentos de la hidrósfera por medio de sus cambios de estado. El sol es la fuente de energía térmica necesaria para el paso del agua desde las fases líquida y sólida a la fase de vapor, así como también da origen a las circulaciones atmosféricas que transportan el vapor de agua y mueven las nubes. La fuerza de gravedad da lugar a la precipitación y al escurrimiento.

En el ciclo hidrológico el agua en estado de vapor, asciende a la atmósfera y retorna a la superficie de la tierra en forma líquida y sólida.

La transferencia de agua desde la superficie de la tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, es por medio de la evaporación directa, la transpiración por las plantas (evapotranspiración) y animales, así como también por sublimación (pasaje de sólido a gaseoso). El vapor que se encuentra en las capas superiores de la atmósfera se condensa a causa de las bajas temperaturas, generando nubes y posteriormente precipitaciones. La mayor parte de las precipitaciones cae en los océanos y el restante sobre la tierra. Esta última tiene varios destinos; puede ser devuelta a la atmósfera directamente por evaporación, correr por la superficie del terreno (escorrentía superficial) o infiltrar directamente al suelo.

El escurrimiento superficial como el subterráneo alimentan los cursos de agua que desaguan en lagos y en océanos. El agua infiltrada que se encuentra a poca profundidad en la tierra, es utilizada por las plantas y transpirada a través de la superficie de las hojas, a la atmósfera. Otro destino del agua subterránea es llegar a las capas más profundas de suelo y recarga los acuíferos (USGS y UNESCO, 2014).

2.3 CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DEL URUGUAY

El Uruguay se ubica entre el paralelo 30° y 35 ° de latitud Sur y los meridianos 53°y 58° de longitud Oeste. Se encuentra en la zona templada austral del Hemisferio Sur. Su clima es moderado y se diferencian en él las cuatro estaciones climáticas. Las temperaturas extremas en verano pueden llegar a 40°C y en invierno a los 2°- 3° C bajo cero. Los vientos que predominan son el viento Norte, húmedo y caluroso, y el viento Pampero y del Sur, frío y seco (Yelpo y Serrentino, 2000).

La precipitación acumulada anual en el país se sitúa entre valores medios de 1200 y 1600 mm con los menores valores situados al suroeste (Colonia) y los máximos al noreste (Rivera y Artigas). El ciclo anual tiene una doble estación lluviosa, con un máximo principal en otoño y un máximo secundario en primavera, un mínimo principal en invierno (excepto en el este y sureste) y un mínimo secundario a mitad del verano. En el territorio no hay una estación seca ni una estación lluviosa bien definida. Se registran acumulados medios mensuales entre 60 mm/mes (litoral oeste en invierno) y 140 mm/mes (noroeste en abril y octubre).

La capacidad de almacenar agua de los suelos del país presenta una alta variabilidad, con zonas de suelos superficiales con capacidad inferior a 30 mm y zonas de suelos profundos con capacidad superior a 170 mm.

La evapotranspiración acumulada media anual, estimada por el método de Penman-Monteith, se sitúa entre 1000 y 1200 mm. La evapotranspiración presenta un claro comportamiento estacional registrándose los valores más altos durante el verano (160-185 mm/mes), seguido de la primavera (95-105 mm/mes), el otoño (65-80 mm/mes) y el invierno con 25-35 mm/mes. En los meses del otoño-invierno es cuando se registran en promedio valores significativos de agua excedente en suelo, como consecuencia de la menor evapotranspiración que se registra (Castaño et al., 2011)

2.4 SITUACIÓN HÍDRICA DEL URUGUAY

Uruguay se caracteriza por presentar relieve suavemente ondulado, con una pendiente de altura media de 150 m sobre el nivel del mar. En el país se desarrolla una red hidrográfica densa y muy ramificada, donde todas las corrientes fluviales desembocan en el océano Atlántico. Se identifican seis cuencas principales: la del Río Uruguay, del Río de la Plata, el Océano Atlántico, la Laguna Merín, el Río Negro y el Río Santa Lucía. Los ríos de mayor caudal son el Río Uruguay y Río Negro.

La cuenca del Río Uruguay es la más importante, se ubica al oeste del país. La misma nace en el sudeste de Brasil y desemboca en el Río de la Plata.

El Río Negro atraviesa el país, siendo el principal afluente del Río Uruguay. La cuenca del Río Negro está limitada por la Cuchilla Grande al este, la Cuchilla de Haedo al oeste y la Cuchilla Grande del Oeste al sur. Es la más extensa de todas las cuencas de nuestro país, con 800 km.

El Río de la Plata es donde convergen las aguas del Río Paraná y Uruguay. Este se forma en el paralelo de Punta Gorda y desemboca en el Océano Atlántico.

La Laguna Merín se encuentra al este del país, sus principales afluentes son el río Cebollatí, el río Yaguarón y el río Tacuarí. La laguna forma una gran cuenca hidrográfica binacional, que en Uruguay ocupa el 18% del territorio (Agua; situación... 2001).

Según González et al. (2008) el uso principal de las aguas superficiales, sin tener en cuenta los embalses para la generación hidroeléctrica, es el riego (86% con fines agrarios), el abastecimiento a la población 9%, uso industrial 3 % y otros usos 2% (recreativo, bebedero de ganado, incendios y más). En su mayoría, las cuencas se utilizan para el riego, excepto la del Río Santa Lucía (uso doméstico) y el Río de la Plata (uso industrial).

Las reservas subterráneas de agua se encuentran en acuíferos, que son estratos o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros o grietas y así su aprovechamiento. Los principales acuíferos que se identifican en el país, con buenas condiciones para su explotación y calidad de aguas son: Guaraní, Tacuarembó, Raigón, Salto y Mercedes.

El acuífero Guaraní que se encuentra en parte del territorio de Uruguay, Argentina, Brasil y Paraguay, es la reserva de agua dulce subterránea más grande del mundo. Este acuífero en el Uruguay se extiende bajo la mayor parte de los departamentos ubicados al norte del país (Agua; situación...2001).

El acuífero Tacuarembó es el más importante en extensión, situado en la parte N-NW, se encuentra a una profundidad superior a los 500 m. El acuífero Raigón en el departamento de San José, se encuentra sobre la cuenca del Río Santa Lucía. El acuífero Salto se ubica al noroeste del país. El acuífero Mercedes se encuentra en el litoral oeste del país (FAO, 2015).

2.5 HUELLA DEL AGUA

En el Uruguay si bien la disponibilidad de recursos hídricos no es un problema aún, se ha comenzado a estudiar la eficiencia en el uso de dicho recurso en los principales sistemas productivos, en base al indicador huella del agua.

En 1998, John Anthony Allan, introdujo el concepto de “agua virtual”, el cual hace referencia a la cantidad de agua dulce utilizada para la elaboración de un producto (WFN, 2008).

En el año 2002 el concepto de agua virtual se complejiza con el concepto de “huella del agua” de un producto, el cual se define como el volumen de agua dulce que se utiliza para su elaboración, medido a lo largo de la cadena de producción y expresado en volumen de agua por unidad de producto (m^3/ton^{-1}). La huella del agua a diferencia del “agua virtual” es un indicador multidimensional, que muestra el volumen de agua consumida, la localización y el tiempo en que se usó, así como el origen del agua. Este indicador toma en cuenta el uso de agua directo como indirecto por parte de un consumidor (Hoekstra et al., 2011).

Para el cálculo de la huella del agua se clasifica la fuente de agua según su origen, como agua azul, verde o gris.

La huella de agua azul es el volumen de agua superficial y subterránea evaporada, incorporada al producto, devuelta a otra cuenca o al mar, o retenida y devuelta en otro período de tiempo, como resultado de la elaboración de un bien o servicio.

La huella de agua verde se refiere a la precipitación sobre la tierra que no sufre escorrentía, por lo que se almacena en los estratos permeables superficiales del suelo o permanece sobre el suelo o las plantas. Esta agua se evaporará o transpirará a través de las plantas.

La huella de agua gris es el volumen de agua necesaria para diluir los contaminantes hasta tal punto que la calidad del agua se mantiene

por encima de los estándares de calidad ambiental (Hoekstra et al., 2011).

La huella del agua de un producto intermedio o final es la suma de las huellas del agua de las diversas etapas del proceso de producción.

2.5.1 Metodologías de cálculo de la huella del agua

Las diferentes metodologías que cuantifican el uso de agua se sustentan en los principios del Análisis del Ciclo de Vida. Estas metodologías son:

2.5.1.1 Water footprint network

Hoekstra et al. (2011) definen cuatro fases necesarias en la evaluación de la huella del agua.

- Establecer objetivos y su alcance
- Contabilizar la huella hídrica
- Evaluar la sostenibilidad
- Formular la respuesta

En primer lugar se debe definir los objetivos y alcance de la huella del agua de un proceso, gobierno o producto, en un espacio y tiempo específico.

Una vez que se cuenta con el valor del indicador huella del agua es necesario realizar una evaluación de la sostenibilidad, formulando estrategias para mejorar la eficiencia en el uso del agua. Las estrategias son orientadas a reducir la huella del agua del producto o gobierno analizado, incluyendo proyectos a corto y largo plazo.

El análisis de sostenibilidad según Hoekstra et al. (2011) debería seguirse 4 pasos consecutivos: la identificación de los criterios de sostenibilidad a evaluar, en segundo lugar identificar los puntos calientes (hotspot). En tercer lugar, identificación y cuantificación de impactos primarios y por último identificación y cuantificación de impactos secundarios.

2.5.1.2 Evaluación del impacto del consumo de agua dulce

Pfister et al. (2009) proponen una evaluación del impacto del consumo de agua azul en dos categorías: salud humana y calidad de los ecosistemas, tomando en consideración solo el agua azul.

El impacto potencial sobre la salud humana es evaluado por la desnutrición y enfermedades. La disponibilidad de agua para actividades agrícolas (riego), puede afectar la producción de alimentos, en tanto, las

enfermedades pueden ser causadas por el consumo de agua contaminada. La contaminación de las fuentes de agua puede ser directa o por contaminación de suelo y aire que posteriormente alcanza el agua.

La calidad de los ecosistemas puede ser evaluada en dos áreas: la reducción de la disponibilidad de agua, y las perturbaciones físicas y químicas que sufren las aguas, generando efectos sobre los ecosistemas.

La reducción en la disponibilidad de agua a nivel superficial y subterráneo, los autores consideran que puede tener un impacto sobre la biodiversidad terrestre y acuática.

Las perturbaciones físicas y químicas también pueden generar un impacto sobre la biodiversidad. Los procesos de eutrofización, acidificación, ecotoxicidad sobre las aguas, así como contaminación térmica y presencia de infraestructuras hidroeléctricas afectan las propiedades de las aguas.

En base a la evaluación de estos elementos los autores proponen el cálculo del Índice de Escasez de Agua (WSI), utilizado como factor de caracterización para el consumo de agua a nivel regional. Este indicador se calcula como una función logística de la relación entre el total de extracciones de agua dulce anual en función de la disponibilidad hidrológica, tomando en cuenta la variabilidad mensual de precipitación (Pfister et al., 2009).

2.5.1.3 Impacto del uso de agua dulce

El método de evaluación del impacto del uso de agua dulce, cuantifica el impacto derivado del uso de cuatro tipos de agua: el agua verde (humedad del suelo), el agua azul (aguas subterráneas y superficiales), el agua azul fósil (agua subterránea no renovable), y el uso del agua debido a los cambios en el uso de la tierra. El uso de agua es categorizado en uso por evaporación y no evaporación. Esta última es el agua devuelta a la fuente de agua dulce después de su uso, quedando disponible para un uso posterior (Berger y Finkbeiner, 2010).

Para evaluar el impacto de consumo de agua dulce Milà I Canals, citado por Zonderland-Thomassen y Ledgard (2012), propuso dos indicadores; el impacto en la calidad ecosistemas de agua dulce (FEI) y el agotamiento de agua dulce (FD). FEI describe los efectos en los cambios del uso del suelo, que conducen a cambios en la disponibilidad

y calidad del agua dulce, generando un impacto ambiental sobre los ecosistemas. El impacto en los ecosistemas el método asume que sólo la evaporación de la superficie y los acuíferos tienen un efecto sobre los ecosistemas.

FD evalúa la disponibilidad de agua dulce a largo plazo, por medio del impacto que tiene una tasa mayor de extracción de aguas subterráneas con respecto a la tasa de renovación de las mismas.

2.5.1.4 Organización Internacional de Normalización (ISO)

La norma ISO 14046 es la primera norma internacional sobre la huella del agua. Establece principios y requerimientos para realizar una evaluación de la huella de agua tanto de productos y procesos como de organizaciones, a partir del análisis de su ciclo de vida planteado por la ISO 14044:2006.

Tiene como principal objetivo evaluar los impactos ambientales relacionados con el agua de las actividades de las organizaciones y de esta forma favorecer la gestión de este recurso escaso.

La evaluación de la huella del agua de acuerdo a las ISO, debe considerar los atributos o aspectos relacionados al ecosistema natural, salud humana y recursos. En la evaluación de un producto, se deben tener en cuenta todas las etapas de producción a lo largo de su cadena productiva. Se deben incluir además las dimensiones geográficas y temporales e identificar las cantidades de agua usada y los cambios en la calidad de este recurso.

La Norma ISO 14046 plantea que la evaluación de la huella del agua debe incluir cuatro fases de evaluación del ciclo de la vida:

a) Objetivo y ambiente

Definir en dónde se va a llevar a cabo el estudio, así como la razón por la que se hace el mismo. Definir el sistema en estudio, enmarcando los límites, el espacio geográfico y temporal del mismo.

b) Inventario de la huella del agua

Un inventario de entradas y salidas de flujos al sistema. Relevando por tanto datos, acerca de la cantidad de agua utilizada y la calidad de la misma, tipos de recursos utilizados, las formas de uso, especificando la ubicación geográfica y temporal.

c) Evaluación del impacto de la huella del agua

El método de evaluación de impacto de la huella del agua aplicada deberá ser descrito y documentado claramente, donde se deberá incluir los mecanismos ambientales que son considerados por el método.

d) Interpretación de los resultados

La interpretación de los resultados se realiza en base a la evaluación de la huella, donde se identifican los procesos que realizan mayor contribución a la huella, cuáles son los mecanismos ambientales más afectados y los flujos de agua con mayor contribución a la huella.

Además se deberá realizar una conclusión e identificar las limitaciones de la huella del agua (ISO, 2014).

Esta norma no solo intenta contabilizar el consumo de agua de un producto sino que además intenta brindar información de los impactos que tiene ese consumo de agua. Se trata de una herramienta que contribuye a una mayor eficiencia en la gestión del agua para obtener un producto.

2.5.2 Huella del agua en la producción agropecuaria

Sudamérica es responsable de un 10 % de la huella del agua de la producción mundial, correspondiendo un 11% a la agricultura, 26% a la producción pecuaria, 3% al uso doméstico y 1% a la industria.

En este sentido la huella de agua correspondiente a la producción animal global, es representada en un tercio por el ganado vacuno y 19% por el ganado lechero, donde un 98% de la huella agua de los productos pecuarios se relaciona con el agua utilizada en la producción de alimentos (Mekonnen y Hoekstra, 2011).

Gerbens-Leenes y Hoekstra (2011) demostraron que los principales factores que determinan la huella del agua en productos animales, son la eficiencia de conversión (cantidad de alimento para producir el producto) y la composición del alimento consumido por los animales. Cuando aumenta el suministro de alimentos concentrados, la huella del agua aumenta debido a la mayor huella que presentan estos alimentos en relación a los forrajes.

2.5.2.1 Huella del agua de la leche

La huella del agua de la leche, se calcula como el volumen de agua utilizada a lo largo de la cadena de producción, donde se toman en cuenta las diferentes etapas que componen la cadena productiva. Las etapas pueden ser definidas entre la producción de alimentos para animales, producción de leche y el procesamiento de la leche. El agua se transfiere físicamente de una etapa a otra en forma de agua incorporada (Hoekstra et al., 2011).

2.6 USO DEL AGUA EN TAMBOS

En la etapa de producción de leche, el uso de agua es de forma directa e indirecta. Los principales usos directos de agua en los establecimientos lecheros son el consumo animal y el agua empleada antes, durante y luego del ordeño. Los principales usos indirectos de agua en tambos son los fertilizantes, pesticidas y energías.

El uso de agua en limpieza de instalaciones debe ser suficiente, como para mantener la higiene en tambos. El Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP) por medio del Decreto 2/997 establece que “... *los productores de leche con destino comercial, deberán ser habilitados y controlados en la parte higiénico-sanitaria...*”. Donde, entre otras cosas “...*los procedimientos de limpieza y desinfección deberán asegurar que todas las instalaciones (piso, paredes, techos, entre otros) y equipos estén debidamente limpios*”.

Además se deben de respetar los códigos de bienestar animal, que en los controles anuales (refrendación) realizados por veterinarios habilitados, deben asegurarse “...*que los animales no pasan hambre o sed y que no están desnutridos*”.

El agua que se utilice en el establecimiento lecheros debe ser potable, donde previamente a su utilización, ha de ser analizada por laboratorios oficiales o particulares previamente habilitados por MGAP. DGSG (2010).

2.6.1 Consumo animal

El consumo de agua animal, está determinado por la cantidad de agua necesaria para mantener el balance corporal. Es el equivalente a la suma de las pérdidas de agua en heces y orina, pérdidas en transpiración, más el agua retenida en el cuerpo en tejidos para crecimiento y preñez, así como la secretada para la leche. La interacción de todos estos, determina que los requerimientos de agua sean muy variables dependiendo de las diferentes combinaciones de factores que se presenten.

Los factores que afectan los requerimientos de agua pueden ser agrupados en tres: los relativos al animal, a la dieta y al ambiente.

Con respecto a los relativos al animal, se identifican factores como el tamaño del animal, estado fisiológico y la lactación. Este último es el que presenta mayor influencia en el consumo de agua, debido a que la leche se compone principalmente por agua (87%).

El alimento que consumen los animales también incide sobre el agua que estos beben. A mayor cantidad en quilos de materia seca consumida, mayor es el consumo de agua. Los componentes de la dieta consumida, ejercen una influencia sobre el consumo de agua, pero en menor medida.

En lo que refiere al ambiente, la temperatura es el factor de mayor incidencia en los requerimientos de agua. A medida que aumenta la temperatura ambiente, el animal mantiene constante la temperatura corporal ya que disipa el calor en exceso a través de la transpiración y evaporación pulmonar. Esto aumenta la tasa respiratoria, y junto a esta aumentan las necesidades de agua.

Según Duarte (2011), en los meses de verano el consumo de agua de los animales difiere mucho entre categorías. Las vacas consumen 70 l/animal/día, las vaquillonas de primera cría 55 l/animal/día, las vaquillonas de 1-2 años 35 l/animal/día y las terneras/os consumen 25 l/animal/día. Las vacas a invernada 55 lt/animal/día, las vaquillonas a invernada 50 l/animal/día.

En el artículo publicado por Plan Agropecuario (Harris y Van Horne, citados por Bartaburu, 2000), se presenta un cuadro con valores de consumo de agua (l/animal/día) de las distintas categorías de animales, en función del consumo de materia seca y la temperatura ambiente.

Cuadro No. 1. Consumo de agua para diferentes categorías y niveles de producción bajo diferentes temperaturas ambientes

Categoría	Consumo MS kg	10° C	20°C	32°C
Ternera 90 kg	3	10 l	11 l	15 l
Vaquillona 270 kg	8	26 l	37 l	45 l
Vaca seca 600 kg	13	45 l	58 l	70 l
Vaca prod 18 l/d	16	66 l	79 l	92 l
Vaca prod 30 l/d	20	89 l	100 l	115 l

Fuente: Harris y Van Horne (1991)

Se puede destacar que a medida que la temperatura ambiente aumenta, el consumo de agua es mayor. El mayor consumo de materia seca (MS) y mayor producción de leche acentúan también el consumo de agua de los animales.

Por otro lado, Jago, citado por Zonderland-Thomassen y Ledgard (2012), señala que los valores promedios de consumo en vacas lactantes es de 50 l/día. En vacas no lactando el consumo es de 30 l/día, de 15 l/día los animales de dos años y 10 l/día los mayores de 1 año (Holmes y Wilson 1987, Stewart y Rout, citados por Zonderland-Thomassen y Ledgard 2012)

2.6.2 Agua en instalaciones

El agua en las instalaciones del tambo se utiliza en corral de espera, sala de ordeño y la sala de máquinas.

En el corral de espera solamente se utiliza agua para el lavado de pisos, mientras que en la sala de ordeño, además del lavado de pisos se utiliza agua para lavado de pezones y limpieza de los órganos de ordeño. En la sala de máquinas el agua se emplea en lavado de pisos, lavado de tanque de frío, máquina de ordeño y placa de preenfriado (González et al., 2008).

Al igual que para consumo de agua de los animales, existen diferencias entre autores sobre los volúmenes de agua utilizados en las instalaciones.

En el corral de espera se emplean entre 14-24 l/vaca/día, variando su volumen de acuerdo a la forma de lavado de los pisos. Cuando se realiza raspado se utilizan 3 l/m², sin raspado previo, directo a presión 6,4 l/m² o por inundación 6,1 l/m². En el lavado de pisos de la sala de ordeño, se emplea el mismo volumen por metro cuadrado (González et al., 2008).

Nosetti et al. (2002) presentaron valores medios de los consumos de agua en las instalaciones de los establecimientos lecheros de Buenos Aires. En el lavado de pisos de la sala de espera se estimó que se emplearon 16,5 l/VO/día y en la sala de ordeño 5,6 l/VO/día.

En el lavado de la máquina de ordeño se utilizaron 308,3 l/día, en el lavado del tanque de frío 126,7 l/día y la placa de preenfriado unos 7,3 l/l de leche.

Estudios realizados en Argentina, Brasil y Chile muestra que los volúmenes medios de agua para enfriado de la leche llegan a 2,5-3 l/l de leche en promedio.

Los valores de uso de agua en limpieza, variaron entre los distintos países. En el lavado del corral de espera, en Argentina se utilizaron 21,6 l/VO/día, en Chile 31,2 l/VO/día y en Uruguay 32,9 l/VO/día. En la limpieza del equipo de ordeño se emplearon 3,03 l/VO/día en Argentina y 4,5 l/VO/día en Chile. En la limpieza del tanque de leche se utilizaron 1,32 l/VO/día en Argentina y 1,1 l/VO/día en Chile (Salazar et al., 2010).

2.6.3 Lavado de pezones

El lavado de pezones en algunos tambos se realiza todo el año indistintamente, mientras que en otros tambos, solamente durante los momentos de lluvias (invierno), cuando se genera barro en el suelo y los animales ingresan a la sala de ordeño con las ubres sucias.

Los valores estimados para el lavado de pezones fueron de 1,2 l/VO/día (Nosetti et al., 2002). En tanto en evaluaciones realizadas en Argentina se estimó que para el lavado de pezones se emplearon 1,4 l/vaca (Salazar et al., 2010).

2.6.4 Mojado de animales

Las vacas lecheras necesitan condiciones de confort para lograr las mejores producciones, con temperaturas ambientes de 5 – 21 ° C,

humedad relativa de 50% y velocidad de viento de 5-8 km/hora. El Uruguay presenta condiciones climáticas adversas durante el verano, que provocan una merma en la producción de leche entre 5 y 10 % en vacas Holando.

Estos efectos negativos se deben a un aumento de los requerimientos para mantenimiento de los animales y fundamentalmente una disminución del consumo de alimentos. Los animales comen menos, para reducir la producción de calor y gastan más energía en eliminar el calor de su cuerpo. Ambos procesos deprimen la producción.

En los últimos años en Uruguay se han implementado medidas para reducir las condiciones climáticas adversas en los animales, durante los momentos de mayor calor. Uno de los métodos ha sido el mojado de animales con aspersores previo al ordeño.

En un trabajo experimental realizado por la Facultad de Agronomía en la Estación Experimental de Salto, se aplicó un tratamiento de mojado y ventilado de un lote de vacas en el corral de espera de la sala de ordeño, durante media hora, 2 veces al día, a las 11 y 16 horas. En el estudio se concluyó que los aspersores comunes de gota gruesa (de jardín) a presión común abarcan un radio de 6 – 7 metros y un volumen de agua de 400 – 500 litros /hora, resultando apropiados para el fin perseguido (Bartaburu, 2000).

2.6.5 Energías

El sector agropecuario utiliza una gran variedad de fuentes energéticas en el proceso de producción, en donde las principales son; leña, gasoil, eólica, solar, electricidad, supergás, nafta, keroseno y residuos de biomasa.

2.6.5.1 Combustible

En el sector lechero según encuesta realizada por la Dirección de Investigaciones Económicas Agropecuarias (MGAP. DIEA, 2011) en el año 2009, la principal fuente de energía es el gasoil, que representa el 61% del consumo total de energía. En este sentido el 99% del consumo de gasoil es utilizado en el uso fuerza motriz móvil (tractores), y el 1% restante se emplea para riego, bombeo de agua y en el uso de fuerza motriz fija (Gaudioso, 2011).

En maquinaria el consumo de combustible en labores agrícolas varía de acuerdo a la herramienta con que se realice el laboreo, el ancho operativo de los implementos que se utilizan, la potencia (caballos de fuerza) de trabajo y la velocidad de trabajo. A nivel nacional existen valores de consumo de gas oil en

litros/hora, teniendo en consideración todas estas variables (Ausburger et al., 1991).

2.6.5.2 Energía eléctrica

La energía eléctrica es la segunda fuente en importancia en el consumo total de energía del sector lechero, en donde representa un 30%. En este sentido el 50% del consumo de energía eléctrica de un tambo corresponde al consumo de los equipos de frío (frío de proceso), donde lo sigue en importancia el consumo de energía de los equipos de ordeño, calentamiento de agua para lavado y bombas de agua e iluminación.

Un estudio llevado a cabo en Uruguay y Argentina, obtuvo valores de consumo promedio de energía eléctrica muy diferentes entre ambos países. A nivel nacional el consumo promedio de energía eléctrica es de 60 kWh por cada 100 litros de leche, para una superficie promedio de un tambo de 178 ha, una dotación de 61 vacas en ordeño (sobre un total de 87 vacas) y una producción de 16.9 l diarios por vaca en ordeño (1031 l/día). En Santa Fé, Argentina los valores registrados fueron de 20 kWh para un tambo de 100 vacas y un promedio de producción de 2000 l de leche por día (Gaudioso, 2011).

2.7 SITUACIÓN DE CASOS DE LA HUELLA DEL AGUA EN ESTABLECIMIENTOS LECHEROS DEL MUNDO

2.7.1 Nueva Zelanda

Un estudio de la Huella del agua realizado en tambos de Nueva Zelanda en el año 2004/2005, se centró en dos diferentes regiones, Waikato y Canterbury. En el mismo se evaluaron 130 predios de Waikato y 37 predios de la región de Canterbury.

La región de Waikato, situada en la Isla Norte, con suelos fértiles de cenizas volcánicas, con precipitaciones anuales de 1264 mm, es una región lechera responsable del 30% de la producción nacional de leche.

La región de Canterbury, situado en la isla del sur con suelos sedimentarios, es una región lechera en expansión, responsable de más del 10% de la producción nacional de leche. La precipitación anual fue de 677 mm en Canterbury, en la mayoría de los predios se utiliza el riego entre la primavera y el otoño (en promedio de 565 mm/ha).

La alimentación en los predios, tiene una relación similar en el consumo de pasto (11.670 kg MS/ha en Waikato y 11.260 kg MS/ha en Canterbury), en los sistemas lecheros de Canterbury utiliza más suplemento (1892 kg MS/ha vs 798 kg MS/ha) y las vacas durante el invierno pastan fuera del establecimiento, lo que resultó en un aumento anual de la producción de leche (13.183 l de leche/ha frente a 10.514 l de leche/ha).

Los resultados de Huella del agua de acuerdo al Water Footprint Network Método, en los predios de Waikato fue 945 l de agua/kg grasa y proteína corregida en leche (LCS), donde un 72% corresponde al agua verde, 28% a aguas grises y un 0,1% de agua azul. En Canterbury fue 1084 l de agua/kg LCS, en donde 46% fue agua verde, 23% agua azul y 31% de agua gris.

El agua verde estuvo determinada principalmente por el consumo de pasto en ambas regiones. La huella de agua azul, que fue mayor en la región de Canterbury, fue consecuencia del riego que se realiza, mientras que en la región de Waikato el valor de agua azul fue menor y estuvo determinado por la electricidad y los fertilizantes.

Las dos regiones presentaron valores similares de huella gris como consecuencia de la lixiviación de fertilizantes y pesticidas en las pasturas (Zonderland-Thomassen y Ledgard, 2012).

2.7.2 Australia

En Gippsland, región sur de Australia durante el período 2008-2009, se evaluó el efecto de consumo de agua dulce en la producción de leche desnatada en polvo, en las etapas de producción, acondicionamiento y transporte hasta el puerto de Japón. El estudio se centró en 6 tambos, donde la alimentación suministrada fue pasto, complementado con heno y grano. La precipitación media anual durante ese período fue de 1198 mm.

Utilizando el método de cálculo de la huella de agua propuesto por Pfister, se evaluó el impacto del consumo de agua para producir 1 kg de leche en polvo desnatada (con una composición aproximada 1,5% de grasa; 5% agua y 34% de proteína). Para la evaluación del impacto del consumo de agua dulce, se utilizaron los factores de caracterización propuestos por Pfister et al. (2009), donde se calculó el Índice de Estrés Hídrico (WSI).

Los resultados de huella del agua de un producto se normalizaron, al dividirlos sobre la WSI media mundial y se expresó en equivalentes de H₂O (H₂Oe). Por medio de la normalización de la huella del agua se puede comparar

cuantitativamente la presión ejercida del consumo de agua dulce de un producto sobre los sistemas de producción.

Los resultados obtenidos muestran que para producir 1 l de leche se utilizaron 14,1 l de agua azul, en donde el 83 % corresponden a agua utilizada en el predio y el restante a agua extrapredial. La huella del agua fue de 1,9 l de H₂Oe/l, su bajo valor se debe a que esta región se caracteriza por agua abundante y por presentar un WSI bajo (0,013).

El volumen de agua expresado en sólidos totales en leche (TMS), fue de 108 l /kg de TMS y la huella del agua 14,4 l/kg de H₂Oe de TMS, medida en el predio. La leche descremada en polvo, que fue entregada al destino, el valor de la huella del agua fue de 15,8 l/kg de TMS (Zonderland-Thomassen y Ledgard, 2012).

2.7.3 Reino Unido

En el año 2012 en el Reino Unido, se evaluó en diferentes establecimientos lecheros la huella de agua de la leche por el modelo del LCA, donde se estimó el uso de agua azul y verde, no así el agua gris. El objetivo del trabajo fue estimar el consumo volumétrico de agua en la producción lechera (agua por kg de leche, corregida en grasa y proteína) y evaluar su potencial impacto en el ambiente.

Para el estudio se seleccionaron tres localidades contrastantes en su forma de producir. Los predios evaluados fueron establecimientos de tipo, no orgánicos con partos en primavera, otoño y todo el año, así como también establecimientos orgánicos y otros estabulados sin suministro de pastoreo.

Los resultados mostraron que el consumo promedio de agua azul de todos los establecimientos fue de unos 8 l de agua/kg LCS. El bajo valor del uso de agua azul se explicó por el hecho de que en Gran Bretaña la mayor parte de la alimentación láctea proviene de los cultivos de secano, que además los mismos presentan altos rendimientos, lo que reduce el consumo de agua por tonelada de materia seca pasto.

El agua verde que se utilizó representó un 99% del agua utilizada en la producción de leche. En promedio los establecimientos utilizaron 700 l de agua/kg de LCS a excepción del establecimiento orgánico que utilizó 1000 l de agua/kg de LCS. En total el uso de agua en el establecimiento no orgánicos con partos en primavera fue de 685 l de agua/kg LCS, con partos en otoño fue de 691 l de agua/kg LCS y con

partos todo el año 688 l de agua/kg LCS. En establecimientos estabulados el uso de agua azul y verde fue de 713 l de agua/kg LCS, mientras que en los predios orgánicos fue de 1014 l de agua/kg LCS.

El impacto ambiental con respecto al alto uso de agua verde se consideró que tiene un bajo costo de oportunidad, debido a que el agua verde sólo es posible utilizarla en los cultivos y no así, utilizarla para sustituir el agua de uso doméstico o industrial (Hess et al., 2012).

2.7.4 Brasil

En octubre de 2014, en la región sur de Brasil se estudió el uso de agua azul y verde por litro de leche. La evaluación se hizo sobre tres sistemas de producción de leche diferentes en las regiones de Paraná y Santa Catarina.

El primer sistema en la ciudad de Mandaguari fue de engorde confinado, donde la dieta estaba compuesta por semillas de algodón, ensilaje, concentrado de alimento comercial (semillas de algodón, granos de maíz, salvado de trigo, cascarilla de soja, de premezcla), heno, minerales, premezclas y otros productos alimenticios de ganado.

El segundo sistema en la ciudad de Porto Amazonas fue de corrales de engorde semi-confinado, donde las vacas pastoreaban y además se les suministraba suplemento. La suplementación fue con ensilaje, pulpa de cítricos (subproducto de la industria de jugo de naranja), subproducto de la industria de la cerveza (cebada), concentrado de alimento comercial (mismo de la dieta confinada), minerales, premezcla, forraje y otros alimentos de ganado.

El tercer sistema en la ciudad de Campos Novos basado principalmente a pastoreo, con algo de suplementación con maíz, harina de soja y sales minerales.

Ninguno de los ingredientes consumidos por las vacas se considera que se produce en los sistemas de regadío.

En el estudio se calculó la huella del agua azul y verde de acuerdo al método planteado por Hoekstra et al. (2011), donde además se tomó como la unidad funcional 1 kg de leche corregida por energía (ECM) en la puerta de la del establecimiento.

Los resultados mostraron que los sistemas de engorde confinado, semi-confinado, y basado en pastoreo tenían un huella azul de 19, 11, y 7 l/kg ECM, y una huella verde de 1478, 2209, y 1584 l/kg ECM, respectivamente. Estos resultados mostraron que la leche semi-confinado feedlot tenía el valor de

huella del agua total más alto, debido a los altos valores de huella verde. Esto se debió principalmente al mayor consumo de subproductos de la industria de la cerveza y maíz en la composición de la alimentación.

En el estudio se comparó los resultados obtenidos con los valores presentados en Mekonnen y Hoekstra (2010), Mekonnen y Hoekstra (2012) para la huella del agua mundial promedio, los cuales eran entre 790 y 1.087 l de agua/kg de leche, para la huella verde, y entre el 49 y el 82 para la huella azul. De esta forma se infirió que la huella azul fue menor, mientras que para los valores de huella verde fueron superiores. Estas diferencias de la menor huella azul fueron explicadas por los cultivos de secano que se utilizaron en el estudio. En tanto el mayor valor de huella verde se explicó por las diferencias en utilización de superficie de pastoreo entre los estudios, así como por diferencias climáticas (Alvarenga et al., 2014).

2.7.5 Chile

En 2011, se estudió la huella del agua en siete predios lecheros de Chile, en las regiones de Quinta y Décima. En los predios de la Décima (zona sur), la alimentación animal fue principalmente pasturas y en la Quinta (zona centro), el uso de concentrados fue mayor. La precipitación media anual disminuye de centro a sur.

Se obtuvieron valores de huella del agua de entre 160 y 335 l de agua/l de leche, dependiendo del predio analizado. De este valor, la huella verde representa un 98% del total, y el 2% restante a la huella azul. Los mayores valores de huella del agua corresponden a la zona central de Chile (sistemas más intensivos), disminuyendo hacia el sur. Además los mayores valores de la zona central se pueden justificar por la mayor evapotranspiración potencial, generando que los cultivos consuman más agua para producir una misma cantidad de materia seca.

Los valores obtenidos en este estudio fueron subestimados, ya que se omitieron una serie de consumos de agua, que a pesar de ser aportes menores, generarían un incremento de la huella del agua. Entre los valores omitidos se encuentran principalmente el consumo de agua de la vaca antes de entrar en lactancia, además del consumo de agua de los insumos no considerados de la cadena de producción, y la evaporación de estanques de acumulación de purines, pisos y canales (Broussain Kyling, 2011).

2.8 HIPÓTESIS

Los predios con mayor productividad por vaca y por unidad de superficie presentan menor huella de agua en la leche.

Los predios con mayor uso pastoril en sus sistemas de alimentación y menor productividad, es de esperar mayor valor de huella del agua verde y mayor valor de huella del agua total.

Los predios con mayor uso de concentrados en sus sistemas de alimentación y mayor productividad, es de esperar mayor valor de huella del agua azul y menor valor de huella del agua total.

Los predios con mayor uso de agua en el lavado de planchada de espera y sala de ordeño es de esperar que presente los mayores valores de huella gris sean los mayores.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LECHERÍA EN EL URUGUAY

En el territorio uruguayo la superficie destinada a la lechería es de 826.379 ha y comprende un total de 4474 explotaciones lecheras, en donde 4221 tienen como principal fuente de ingreso la lechería (MGAP. DIEA, 2012).

3.1.1 Lechería en Colonia

El presente trabajo se realizó en tambos ubicados en el departamento de Colonia, que junto a los departamentos de Soriano, Río Negro y Paysandú se encuentran en la zona lechera del “Litoral Oeste”.

En Colonia la lechería ocupa el 29,7 % de la superficie explotada, siendo el segundo rubro en importancia por detrás de los cereales y oleaginosas (35,1 %). En Uruguay hay un total de 4474 explotaciones lecheras, donde 941 se encuentran en Colonia, lo que corresponde a un porcentaje mayor al 20 % del total. De las mismas, el 68,3 % remite a planta, mientras que las restantes, producen queso o venden a particulares (MGAP. DIEA, 2012).

3.2 SELECCIÓN DE CASOS

La población en estudio estuvo conformada por empresas lecheras asociados a la Federación Uruguaya de Grupos CREA (FUCREA).

El trabajo se desarrolló en el departamento de Colonia. Los criterios que se tomaron en cuenta para su elección fueron:

- Establecimientos con buena calidad de información, dada por presentar antecedentes de mantener buenos registros, que además contaran con un rodeo estabilizado.

- Los establecimientos debían estar próximos a la estación experimental INIA La Estanzuela, ya que era necesario para el estudio contar con registros de la situación agroclimática de la zona.

Para el estudio se utilizó información de 14 tambos comerciales asociados a la Federación Uruguaya de Grupos CREA (FUCREA), ubicados en el departamento de Colonia. La modalidad de selección fue

un muestreo teórico, debido a presentar una riqueza informativa y conceptual. Las conclusiones en el muestreo teórico se restringen a las unidades analizadas y no se pueden generalizar los resultados.

La información fue recolectada para el ejercicio fiscal 2012-2013, se obtuvo a partir de reuniones con los asesores de los establecimientos seleccionados. Esta información incluye;

- Superficie vaca masa
- Uso del suelo
- Rotación
- Cantidad de semilla utilizada en praderas, verdes y cultivos
- Cantidad y tipo de fertilizante empleado
- Combustible
- Electricidad en kWh utilizados
- Número promedio de animales en ordeño y secos
- Cantidad de alimento comprado
- Producción anual de leche
- Producción de leche promedio mensual por vaca
- Contenido de sólidos (grasa y proteína)

Luego de recolectar la información, en una segunda instancia se procedió a concurrir al predio con la finalidad de realizar mediciones del agua utilizada durante el momento de ordeño. En esta instancia tanto productores como tamberos aportaron información complementaria, además se realizaron observaciones del uso del agua en el establecimiento.

Los datos agua recolectados fueron;

- Lavado de máquina de ordeño
- Lavado de tanque/s
- Lavado de planchadas de espera

- Lavado de sala de ordeño y sala de máquinas
- Mojado de animales
- Lavado de pezones
- Uso general de agua durante el ordeño
- Uso de agua por placas de enfriado

Esta información aportada por asesores, productores, tamberos, así como también mediciones y observaciones recogidas en visitas se denominan los datos primarios. En una segunda instancia, se procedió a complementar información, consultando bibliografía y distintos investigadores de INIA la Estanzuela con el objetivo de calcular la Huella hídrica en la leche. Para la misma fue necesario tomar en consideración una serie de supuestos apoyándose en estos elementos.

3.3 ALCANCE Y LÍMITES DEL ANÁLISIS

El límite es la frontera que separa al sistema de su entorno, definiendo lo que se encuentra dentro y lo que se encuentra fuera. No todo sistema posee límites claros (Graf, 2004).

En el siguiente estudio, se tomó como límite del sistema, el área vaca masa de los establecimientos. La dificultad para recolectar información de la recría, debido a que en la mayoría de los establecimientos la misma no se realizaba en el predio, llevó a considerar este criterio.

Las entradas al sistema desde el ambiente externo:

- Alimentos (concentrados y forrajes)
- Insumos para la producción de alimentos (gasoil, fertilizantes, herbicidas, semillas)
- Energía eléctrica
- Asalariados

Las salidas de los sistemas son los resultados que se obtienen de procesar las entradas.

- Leche a industria

3.4 DEFINICIÓN DE LA UNIDAD FUNCIONAL

La unidad funcional utilizada fue un litro de leche corregido por grasa y proteína (LCS), considerando un 4% de grasa (G) y 3,3% de contenido de proteína (P) de acuerdo a lo definido por el IDF (2010).

$$\text{LCS (kg/año)} = \text{Producción (kg/año)} \times [0,1226 \times \%G + 0,0776 \times \% P + 0,2534]$$

3.5 CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA DEL AGUA

En función de los datos primarios y secundarios recolectados de los predios se calculó la huella del agua de la leche, utilizando la planilla Excel creada por INTA-INIA que se basa en el método de análisis del ciclo (ACV) definido por la Normas Internacionales (ISO 14046:2014). En la misma se integran las actividades de producción animal y vegetal desarrolladas en los establecimientos, así como también los alimentos extra prediales, combustible y energía.

Los resultados obtenidos de la huella del agua se analizaron por medio del software Infostat. El mismo fue desarrollado por la Universidad de Córdoba (Argentina) y permite realizar un análisis multivariado de los resultados.

A continuación se procedió a explicar los métodos de cálculo empleados para estimar la huella verde, azul y gris de la leche en los establecimientos.

3.5.1 Huella del agua verde

3.5.1.1 Alimentación

Los alimentos son producidos en el predio y/o comprados fuera del mismo. El agua que utilizada en la elaboración de los mismos es uno de los componentes de mayor incidencia en el valor de la huella del agua de la leche.

3.5.1.2 Alimentos prediales

El agua utilizada por los alimentos elaborados en el predio, se estimó en base a la rotación forrajera definida por los asesores. A partir de la rotación se calculó la oferta forrajera de cada alternativa utilizando la producción de forraje según las tablas de Leborgne (1983).

Conociendo los rendimientos de cada cultivo de la rotación, se estimó el agua consumida por los mismos, empleando el programa CROPWAT 8.0 y la base de datos CLIMWAT 2.0 publicadas por FAO. El programa calcula los requerimientos de agua de los cultivos y las necesidades de riego en base a datos climáticos y de los cultivos, utilizando el método de FAO Penman-Monteith, que estima la evapotranspiración de los cultivos (ET). Los valores de ET son utilizados posteriormente para estimar los requerimientos de agua de los cultivos y el calendario de riego.

En el cálculo de uso de agua de los cultivos el programa solicita conocer las propiedades físicas de los suelos del departamento, registros climáticos de la zona, fechas de siembra y cosecha de los cultivos.

Los cultivos desarrollados en los predios y fuera de los mismos, se asumió que todos fueron realizados en el departamento de Colonia.

Las condiciones físicas de los suelos, de acuerdo a Molfino y Califra, citados por Durán y García Préchac (2007) que analizaron la capacidad de retención de agua disponible (AD) de los perfiles de suelos representativos de los suelos dominantes y asociados de las unidades cartográficas del mapa de suelos del país (MAP.DSF, 1976), agruparon las tierras agrícolas del litoral oeste dentro de una misma clase. En donde consideraron que estos suelos se caracterizan por una presentar una alta capacidad de retención de Agua Potencialmente Disponible Neta (APDN), ubicándose entre el rango de 120-160 mm. De acuerdo a datos a estos datos, para realizar el cálculo se consideró una humedad de suelos disponibles de 120 mm/metro.

Los registros climáticos se obtuvieron de la base de datos CLIMWAT para CROPWAT, que contiene datos climáticos mensuales. Los promedios mensuales de temperaturas máximas y mínimas, de humedad relativa media, de velocidad de viento, de horas de insolación, datos de radiación así como precipitación y de ETo calculada con el método FAO Penman-Monteith que se presentan para condiciones medias (Smith, 1993). Para el siguiente trabajo se seleccionó la estación ubicada en Colonia (INIA la Estanzuela).

El CROPWAT trabaja con un gran número de cultivos donde cuenta con los valores promedios de coeficiente del cultivo (Kc) y la duración en días de las etapas del cultivo, sin embargo no cuenta con todos los cultivos desarrollados en los establecimientos. En estos casos se asumió para el cálculo de agua utilizada, los valores de los cultivos de

mayores semejanzas fisiológicas, de acuerdo a lo consultado con diferentes investigadores de INIA. Además el programa realiza los cálculos para un año calendario, donde define la duración en días de cada etapa de cada cultivo. En las praderas como no se contaba con datos para cada año, fue necesario definirlos en función del desarrollo del cultivo y los manejos de pastoreo que se consideran óptimos en los establecimientos.

Los predios analizados, trabajaron con dos praderas principalmente, una de duración larga (tres a cuatro años), donde el componente principal fue la alfalfa (*Medicago sativa*), que fue acompañada en algunos casos de dactylis (*Dactylis glomerata*) y otra de corta duración (dos años), formada por trébol rojo (*Trifolium pratense*), a veces acompañada por el trébol blanco (*Trifolium repens*) y o por una gramínea que podía variar entre raigras (*Lolium multiflorum*), cebadilla (*Bromus unioloides*) o avena (*Avena sativa*).

La alfalfa es una especie perenne estival, que se adapta al pastoreo rotativo o racional con el cual se favorece una acumulación de reservas activas. La etapa vegetativa (no floración) de la planta corresponde al otoño, invierno y primer tercio de la primavera, donde la planta alcanza una altura aproximada de 35 a 45 cm y se registran los valores máximos de cantidad de reservas almacenadas y pesos de raíz (Carámbula, 2010).

La pradera corta presenta un comportamiento diferente en la duración de las primeras etapas de su ciclo con respecto a la pradera larga, donde presenta un aporte temprano de forraje por su buena precocidad. Las praderas cortas constituidas por una especie bianual invernal (trébol rojo), una perenne invernal (trébol blanco) y una gramínea que puede ser raigrás, cebadilla o avena. Es una mezcla que al igual que la alfalfa se adapta mejor a pastoreos rotativos que a pastoreos continuos.

En función del ciclo de desarrollo del cultivo y el manejo óptimo considerados por Carámbula (2010) es que se definió la duración de las etapas de las praderas.¹

3.5.1.3 Semillas

Las semillas utilizadas para la implantación de praderas y cultivos tienen una huella de agua verde y azul. El agua verde fue estimada también mediante el programa CROPWAT. Para el trabajo se asumió que todas las semillas fueron producidas en el país, dentro del litoral oeste. Las condiciones y manejo que se consideraron en los semilleros fueron las óptimas para que cada especie

¹ Rossi, C. 20015. Com. personal

lograse los rendimientos medios del Uruguay, datos brindados por Rossi ¹, ya que se carecen de datos publicados.

El ciclo del semillero no fue considerado en su totalidad para estimar el agua verde de las semillas. En la producción de semillas, dependiendo del cultivo se cierra en las últimas etapas, para evitar el ingreso de animales y favorecer así la semillazón. Este período en cuestión, es el que se consideró a la hora de estimar la huella de la semilla.

3.5.1.4 Alimentos extraprediales

En los alimentos extraprediales como, concentrados, fardos y ensilajes, se calculó así el valor de agua verde consumida.

En el caso de los subproductos de los cultivos, como son los expeller, harina, afrechillo, cascarilla, raicilla o el grano húmedo, para obtener los valores de uso de agua, en primera instancia se calculó el uso de agua verde de los cultivos y luego se multiplicó por el factor de corrección del subproducto.

En los establecimientos que consumieron subproductos de arroz, para el cálculo del agua consumida del cultivo, fue necesario conocer los valores de disponibilidad de agua a la siembra así como también, altura máxima a la que llega la lámina de agua durante el desarrollo del cultivo. Consultando Gonet ², señaló que la primera lámina de agua se da en función del desarrollo del arroz y en general se encuentra entre 3 y 5 cm de altura (en el trabajo se asumió 5 cm). En tanto la altura máxima es de 10 a 15 cm (se asumió 15 cm).

Las raciones consumidas en los predios, en la mayoría de las ocasiones, no se recordó la composición de la mezcla utilizada en el período 2012-2013, por lo que en aquellos establecimientos donde no hubo datos se asumió un valor (70% maíz y 30% soja), de acuerdo a ración balanceada para lecheras vendida por PROLESA.

² Gonet, D. 2015. Com. personal

3.5.2 Huella del agua azul

3.5.2.1 Agua bebida

Uno de los componentes de la huella azul en leche es el agua para bebida de los animales, donde se diferencia entre el consumo vacas en vacas en ordeño (VO) y las vacas secas (VS). Como se mencionó anteriormente, el consumo de agua de los animales, depende de numerosos factores.

3.5.2.2 Vacas en ordeño

De acuerdo a Murphy et al., citados por NRC (2001) el consumo de agua de las VO se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Consumo agua VO} = (1,58 \cdot \text{CMS}) + (0,90 \cdot \text{kg leche/d}) + (0,05 \cdot \text{CNa g/d}) + (1,20 \cdot T^{\circ}\text{min}) + 15,99$$

Consumo de Materia Seca (CMS)

Quilos de leche (kg leche)

Consumo de Sodio (CNa)

Temperatura mínima (T° min)

En base al total de alimento (producido y comprado) con que contaba el predio durante el ejercicio se elaboró una dieta para estimar el CMS diario por vaca.

Las rotaciones definidas en los establecimientos presentaban más de un tipo de pradera y generalmente más de un verdeo, por lo que se procedió a seleccionar una pradera y un verdeo al azar, considerando que lo normal es que las vacas recorran en un día solo dos potreros, trasladándose luego de cada ordeño. Si bien puede que permanezcan en el mismo potrero, en este trabajo se consideró que se utilizaron dos, donde la pradera se encontraba en su segundo año.

Conociendo la oferta forrajera de la pradera y el verdeo para el año, así como también el total de alimento comprado durante el ejercicio en estudio, se obtuvo el total de alimento disponible. En base al total de alimento disponible, se estimó el porcentaje de cada alimento sobre el total disponible, con el objetivo de elaborar la dieta.

La elaboración de la dieta de las vacas en ordeño, se realizó empleando la planilla Excel LECHERAS, basada en la NRC (elaborada por Ing. Agr. Yamandú Acosta). En donde fue necesario conocer los promedios anuales de porcentaje de grasa, litros de leche y peso promedio del rodeo lechero. Los porcentajes de alimentos calculados, fueron utilizados en la elaboración de la dieta, donde se ajustó, con el objetivo de que los requerimientos metabólicos fueran cubiertos.

En segundo orden se obtuvo el peso de la leche en quilos por día, que se despejó de la ecuación densidad = masa/volumen. Teniendo conocimiento del promedio de litros de leche diario y de que la leche tiene una densidad de 1032 g/l.

El consumo de sodio por animal se asumió un valor de 21,3 g/d, para todos los predios analizados (NRC, 2001). La temperatura mínima se obtuvo de la estación experimental de INIA la Estanzuela, siendo para el período estudiado 2012-2013 de 11,8 ° C.

3.5.2.3 Vacas secas

El consumo de agua de las VS está influenciado en mayor medida por el consumo de MS y la composición de esa dieta según NRC (2001). Donde el consumo de agua se calcula como:

$$\text{Consumo agua VS} = -10,34 + (0,2296 * \% \text{MS dieta}) + (2,212 * \text{CMS}) + (0,03944 * (\% \text{CP})^2)$$

% Materia Seca (%MS)

% Consumo de Proteína (CP)

El CMS, el % MS y el % CP de las VS fueron datos brindados por los asesores de cada establecimiento.

3.5.2.4 Combustible

Las principales energías utilizadas en los establecimientos lecheros son el combustible y la energía eléctrica, donde a cada una le corresponde una huella de agua.

El combustible consumido durante el período en estudio en los establecimientos se estimó en base a datos brindados por uno de los asesores. El mismo contaba con los valores en dólares del combustible adquirido por mes de cada establecimiento, por tanto conociendo el

precio de combustible mensual en el período, se pudo estimar los litros totales de combustible utilizados por cada establecimiento. Una vez estimado los litros totales de combustible utilizados por cada establecimiento en el periodo, se estimó los litros de combustible por hectárea. A partir de estos valores se obtuvo un promedio de uso de combustible por hectárea, lo que permitió obtener un valor de uso de combustible, en los establecimientos donde no se contaban con datos reales.

En las semillas utilizadas en los establecimientos, para la implantación de los cultivos, se estimó el combustible necesario para un manejo óptimo de cada semillero.¹ Las tareas de pulverización, corte, rastrillada y cosechada fueron manejos desarrollados en algunos semilleros, donde a partir de valores de consumo de combustible por hectárea de cada implemento, se obtuvo el total de combustible en cada semillero. Los datos de consumo de combustible de los implementos fueron obtenidos a partir de una publicación de FUCREA/GTZ (Augsburger et al., 1991).

Luego de conocer los consumos de combustible en el establecimiento, para obtener los valores de consumo de agua, se asumió como supuesto que para la elaboración de un litro de combustible (diesel) se consumen 4 litros de agua (De Boer et al., 2012).

3.5.2.5 Electricidad

La energía eléctrica emplea 1,3 litros de agua para la elaboración de un Kilowatt (KW) de electricidad (De Boer et al., 2012).

El total de energía empleada en el establecimiento durante el período estudiado se tomó como referencia los valores obtenidos por Gaudioso (2011). En Uruguay los valores de consumo promedio de energía eléctrica es de 60 kWh por cada 100 litros de leche, para una superficie promedio de un tambo de 178 ha, una dotación de 61 vacas en ordeño (sobre un total de 87 vacas) y una producción de 16.9 l diarios por vaca en ordeño (1031 l/día). De esta forma conociendo la producción anual en litros de cada establecimiento y los datos nacionales de consumo promedio de energía eléctrica, es que se estimó los kWh utilizados en el período.

3.5.2.6 Fertilizantes y pesticidas

La elaboración de los fertilizantes y agroquímicos comprenden una huella de agua azul. La misma se estimó para los fertilizantes y pesticidas, empleados en los cultivos desarrollados en el predio, como así también en los empleados en los alimentos comprados y semilleros.

La elaboración de los fertilizantes, consumen 14,2 litros de agua por cada quilo de Nitrógeno (N) y 99,4 litros por quilo de óxido de fósforo (P₂O₅) (De Boer et al., 2012).

En los pesticidas se asumió el supuesto planteado por Bogliani y Hilbert (2005). Los mismos plantean que se utilizan 118,5 litros de agua por cada hectárea de agua y pesticida aplicado. Estas condiciones son para pastillas de código amarillo 3 bar/vel 8 km/h.

3.5.2.7 Efluentes

Las piletas de efluentes presentes en algunos tambos, actúan como destino del agua utilizada durante el ordeño. Esta agua en las piletas está sujeta a evaporación y es considerada parte de la huella azul.

Para conocer la evaporación de las piletas se buscó en los registros aportados por la estación de Colonia, INIA la Estanzuela de evaporación del Tanque A (mm día⁻¹) para el ejercicio estudiado. Contando con el valor de evaporación anual para una hectárea en la zona, se estimó el área de las piletas que se encontraban en los establecimientos, con el objeto de conocer la evaporación de las mismas.

3.5.3 Huella del agua gris

La huella gris es un indicador del grado de contaminación del agua dulce a causa de un proceso industrial o humano, con su retorno a la naturaleza o centros de tratamiento de agua. Es el volumen de agua dulce que está obligada a asimilar la carga de contaminantes sobre la base de normas ambientales y calidad de agua del país (ISO 14046: 2014).

3.5.3.1 Manejo en el ordeño

El agua gris se compone también del agua empleada en el ordeño; en limpieza de máquina de ordeño y órganos, equipo de frío, limpieza de los pisos en corrales y sala, sistema de preenfriado, lavado de pezones, mojado de animales y uso general de agua en fosa durante el ordeño.

Los métodos utilizados para obtener estos valores pudieron diferir entre algunos tambos. La modalidad de trabajo para conseguir los valores de uso de agua consistió en graduar dos recipientes, en donde a uno se graduó de litro en litro, mientras que el segundo de mayor

tamaño, de 20 en 20 litros. En los tambos se midió el caudal de las mangueras utilizadas y luego se controló los tiempos de uso de cada manguera.

En el lavado de pezones se controló el tiempo para una cuarta parte aproximadamente de las vacas ordeñadas y luego se promedió el tiempo de lavado de pezones por vaca, multiplicándolo por el número de vacas en ordeño. Un sistema similar se realizó para medir el uso general de agua en la fosa, donde se controló el tiempo de uso de agua general en cada entrada de vacas a la fosa obteniendo un promedio de tiempo. Luego se dividió el número de animales sobre el número de órganos y se lo multiplicó por el uso de agua en fosa promedio. Estos promedios de tiempos y los caudales respectivos permitieron obtener valores de uso de agua general en fosa.

En algunos tambos, una vez finalizado el ordeño se realiza el lavado de órganos de forma exterior, otros lo realizan con la manguera de lavado de pisos de la sala de ordeño. El tiempo de lavado de órganos de forma individual se hizo un promedio de tiempos, se multiplico por el número de órganos de la sala y por el caudal de la manguera empleada.

El agua utilizada en la máquina de ordeño y tanque de frío en general los tamberos o productores contaban con los valores de uso. En los casos donde no se contaban con conocimiento de la cantidad d agua utilizada para lavado de máquina de ordeño, se tomó como referencia lo planteado por Salazar Sperberg (2012) $(27,75 * \text{No. unidades de ordeño}) + 134.4$. El mismo autor planteó una forma de cálculo para el lavado del tanque de frío $(0,0403 * \text{Capacidad Equivalente de Frio}) + 11,153$.

En el lavado de pisos de la sala de espera y sala de ordeño, una vez medido el caudal de la mangueras, se controlaron los tiempos de lavado.

El mojado de animales durante el verano es otro componente de la huella azul. En los establecimientos que se implementó, fue necesario conocer el caudal de los aspersores, el número de aspersores, el tiempo de encendido y los días en el año utilizados.

3.5.3.2 Fertilizantes y pesticidas

El uso de fertilizantes y pesticidas en cultivos y praderas son las principales fuentes de contaminación de las agua. Estos se aplican sobre el suelo, como residuos sólidos, solo una fracción filtra y llega a aguas subterráneas, o puede suceder que llegue hasta aguas superficiales a través de escorrentía superficial (Chapagain y Hoekstra, citados por Carmona Vega, 2010).

En el Uruguay no hay un consenso establecido sobre la canalización de aguas con contaminantes hacia los arroyos. Es por esta razón que en el presente trabajo no se estimó el agua gris generada por lixiviación de fertilizantes y pesticidas.

3.6 AGUA EN LOS ESTABLECIMIENTOS

Los establecimientos cuentan con diferentes recursos de agua, donde el uso de una u otra fuente dependen del destino que se le dé. Pozos de agua, tajamares, ríos y agua de OSE, son las distintas fuentes utilizadas.

La calidad del agua varía entre las distintas fuentes, sin embargo se considera que al menos una de las fuentes de agua es de buena calidad. Esto se comprueba cada año por la refrendación anual de los tambos que exige el MGAP para remitir leche a industria.

El agua de mayor calidad de los establecimientos se utiliza en las operaciones de ordeño, limpieza de la sala, tanques, máquina y el agua para consumo de las vacas. En el lavado de la planchada de espera, en algunos establecimientos el agua empleada proviene del río o tajamares.

4. RESULTADOS

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA BASE DE DATOS

La superficie vaca masa de los 14 tambos analizados fue de un mínimo de 66 ha a máximo de 526 ha, con un coeficiente de variación (CV) de 63 %. La producción anual de leche por hectárea presentó una variación de $1.510.339 \pm 829.137$ kg LCS entre los tambos (CV=55%).

La huella del agua de la leche fue 1065,1 l de agua/ kg LCS con una variación de $\pm 41\%$.

Las huellas de agua azul, verde y gris, presentaron valores medios de los tambos de 110,7, 936,8 y 17,6 l/kg LCS respectivamente. La variación en la huella de agua azul total fue la más importante (CV 60%) con un promedio de $110,7 \pm 66,5$ l /kg LCS. El agua verde por su parte presentó una variación de $936,8 \pm 465$ l/kg LCS, (CV = 50%) y la huella gris de $17,6 \pm 9,2$ l/kg LCS, (CV = 52%).

Los establecimientos presentaron una gran variación entre sí en los valores de huella de agua verde, gris y azul. El coeficiente de variación, que muestra la dispersión relativa del conjunto de datos con respecto a la media en los tres casos superó el 50 %.

Cuadro No. 2. Valores de Huella del agua de la leche (litros de agua/ kg LCS) de los predios analizados.

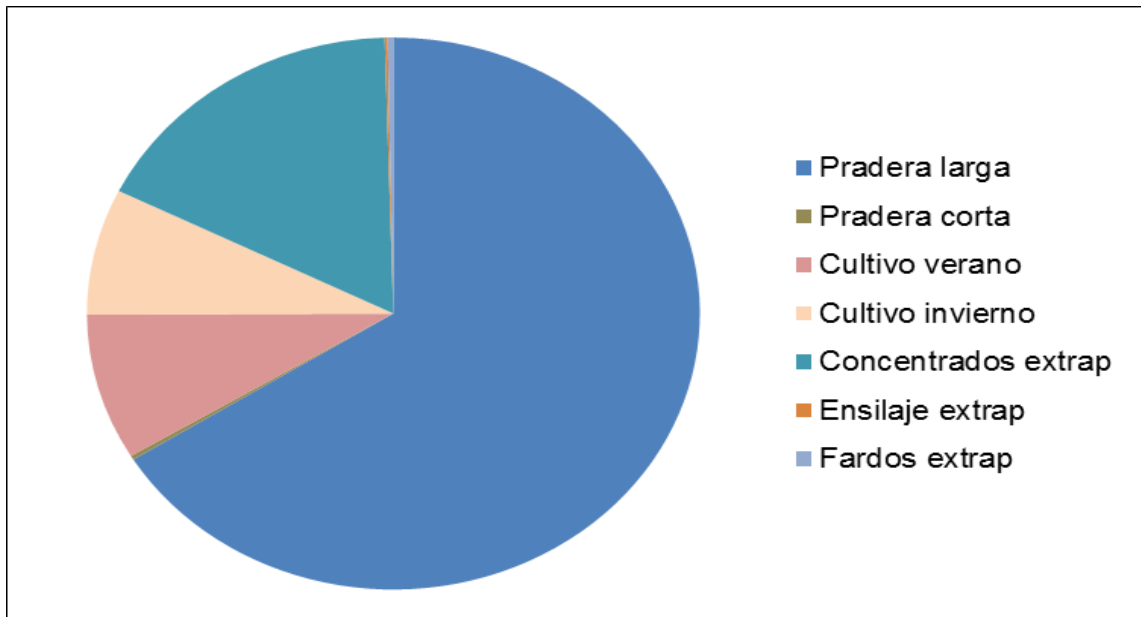
Productor	Ha	LCS y P kg total / Ha	Agua Azul	Agua Verde	Agua Gris	Agua Total
1	126	6750	129,3	685,8	26,5	841,5
2	220	6323	56,9	1056,6	9,1	1122,6
3	79	13159	279,1	485,4	6,2	770,7
4	66	12666	175,2	521,1	14,7	711,1
5	200	7199	42,5	672,9	15,3	730,7
6	335	4940	63,6	1425,4	22,8	1511,7
7	508	3716	35,4	1949,2	11,1	1995,7
8	72	7797	149,4	1133,9	23,0	1306,3
9	178	4558	106,8	1723,2	19,2	1849,2
10	334	8912	71,1	687,9	10,7	769,7
11	317	7989	53,3	494,6	32,5	580,4
12	526	5925	94,6	796,9	12,8	904,3
13	171	5681	145,8	677,9	7,7	831,4
14	188	5721	146,8	804,2	35,4	986,4
Media	237	6373	110,7	936,8	17,6	1065,1
Max	526	5925	279,1	1949,2	35,4	1995,7
Min	66	8506	35,4	485,4	6,2	580,4
Des est	149	5565	66,5	464,6	9,2	440,7
CV %	63	55	60	50	52	41

4.2 HUELLA DEL AGUA VERDE

Las praderas de larga duración explicaron un 66 % de la huella verde de los establecimientos, los cultivos de verano en tanto representan casi un 9 %, mientras que los de invierno cerca del 8%. Las praderas de corta duración fueron las de menor consumo de agua verde en los cultivos desarrollados en los establecimientos.

De los alimentos comprados, los concentrados consumieron un 17% del agua verde, siguiendo en importancia los fardos y luego los ensilajes.

Figura No. 1. Componentes de la huella del agua verde en los establecimientos analizados.



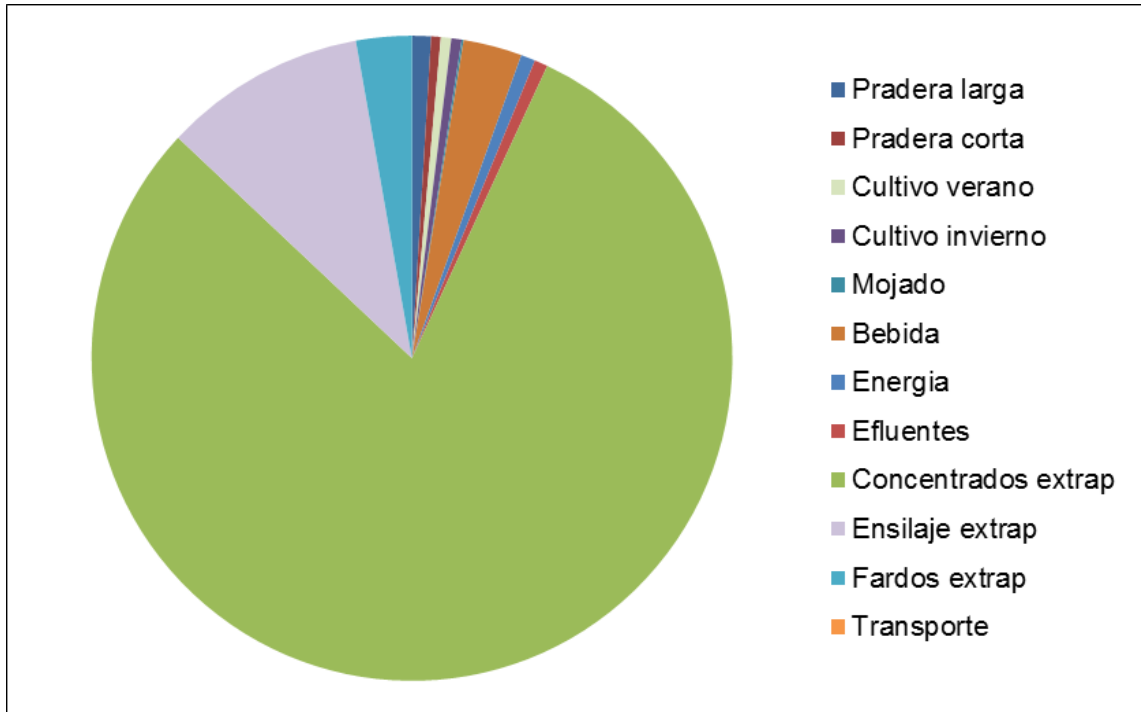
4.3 HUELLA DEL AGUA AZUL

La huella azul en los tambos analizados tiene como principales componentes los alimentos de origen extrapredial. Los concentrados representan el 80 % del total, mientras que el ensilaje 10 % y los fardos casi un 3 %.

Los cultivos y praderas desarrollados en los establecimientos no superan el 1% en ninguno de los casos. La praderas largas es la que consume mayor volumen de agua azul (0,96 %), donde le siguen en importancia los cultivos de verano (0,53 %), los cultivos de invierno (0,52 %) y las praderas cortas (0,48 %).

El agua para bebida de vacas en ordeño y vacas secas representa un 3 % del total de la huella azul. El agua que se evapora de los efluentes, así como la que se destina para la elaboración de energía, mojado de animales en estaciones de altas temperaturas y el agua empleada en la elaboración del combustible utilizado en el período representan porcentajes muy bajos de agua azul.

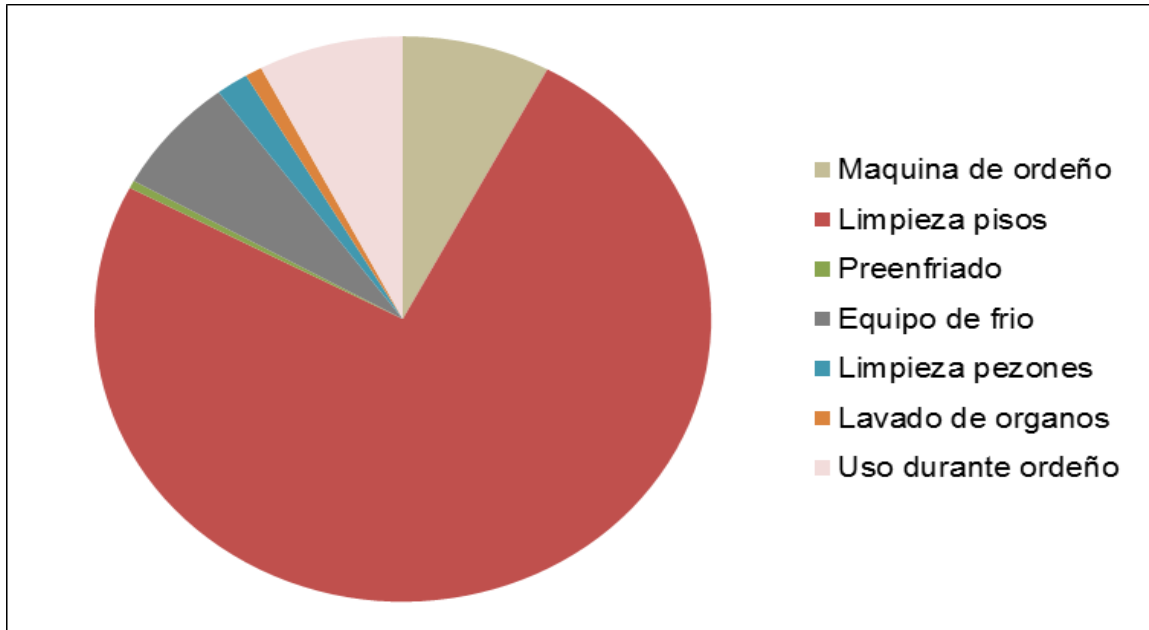
Figura No. 2. Componentes de la huella del agua azul en los establecimientos analizados.



4.4 HUELLA DEL AGUA GRIS

La huella gris de los tambos en un 75 % se explicó por la limpieza de pisos de la sala de ordeño y sala de espera. El agua empleada en la limpieza de las máquinas de ordeño, así como el agua utilizada durante el ordeño representan un valor próximo al 8% cada una. La limpieza del equipo de frío le sigue en importancia, luego el lavado de pezón, el lavado de órganos y por último el agua empleada en el preenfriado.

Figura No. 3. Componentes de la huella del agua gris en los establecimientos analizados.



4.5 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Las variables de mayor importancia de cada huella se utilizaron para conocer la correlación entre ellas y la forma en que incide en la huella.

Los eigenvectores muestran el peso para variables descriptivas estandarizadas que corresponden a cada componente principal.

4.5.1 Huella del agua verde

Cuadro No. 3. Eigenvectores correspondientes al agua verde de los 14 tambos

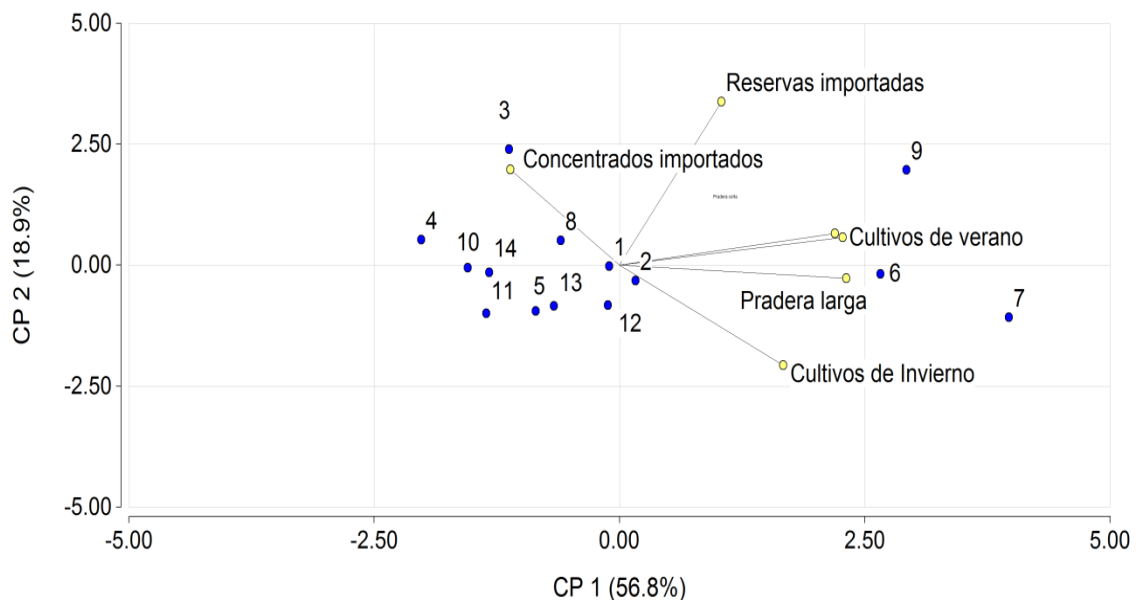
Variables	e1	e2
Pradera larga	0.51	-0.06
Pradera corta	0.49	0.15
Cultivos de verano	0.50	0.13
Cultivos de Invierno	0.37	-0.46
Concentrados importados	-0.25	0.44
Reservas importadas	0.23	0.75

El peso de las distintas variables es complejo, pero es posible aproximarse a una valoración de cada una, para poder así, definir los

componentes. Las variables de mayores valores positivos, como son las praderas y cultivos representan el primer componente.

El segundo componente se define en función de los valores más altos de signo negativo, como son los concentrados.

Figura 4. Proyección de variables técnicas de la huella del agua verde de los predios lecheros, en los ejes 1 y 2 definidos por el análisis de componentes principales.



En el gráfico de la huella de agua verde según productor, se presentan las observaciones (tambos), representadas como puntos azules y las variables con puntos amarillos. La disposición de las variables en el gráfico muestra la correlación que presentan con respecto al uso de agua verde. Cuando dos variables se encuentran a 90° las variables no se relacionan, son independientes.

El CP1 explica el 56,8 % de la variabilidad mientras que el CP2 el 18,9%, por tanto los dos ejes explican el 75,7 % de la variabilidad total de las observaciones.

A partir del gráfico se puede deducir que la mayoría de los casos, el valor de huella verde en tambos está determinado por las variables pradera larga, cultivos de invierno y concentrados.

Los establecimientos 6, 7 y 9 comprenden un grupo, donde el valor de huella verde es determinado principalmente por las variables praderas y cultivos. La pradera de larga duración es la variable de mayor incidencia en estos establecimientos, que además se caracterizan por presentar los valores más altos de huella verde.

En el tambo 3 y 8 hay una alta incidencia de la variable concentrados sobre el valor de huella verde.

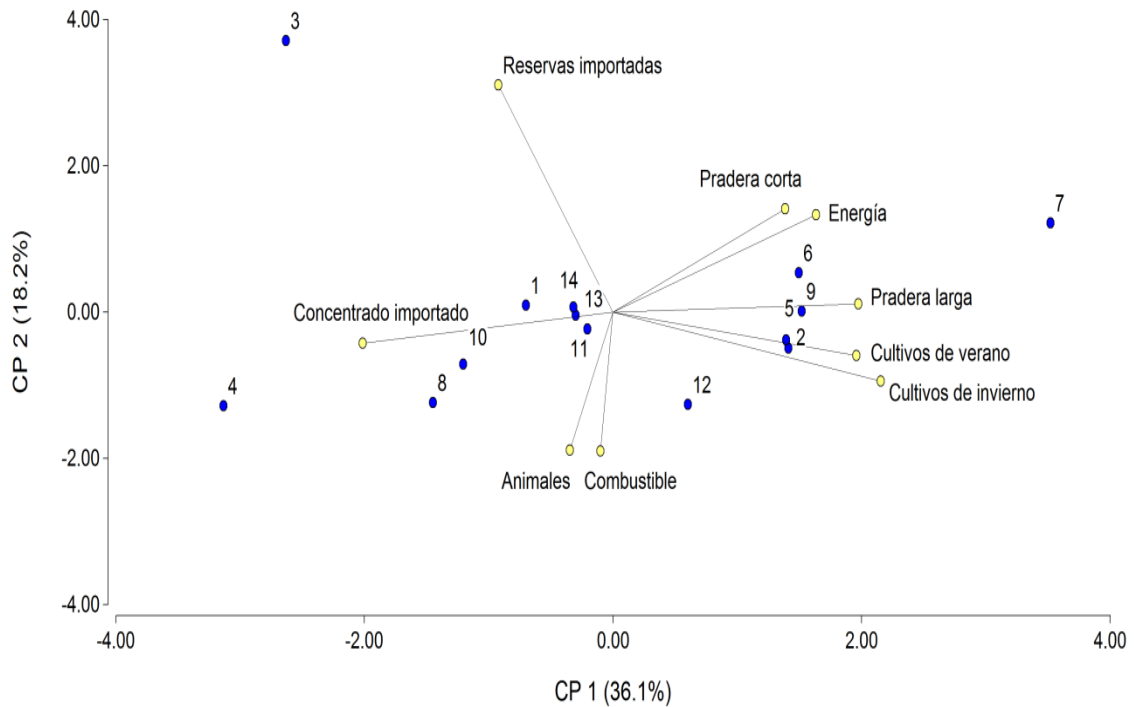
El resto de los establecimientos no presentan una variable de mayor incidencia con respecto al valor de huella del agua verde.

4.5.2 Huella del agua azul

Cuadro No. 4. Eigenvectores correspondientes al agua azul de los 14 tambos.

Variabes	e1	e2
Pradera larga	0.42	0.02
Pradera corta	0.30	0.30
Cultivos de verano	0.42	-0.13
Cultivos de invierno	0.46	-0.20
Animales	-0.07	-0.40
Energía	0.35	0.28
Concentrado improtado	-0.43	-0.09
Reservas importadas	-0.20	0.66
Combustible	-0.02	-0.40

Figura 5. Proyección de variables técnicas de la huella del agua azul de los predios lecheros, en los ejes 1 y 2 definidos por el análisis de componentes principales.



El eje CP1 explica el 36,1% de la variabilidad mientras que el eje CP2 representa el 18,2%, por tanto los dos ejes explican el 54,3% de la variabilidad total de las observaciones.

En las variables con sentido opuesto, como es el concentrado importado y pradera larga, la correlación es alta y negativa. Lo mismo sucede con los cultivos de verano e invierno, la pradera corta y la energía con respecto al concentrado importado. En este sentido en los tambos 4 y 3 el uso de agua azul fue mayor, siendo determinada por el alto consumo de concentrados y reservas en las dietas. Lo mismo sucedió en los tambos 8 y 10 pero con consumos de reservas y concentrados menores con respecto a estos últimos tambos.

Por otra parte en los tambos 2, 5, 6, 7, 9 y 12 las praderas, cultivos, y energía tienen una mayor incidencia en el valor de la huella azul, donde las tres variables se correlacionaron positivamente en el valor de la huella

En los tambos 1, 11, 13, 14 que se encuentran en el centro, las distintas variables tienen similar incidencia sobre el uso de agua azul.

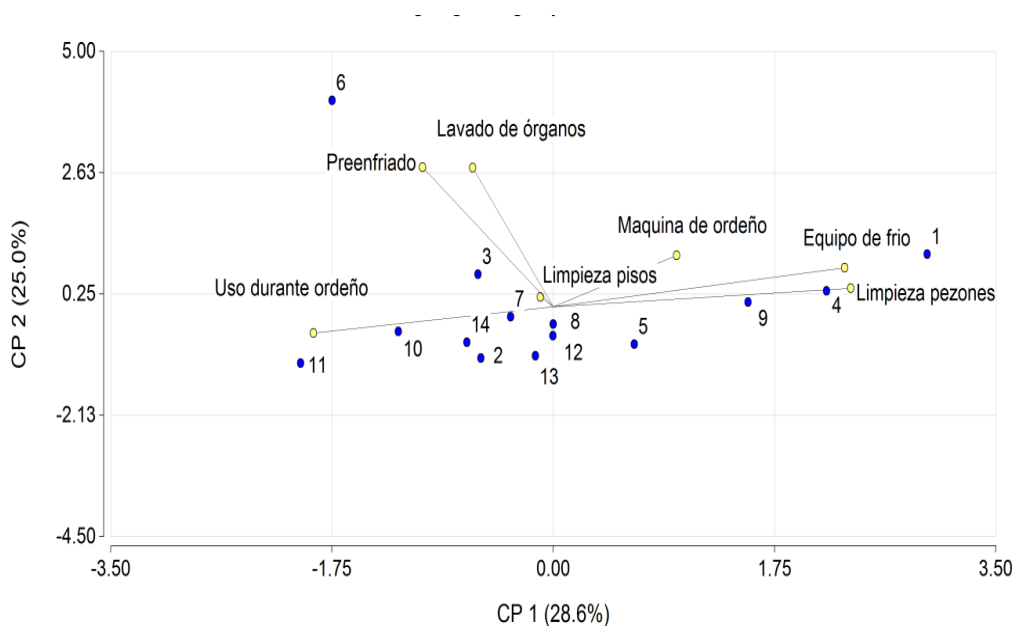
4.5.3 Huella del agua gris

Cuadro No. 5. Eigenvectores correspondientes al agua gris de los 14 tambos

Variables	e1	e2
Máquina de ordeño	0.24	0.24
Limpieza pisos	-0.02	0.05
Preenfriado	-0.25	0.66
Equipo de frío	0.56	0.19
Limpieza pezones	0.57	0.09
Lavado de órganos	-0.15	0.66
Uso durante ordeño	-0.46	-0.13

Por un lado se relacionan la limpieza de piso, el agua de preenfriado, lavado de órganos y uso durante el ordeño, mientras que por otro, el lavado de máquina de ordeño, el lavado de equipo de frío y limpieza de pezones se agrupan en el segundo componente.

Figura No. 6. Proyección de variables técnicas de la huella del agua gris de los predios lecheros, en los ejes 1 y 2 definidos por el análisis de componentes principales.



El CP1 explica el 28,6 % de la variabilidad mientras que el CP2 el 25 %, por tanto los dos ejes explican el 53,6 % de la variabilidad total de las observaciones.

En su mayoría los puntos se encuentran en el centro, próximos a la limpieza de pisos, variable de mayor valor de agua gris en el total de los tambos analizados.

Los productores 1, 4 y 9 realizan limpieza de pezones, esta variable se relaciona positivamente con el uso de agua en la limpieza del equipo de frío y máquina de ordeño. Estas tres variables en tanto presentaron correlación negativa con el uso de agua durante el ordeño, por lo que este indicador en estos establecimiento tuvo baja incidencia en la huella gris.

Los tambos 11, 10 y 14 utilizan mayor cantidad de agua durante el ordeño con respecto al resto de los tambos. A su vez el establecimiento 6 es el único que utiliza placa de preenfriado.

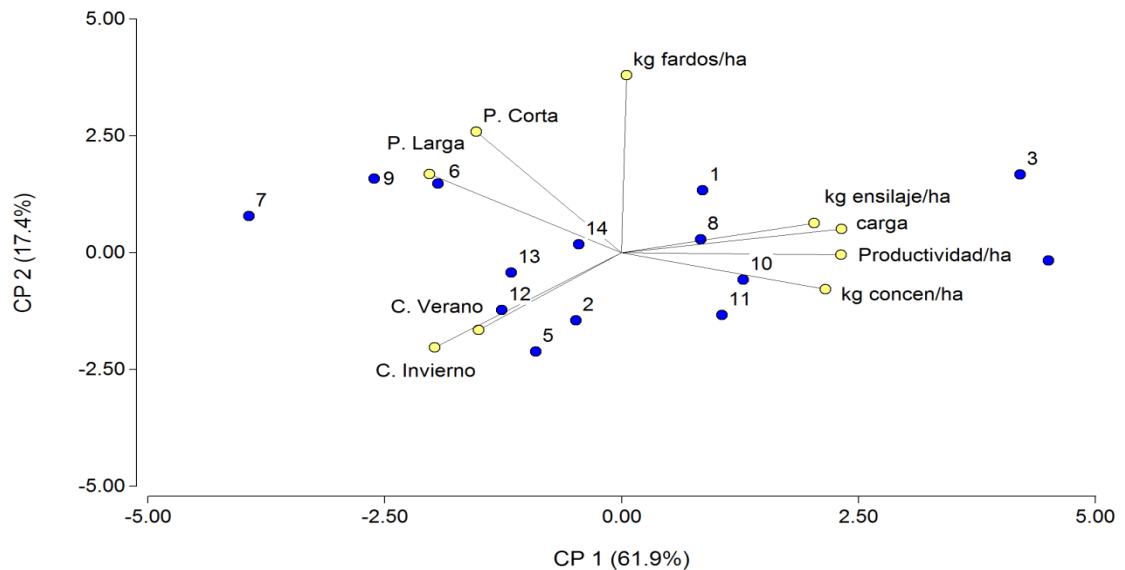
4.5.4 Variables productivas

Cuadro No. 6. Eigenvectores correspondientes a variables productivas de los 14 tambos.

Variables	e1	e2
Carga	0.41	0.09
P. Larga	-0.36	0.30
P. Corta	-0.27	0.46
C. Verano	-0.27	-0.29
C. Invierno	-0.35	-0.36
Productividad/ha	0.41	-0.01
kg fardos/ha	0.01	0.67
kg ensilaje/ha	0.36	0.11
kg concen/ha	0.38	-0.14

El primer componente se define como aquel formado por praderas de larga y corta duración y los cultivos de verano e invierno. El segundo componente se conforma de carga animal (VM/hectárea), kg de ensilaje/ha, productividad/ha y kg de concentrados/ha. Los fardos no se definen claramente dentro de uno de los dos componentes de las variables productivas.

Figura No. 7. Proyección de variables productivas de los predios lecheros en los ejes 1 y 2 definidos por el análisis de componentes principales.



El CP1 explica el 61,9 % de la variabilidad mientras que el CP2 el 17,4 %, lo que hace que ambos ejes expliquen el 79,3 % de la variabilidad total de las observaciones.

En el gráfico se observa como los kilos concentrados y el ensilaje por hectárea se correlacionan positivamente con la carga animal, así como también, con la productividad. En tanto, dichos componentes, presentan una correlación negativa con las praderas y cultivos, entendiéndose, que los establecimientos que utilizan altas cantidades de concentrados y ensilajes en sus dietas, el uso de praderas y cultivos es bajo. En tanto aquellos predios con altos usos de praderas y cultivos, emplean menores cantidades de concentrados y ensilajes en sus dietas, obteniendo una menor productividad y teniendo una menor carga animal.

Los establecimientos 3 y 4 se caracterizan por presentar un alto uso de concentrados y ensilajes en sus dietas. La carga animal es alta y su productividad también. El consumo de praderas y cultivos en estos establecimientos es bajo en comparación al total analizados.

En los establecimientos 6, 7 y 9, las praderas de larga duración son la variable de mayor importancia. El uso de concentrados por hectárea en estos predios es bajo en comparación al resto de los establecimientos, caracterizados además, por presentar una baja carga animal y baja productividad.

Los predios 2, 5 y 12 se agrupan dentro de las variables cultivos de verano e invierno. Estos tambos se caracterizan también por presentar una baja carga animal y baja productividad, pero como variables de mayor incidencia sobre la huella del agua los cultivos.

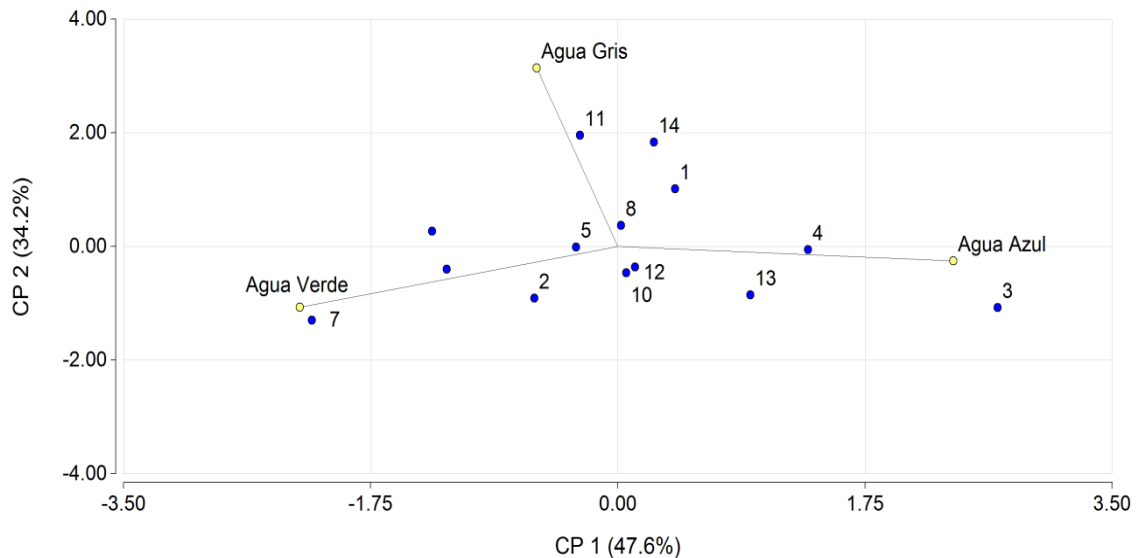
4.5.5 Huella del agua total

Luego de analizar las variables técnicas de incidencia sobre cada huella según productor y las variables productivas, se analizó como la huella azul, verde y gris incidió en los predios estudiados sobre el total de huella del agua.

Cuadro No. 7. Eigenvectores correspondientes a la huella del agua azul, verde y gris de los 14 tambos.

Variables	e1	e2
Agua Azul	0.72	-0.08
Agua Verde	-0.68	-0.32
Agua Gris	-0.17	0.94

Figura No. 8. Proyección de la huella del agua azul, verde y gris de los predios lecheros, en los ejes 1 y 2 definidos por el análisis de componentes principales.



El CP1 explica el 47,6 % de la variabilidad mientras que el CP2 el 34,2 %, lo que hace, que ambos ejes expliquen el 81,8 % de la variabilidad total de las observaciones.

Los establecimientos 7, 6 y 9 presentaron altos valores de huella del agua verde, que estuvieron determinados por el mayor uso de praderas de larga duración de estos predios en relación al resto.

Los predios 4 y 3 el uso de agua azul fue mayor con respecto a los demás predios analizados, siendo determinados por dietas con altos contenidos de concentrados y ensilajes.

Los valores más altos de huella gris fue en los establecimientos 11 y 14, siendo el agua empleada durante el ordeño como la variable de incidencia que determinó el mayor uso de agua gris.

5. DISCUSIÓN

El estudio realizado en sistemas de producción de leche en el departamento de Colonia, brinda los primeros resultados de la huella del agua de la leche disponibles para sistemas de producción de leche del Uruguay. Si bien se trata de un muestreo teórico y por tanto restringe a brindar conclusiones sobre las unidades analizadas y no generalizar los resultados para todo el país, da una aproximación a la huella del agua de la leche en el Uruguay. El cálculo de la huella fue en base a la norma internacional ISO 14046:2014, lo que permitirá a futuro comparar con valores internacionales.

En esta última instancia del estudio, se procedió a finalizar con una interpretación de los resultados, tratando de identificar los procesos que realizaron una mayor contribución a la huella. En el mismo no se realizó una evaluación del impacto de la huella del agua.

5.1 HUELLA DEL AGUA

La superficie VM (límite del sistema) de los 14 tambos analizados, va desde 66 ha a un máximo de 526 ha VM, con un promedio de 237 ha. Este valor se asemeja al promedio nacional de 196 ha superficie para el año 2011 (MGAP. DIEA, 2012). La producción promedio anual de leche en el país, según el censo 2011 fue es de 2073 l/ha, valor muy por debajo del promedio de los establecimientos (7238 l/ha).

La alimentación en los predios en estudio utilizaron dietas, a base de pasturas y verdes, con aportes de concentrados promedio de 2007 kg/ha, de fardos 680 kg/ha y ensilaje 2564,1 kg MS/ha.

Los valores de huella del agua total de la leche en promedio para el total de los tambos fue 1065,1 l/kg LCS, donde 110,7 l/kg LCS (10 %) corresponden a la huella del agua azul, 936,8 l/kg LCS (88 %) al agua verde y 17,6 l/kg LCS (2 %) al agua gris. Se deduce que el componente de mayor importancia de la huella del agua para los establecimientos analizados, fue el agua verde.

5.2 HUELLA DEL AGUA VERDE

El agua verde, hace referencia al volumen de agua procedente de la lluvia que es absorbida por el suelo o incorporada al suelo, para ser evaporada o transpirada por las plantas. En los resultados presentados en el estudio se explica mayormente por las praderas de larga duración, que mostraron un consumo de agua verde de 66 % del total de la huella

verde. El agua verde en praderas es la utilizada durante el ciclo de desarrollo de las pasturas, así como también en la obtención de semillas para la implantación de las mismas.

A partir del análisis de componentes principales, surge que la huella verde se compone de un eje primario representado por el 56,8 % de la variación total y que se explica por el consumo de agua verde de las praderas y cultivos desarrollados en los establecimientos. De acuerdo a esto los predios 6, 7 y 9 fueron los que presentaron mayor huella verde y huella del agua total, como consecuencia de la mayor proporción de área de praderas largas realizadas en el ejercicio estudiado. Sin embargo, fueron los que presentaron la menor productividad del total de predios analizados.

En este sentido, los resultados obtenidos, difieren con lo planteado por Gerbens-Leenes y Hoekstra (2011), que a mayor uso de concentrados, mayor es el valor de huella del agua. Los mayores valores de huella del agua en los establecimientos, se debió al mayor uso de agua verde, que estuvo determinado por el mayor componente pradera en sus dietas. Además los establecimientos con mayor uso de praderas en sus dietas, fueron los que presentaron menor consumo de concentrados (Kg/ha).

En segundo orden, pero de menor importancia que las praderas, los concentrados representaron un 17 % de la huella verde. Estos se vieron representados en el análisis de componentes principales por el segundo eje (18,9%), que mostró cierta correlación entre el consumo de concentrados y el de reservas entre los predios.

5.3 HUELLA DEL AGUA AZUL

La huella del agua azul se explicó en más de un 90% por el alimento extrapredial de los establecimientos, siendo los concentrados (80%) los que tuvieron una mayor incidencia, seguido por los ensilaje (10%) y los fardos (3%).

El uso de agua de los concentrados, representa en un 98 % agua utilizada en la elaboración de los fertilizantes empleados en los cultivos, sumado al agua empleada en la elaboración de los agroquímicos y combustibles.

En el gráfico de componentes principales, se muestra que la huella azul se compone de un eje primario, el cual representa el 36,1 % de la variación total, interpretado como el eje que diferencia los tambos con mayor consumo de concentrados y reservas. Los tambos ubicados próximos a este eje (3, 4, 8 y 10) fueron los que presentaron mayores valores de huella de agua azul. En este

sentido tres de estos productores se caracterizaron por presentar la menor área vaca masa del total de los 14 productores. La carga animal por hectárea fueron las superiores, caracterizándose por dietas con altos valores de concentrados, obteniendo así los mayores valores de productividad (lt/ha) de los predios analizados. Los altos valores de huella del agua azul se correspondieron con los menores valores de huella del agua total de los establecimientos.

El otro eje, que explicó el 18,2 % del total de variación y esta correlacionado principalmente con las praderas y cultivos, así como la energía. En los tambos 2, 5, 6, 7, 9 y 12, las praderas y cultivos tuvieron una mayor incidencia sobre el valor de huella azul, sin embargo el valor de la huella de agua azul fue menor con respecto al resto de los tambos.

5.4 HUELLA DEL AGUA GRIS

La huella del agua gris en los tambos estudiados fue explicada con 75% por agua empleada en la limpieza de pisos de la sala de ordeño y sala de espera.

El eje primario que representa el 28,6 % de la variabilidad y se relaciona al uso de agua en máquina de frío, equipo de frío y lavado de pezones. Estas tres variables se relacionan positivamente, al aumentar una, lo hacen las otras dos también. El eje secundario representa el 25 % de la variación y se explica por el uso de agua empleada durante el ordeño, agua de las placas de preenfriado y agua en el lavado de órganos exteriormente.

Las siete variables no se dan en la totalidad de los tambos. El lavado de pezones a lo largo del año no se realiza en todos los tambos, en la mayoría de las ocasiones se lava cuando hay suciedad, barro. El enfriamiento por placas no se aplica tampoco en todos los tambos, y en la mayor parte de las veces el agua se reutiliza para limpieza, bebida u otro uso específico, por lo que no se realiza una medición de agua ya que esa agua ya fue contemplada.

Los tambos 11 y 14 fueron los tuvieron la huella gris más alta, como consecuencia del mayor uso de agua en el lavado de pisos. Estos tambos a pesar de presentar altos valores de uso de agua en el lavado de piso, no son los establecimientos de mayor área de planchada de espera y sala de ordeño.

5.5. ANÁLISIS COMPARATIVO

Según datos divulgados en 2012 por Mekonnen y Hoekstra, la huella del agua de la leche mundial promedio fue 1191 litros/kg de leche, la huella del agua verde 1087 l/kg de leche, la huella azul 56 l/kg de leche, en tanto la huella del agua gris 49 l/kg de leche. De esta forma se pudo inferir que los valores de huella del agua total, verde y azul para los tambos analizados en Colonia se encuentran en el promedio mundial. La huella gris obtenida en los establecimientos analizados en Colonia difiere con el promedio mundial, encontrándose por debajo de este valor.

Los estudios realizados en Nueva Zelanda, Australia, Reino Unido, Chile, Brasil la huella del agua de la leche calculada, en ninguno de los casos se tomó como guía de referencia la Norma ISO 14046:2014, y por tanto las metodologías de cálculo difirieron con el estudio realizado en Colonia. En Nueva Zelanda los valores presentados de huella del agua mostraron las mismas unidades con respecto al presente trabajo, lo que permitió una comparación de datos, a pesar de diferir en la metodología de cálculo.

5.5.1 Nueva Zelanda

El estudio realizado en Nueva Zelanda en las regiones de Waikato y Canterbury, calculados por el método de WFC-Ridoutt mostró valores de huella de agua de 945 l/kg LCS y 1084 l/kg LCS. En la región de Waikato el total de la huella de agua, 680 l/kg LCS (72 %) fueron agua verde, 264 l/kg LCS (28 %) el agua gris y 1 l/kg LCS (0,1 %) el agua azul. En Canterbury el agua verde calculada fue de 499 l/kg LCS (46 %), el agua gris 336 l/kg LCS (31 %) y el agua azul 249 l/kg LCS (23 %) (Zonderland-Thomassen, 2012).

5.5.1.1 Huella del agua verde

Los valores de huella de agua total obtenidos en las dos regiones se encuentran dentro de la variación obtenida en los 14 establecimientos analizados en Colonia (1065,1 l/kg LCS \pm 41%), así también la huella de agua verde (936,8 l/kg LCS \pm 50%).

La concordancia entre los valores de huella verde de ambos países se explicó por diversos factores, entre ellos, la alimentación del ganado y las condiciones climáticas.

El valor de huella verde, en el presente estudio estuvo determinado básicamente por el componente de pasturas de larga duración, y en menor medida por los concentrados. La alimentación en los establecimientos

analizados en el departamento de Colonia fue muy similar a las regiones de Nueva Zelanda.

La dieta del ganado lechero en estas dos regiones de Nueva Zelanda fue a base de pasto, con aportes de suplemento de 1892 kg MS/ha en Canterbury y 798 kg MS/ha en Waikato. Los establecimientos estudiados en Colonia presentaron dietas a base de pasturas y verdeos, con aportes en promedio de 2007 kg MS/ha de concentrado. En tal sentido no solo es relevante la dieta del ganado, sino también, las condiciones climáticas en las que se desarrolla el alimento.

El Uruguay se encuentra en latitudes (paralelo 30°S y 35°S) muy similares a Nueva Zelanda (paralelo 29° y 53° S) en gran parte del territorio, por lo que están sujetos a las mismas condiciones climáticas. La zona norte de Nueva Zelanda, la región de Waikato presentó un régimen hídrico (1264 mm/año), encontrándose en el rango de precipitación de 1200-1600 mm/año de nuestro país. La región de Canterbury al sur, no se encuentra en la misma latitud que el Uruguay, viéndose reflejado en diferencia en el régimen hídrico (677 mm/año), con respecto a nuestro país. Esta última región estudiada, compensó la menor lluvia con riegos (huella de agua azul) de 565 mm/ha.

La región norte de Nueva Zelanda (Waikato), que se encuentra en la misma latitud que el Uruguay, presentó valores de huella verde muy similares al presente estudio. Esto se debió a que los cultivos estuvieron sujetos a similares condiciones climáticas.

En la región sur (Canterbury), que no se ubica en una misma latitud con respecto a nuestro país, presentó mayores diferencias en el valor de huella verde con respecto al estudio. Sin embargo a pesar de esto, su valor de se encontró dentro de la variación posible de los resultados obtenidos en Colonia.

5.5.1.2 Huella del agua azul

La huella azul en los tambos de Colonia (110,7 l/kg LCS \pm 60%), presentó diferencias con el estudio realizado en Nueva Zelanda, encontrándose entre medio de los valores obtenidos en Waikato (1 l/kg LCS) y Canterbury (249 l/kg LCS).

En el presente trabajo, se afirmó, que los valores de huella azul en los 14 tambos estaban determinados en un 80% por el consumo de concentrados, a causa del uso de fertilizantes en la producción de los

mismos. En tal sentido al presentar similares consumos de concentrados entre los rodeos de ambos países, se esperaban resultados parecidos de agua azul. Estas diferencias se atribuyeron, al uso de diferentes metodologías de cálculo, también así, la posibilidad de que las dosis de fertilizante aplicadas en Nueva Zelanda no son las mismas que nuestro país.

En la región de Canterbury el alto valor de agua azul fue a causa del uso de riego en praderas y cultivos, mientras que en Waikato el bajo registro de agua azul se debió en un 99% a la electricidad y el empleo de fertilizantes.

5.5.1.3 Huella del agua gris

La huella de agua gris presenta grandes diferencias entre los resultados obtenidos en el estudio (17,6 l/kg LCS), a los valores registrados en las regiones de Waikato (264 l/kg LCS) y Canterbury (336 l/kg LCS).

En Nueva Zelanda existe regulación de normas ambientales de calidad de agua, lo que permitió estimar la cantidad de agua dulce necesaria para diluir nitrato lixiviado a un nivel aceptable. En tal sentido la huella gris, de las dos regiones de Nueva Zelanda fue determinada, principalmente por la lixiviación de fertilizante.

El bajo valor obtenido en Colonia de huella gris, se debió en gran medida, a que no se pudo estimar el agua necesaria para diluir los nitratos lixiviados de los fertilizantes y herbicidas, por falta de normas regulatorias.

Este indicador del grado de contaminación del agua dulce, que es la huella gris, fue muy inferior en los tambos analizados con respecto a los valores registrados en Nueva Zelanda.

Los resultados presentados por el estudio estarían sugiriendo que el tambo promedio (calculado a partir de los 14 tambos analizados en Colonia) estaría en condiciones de competir ambientalmente en términos de uso de agua, con el principal exportador de leche en el mundo.

6. CONCLUSIONES

En promedio los 14 establecimientos analizados del departamento de Colonia utilizaron 1065,1 litros de agua, para producir un litro de leche corregido en grasa y proteína. La huella del agua verde representó el 88%, el agua azul el 10 % y el agua gris el 2 % del total.

El agua verde fue el componente de mayor importancia en la huella del agua de la leche, seguido del agua azul y el agua gris. El agua verde y azul fueron determinadas por los alimentos consumidos. En el agua gris el principal factor de incidencia fue el agua empleada en lavado de pisos de sala de espera y sala de ordeño.

Los establecimientos que emplearon mayor agua verde y menor agua azul en relación al resto, fueron los que presentaron mayor huella del agua. Esto se debió a que emplearon dietas caracterizadas por un alto componente de praderas y cultivos, y menos concentrados y ensilajes, con respecto a los demás establecimientos. Las praderas de larga duración fue la variable que utilizó mayor agua verde.

Los sistemas de producción caracterizados por alta productividad, alta carga animal y con dietas con fuerte componente de concentrados y ensilajes, fueron identificadas como las prácticas de manejo más eficiente en reducir la huella del agua de la leche. La huella del agua azul en estos tambos fue un componente importante, no así el agua verde, por lo que el agua total fue menor.

La huella gris no tuvo un denominador común entre los establecimientos. En todos los casos, la variable de mayor incidencia fue el uso de agua en el lavado de pisos, seguido en importancia el agua empleada durante el ordeño sin embargo no se observaron grandes diferencias en el valor de huella gris entre los predios analizados.

7. RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue calcular la huella del agua en la leche, siguiendo la norma internacional ISO 14046:2014. Se seleccionaron para el estudio, por medio de un muestreo teórico, 14 tambos comerciales ubicados en el departamento de Colonia. Los datos recolectados corresponden al ejercicio fiscal 2012-2013, obtenidos a partir de consultas a los asesores, productores, tamberos, así como también mediciones realizadas en los establecimientos. La superficie vaca masa de los tambos analizados fue desde un mínimo de 66 ha a máximo de 526 ha (CV de 63 %). La alimentación fue a base de pastoreos, con aportes de concentrados (2007 kg/ha), fardos (680 kg/ha) y ensilaje (8547,8 kg/ha). La producción anual de leche presentó una variación de 1.510.339 (\pm 829.137 kg) leche corregida por sólido (LCS), entre los tambos (CV=55%). La huella del agua de la leche fue en promedio para los tambos analizado de 1065,1 l de agua/ kg LCS (\pm 41%). El agua verde fue responsable del 88 % del total (936,8 l/kg LCS), el agua azul el 10 % (110,7 l/kg LCS) y el agua gris 2 % (17,6 l/kg LCS). Los valores de huella del agua total, verde y azul de la leche se encuentran dentro del promedio mundial. Los sistemas de producción más eficientes en el uso del agua, fueron caracterizados por presentar una alta carga animal, dietas con un fuerte componente de concentrados y mayores valores de productividad.

Palabras clave: Agua verde; Agua azul; Agua gris; Lechería; Productividad; Análisis multivariado.

8. SUMMARY

The purpose of this investigation was to calculate the water footprint in milk following the international standard ISO 14046:2014. For this study, fourteen commercial dairy farms were selected by means of theoretical sampling, all of them located in the state of Colonia. All the data collected corresponds to the fiscal year 2012-2013, obtained through interview with consultants, producers, dairy farmers, as well as measurements obtained in the farms. The surface cow of the dairy farms considered, rated from a minimum of 66 hectares to a maximum of 526 hectares (CV = 63%). The feeding was based on grazing, with contributions of rations (2007 kg/ha), fodder-bale (680 kg/ha), and silage (8547,8 kg/ha). The annual production of milk presented a variation of 1.510.339 (\pm 829.137 kg) kg fat and protein corrected milk (FPCM) between the dairy farms (CV = 55%). On average, the water footprint in milk for the dairy farms analyzed was 1065, 1 l water/ kg FPCM (\pm 41%). The green water was responsible for the 88% of the total (936, 8 l/kg FPCM), the blue water was responsible for the 10 % (110, 7 l/kg FPCM) and the grey water for the 2 % (17, 6 l/kg FPCM). The values for the total water footprint in milk, for all the milk, are within the world averages. The most efficient systems of production in the use of water, were characterized for presenting with a high stocking rate, diets with a high component of rations and higher productivity values.

Keywords: Green water; Blue water; Grey water; Dairy; Productivity; Multivariate analysis.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Agua; situación de los recursos hídricos en Uruguay. 2001. (en línea). 8 p. Consultado 15 mar. 2015. Disponible en <http://www.bvsde.ops-ms.org/bvsadiaa/e/noticias/uruguay/01-158-hes.pdf>
2. Aldaya, M. M.; Niemeyer, I.; Zarate, E. 2011. Agua y globalización; retos y oportunidades para una mejor gestión de los recursos hídricos. Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros. no. 230:61- 83.
3. Alvarenga, R. A. F.; Léis, C. M.; Cherubini, E.; Zanghelini, G. M.; Galindo, B. M.; Silva Júnior, V. P.; Soares, S. R. 2014. Estimating the water footprint of milk produced in the southern region of Brazil. In: International conference Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (9th., 2014, San Francisco, USA). List of abstracts 2014. San Francisco, US, American Center for Life Cycle Assessment. pp. 39-43.
4. Ausburger, H. K. M.; Bassewitz, H. ; Dobler, T.; Fossatti, M.; Hoyos, C.; Negrín, H. 1991. Costos operativos de la maquinaria agrícola. Montevideo, FUCREA/GTZ. 114 p.
5. Bartaburu, D. 2000. La vaca lechera en el verano; sombra, agua y manejo. (en línea). Revista Plan Agropecuario. no. 94: 29-34. Consultado 30 mar. 2015. Disponible en http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R94/R94_39.htm
6. Berger, M.; Finkbeiner, M. 2010 Water footprinting; how to address water use in life cycle assessment ?. Berlin, Technische Universität Berlin. pp. 919-944.
7. Bogliani, M.; Hilbert, J. 2005. Aplicar eficientemente los agroquímicos. Buenos Aires, INTA. 383 p.
8. Broussain Kyling, J. 2011. Análisis y aplicación de una metodología para el cálculo de la huella hídrica a nivel predial de la producción lechera en Chile. Tesis Ing. Civil. Santiago de Chile, Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 80 p.

9. Carámbula, M. 2010. Pasturas y forrajes; manejo, persistencia y renovación de pasturas. Montevideo, Hemisferio Sur. v. 3, 413 p.
10. Carmona Vega, L. 2010. Estimación de la huella gris de la agricultura teniendo en cuenta el efecto de fertilizantes y pesticidas. Tesis Ing. del terreno, cartográfica y geofísica. Especialidad Hidrología subterránea. Catalunya, España. Universitat Politècnica de Catalunya. 127 p
11. Castaño, J. P.; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Aunchayna, R. 2011. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Montevideo, INIA. 23 p. (Serie Técnica no. 193)
12. CIA (Agencia Central de Inteligencia, US). 2014. The World Factbook 2013-2014; geographic overview. (en línea). 51st. ed. New York. s.p. Consultado 10 feb. 2015. Disponible en <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/xx.html#Geo>
13. Crossette, B. 2011. Estado de la población mundial 2011; 7 mil millones de personas, su mundo, sus posibilidades. Nueva York, US, UNFPA (Fondo de Población de las Naciones Unidas). División de Información y Relaciones Externas. 132 p.
14. De Boer, J. M.; Hoving, E.; Vellinga, T.; Van de Ven, W. J.; Leffelaar, A.; Gerber, J. 2012. Water use in LCA; assessing environmental impacts associated with freshwater consumption along the life cycle of animal products; the case of Dutch milk production in Noord-Brabant. The International Journal of Life Cycle Assessment. no. 18: 193-203.
15. Duarte, E. 2011. Uso del Agua en establecimientos agropecuarios. Sistema de abrevadero (Parte I); ¿Cuánta agua toma una vaca?. Revista Plan Agropecuario. no. 139: 52-55.
16. Durán, A.; García Préchac, F. 2007. Suelos del Uruguay; origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Hemisferio Sur. v.2, 358 p.

17. FAO (Food and Agriculture Organization, IT). 2011. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura; la gestión de los sistemas en situación de riesgo. Roma. pp. 67-151.
18. _____. 2015. Aquastat; Uruguay. (en línea). Roma. s.p. Consultado 30 mar. 2015. Disponible en http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/ury/indexesp.stm
19. Galván, M. 2012. Surfers; veloz desarrollo de emergentes agudiza preocupación por futuro del recurso agua. (en línea). La Diaria, Montevideo, UY. abr. 12: s.p. Consultado 10 feb. 2015. Disponible en <http://ladiaria.com.uy/articulo/2012/4/surfers/>
20. Gaudioso, R. 2011. Estudio técnico oportunidades para promover medidas de mejora en la eficiencia energética y uso de energías renovable en pequeños y medianos establecimientos lecheros en Uruguay. Washington, D. C., FOMIN. 38 p.
21. Gerbens-Leenes, W.; Hoekstra, A. Y. 2011. The water footprint of biofuel-based transport. Energy and Environmental Science. 4: 2658-2668.
22. González, A. E.; Rezzano, N.; Indarte, E. 2008. Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros; diseño, operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de efluentes. Montevideo, MVOTMA. DINAMA. pp. 13-37.
23. Graf, E. 2004. El abordaje de la realidad a través del enfoque de sistemas. Montevideo, Facultad de Agronomía. 13 p.
24. Hess, T.; Chatterton, J.; Williams, A. 2012. The volumetric water consumption of british milk. Bedford, Cranfield University. Department of Environmental Science and Technology. 27 p.
25. Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K.; Aldaya, M. M.; Mekonnen, M. M. 2011. The water footprint assessment manual; setting the global standard. London, Earthscan. 228 p.

26. IDF (International Dairy Federation, BE). 2010. A common carbon footprint approach for dairy. The IDF guide to standard life cycle assessment methodology for the dairy sector. Brussels, Belgium. 46 p.
27. ISO (International Organization for Standardization, SW). 2014. Environmental management; water footprint. Principles, requirements and guidelines ISO 14046. Geneva. 40 p.
28. Koncagül, E.; Connor, R.; Tran, M. 2014. Agua y energía; datos y estadísticas. Informe de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. (en línea). Perugia, IT, UNESCO. División Ciencias y Agua. 8 p. Consultado 10 feb. 2015. Disponible en <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002269/226961S.pdf>
29. Leborgne, R. 1983. Antecedentes y metodología para presupuestación en establecimientos lecheros. Montevideo, Hemisferio Sur. 54 p.
30. Mekonnen, M. M.; Hoekstra, A. Y. 2011. National water footprint accounts; the green, blue and grey water footprint of production and consumption. Hydrology and Earth System Sciences. 15(5): 1577–1600.
31. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2012. Censo general agropecuario 2011; resultados definitivos. Montevideo. 142 p.
32. _____. DGSG (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de Servicios Ganaderos, UY). 2010. Manual para la habilitación y refrendación de establecimientos productores de leche y queserías artesanales. Montevideo. 33 p.
33. Nosetti, L.; Herrero, M. A.; Pol, M.; Maldonado May, V.; Iramain, M.; Flores, M. 2002. Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros; demanda de agua y manejo de efluentes. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Veterinarias. 7 p

34. NRC (National Research Council, US). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th. ed. Washington, D. C., National Academic Press. 406 p.
35. OMS (Organización Mundial de la Salud, CH). 2015. Temas de salud; agua. (en línea). Ginebra. s.p. Consultado 20 jul. 2015. Disponible en <http://www.who.int/topics/water/es/>
36. Pfister, S.; Koehler, A.; Hellweg, S. 2009. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. *Environmental Science and Technology*. 43 (11): 4098–4104.
37. Salazar, F. A.; Herrero, M. A.; Charlón, V.; La Manna, A. 2010. Slurry management in dairy grazing farms in South American countries. *In*: RAMIRAN International Conference Treatment and Use of Organic Residues in Agriculture; Challenges and Opportunities Towards Sustainable Management (14th, 2010, Lisboa, Portugal). Book of abstracts. Lisbon, IRSTEA. pp. 1- 4.
38. Salazar Sperberg, F. 2012. Manual de manejo y utilización de purines en lechería. Osorno, Consorcio lechero. 118 p.
39. Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel, V.; Rosales, M.; De Haan, C. 2006. La larga sombra del ganado; problemas ambientales y opciones. Roma, FAO. pp. 141-203.
40. UNESCO (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, US). 2013. Unas instituciones sólidas pueden cambiar totalmente la situación. *El Mundo de Ciencia*. 11 (1): 9-10.
41. _____. 2015. Escasez y calidad de agua; abordar la escasez y calidad de agua. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 10 feb. 2015. Disponible en <http://www.unesco.org/new/es/office-in-montevideo/ciencias-naturales/water-international-hydrological-programme/escasez-y-calidad-del-agua/>

42. Uruguay XXI. 2014. Avance de comercio exterior; octubre 2014. (en línea). Montevideo. 3 p. Consultado 20 jul. 2015. Disponible en <http://presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/exportaciones-octubre-2014>
43. USGS; UNESCO (United States Geological Survey, US; United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, US). 2014. El ciclo del agua. (en línea). New York. s.p. Consultado 1 feb. 2015. Disponible en <https://water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>
44. WFN (Water Footprint Network, NED). 2008. Aims and history. (en línea). Enschede. s.p. Consultado 30 mar. 2015. Disponible en <http://waterfootprint.org/en/about-us/aims-history/>
45. Yelpe, L.; Serrentino, C. M. 2000. Uruguay y la gestión de sus recursos hídricos; informe sectorial. (en línea). Montevideo, s.e. 80 p. Consultado 15 mar. 2015. Disponible en <http://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/1/23451/InUr00100.pdf>
46. Zonderland-Thomassen, M. A.; Ledgard, S. F. 2012 Water footprinting; a comparison of methods using New Zealand dairy farming as a case study. *Agricultural Systems*. 110: 30-40.
47. Zukang, S. 2012. Objetivos de desarrollo del milenio; informe de 2012. Nueva York, US, ONU (Organización de las Naciones Unidas). 5 p.