



<https://revistaagrocienza.wordpress.com/>

Artículo de investigación

Determinación de la Huella Hídrica en los procesos productivos de la leche y su nivel tecnológico en dos ganaderías del occidente de El Salvador

Determination of the Water Footprint in the milk production processes and their technological level in two livestock farms in western El Salvador

Hernández- Hernández, AJ¹; Hernández-Hernández, JA¹; Tejada-Asencio, JM¹

RESUMEN

Esta investigación se realizó en la Hacienda “El Milagro” y la Hacienda “Velesa”, ambas ubicadas en Caluco, Izalco, departamento de Sonsonate, durante agosto 2018 a enero 2019. Se realizaron visitas semanales para recolectar información sobre factores tecnológicos (vacas en ordeño, número de ordeños por día y producción anual de leche), muestreo de suelos (densidad aparente, textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente) y aforo de caudales (micro aspersores, riego por gravedad, riego por aspersión y tratamiento de aguas residuales). Los requerimientos hídricos de los cultivos maicillo (*Sorghum Bicolor*), Mombaza (*Panicum máximum*), Cubano (*Pennisetum sp.*), Swazi (*Digitaria Swazilandesis*), Estrella (*Cynodon plectostachyus*), Morera (*Morus alba*), se calcularon usando cropwat (versión 8.0) y climwat (versión 2.0), para determinar el agua que ingieren los animales por medio de los cultivos. Toda esta información se procesó en un libro de Excel utilizando cuadros y gráficos, donde se determinó la Huella Hídrica (m³ agua / kg leche) por hacienda obteniendo los resultados siguientes: Huella Hídrica hacienda Velesa 0.7108 y 0.6970 m³/ kg, durante la época seca y lluviosa, respectivamente, mientras en hacienda El Milagro 1.3055 y 1.3147 m³/ kg, durante época seca y lluviosa.

Palabras clave: Huella hídrica, Huella Hídrica verde (HHv), Huella Hídrica azul (HHa), Huella Hídrica gris (HHg), ganadería, época seca, época lluviosa.

ABSTRACT

This research was conducted at Hacienda “El Milagro” and Hacienda “Velesa”, both located in Caluco, Izalco, department of Sonsonate, El Salvador, during August 2018 to January 2019. Weekly visits were made to collect information on technological factors (milking cows, number of milking per day and annual milk production), soil sampling (bulk density, texture, field capacity and permanent wilting point) and flow capacity (micro sprinklers, gravity irrigation, sprinkler irrigation and water treatment residual). The water requirements of sorghum (*Sorghum Bicolor*), Mombaza (*Panicum maxima*), Cuban (*Pennisetum sp.*), Swazi (*Digitaria Swazilandesis*), Estrella (*Cynodon plectostachyus*), Mulberry (*Morus alba*) crops were calculated using Cropwat software (version 8.0) and Climwat (version 2.0), to determine the water that animals ingest through crops. All this information was processed in a Microsoft Excel software book using charts and graphs, where the Water Footprint (m³ water / kg milk) per

1 Departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

farm was determined, obtaining the following results: Water Footprint for Velesa farm 0.7108 and 0.6970 m³ / kg, during the dry and rainy season, respectively, while at El Milagro farm 1.3055 and 1.3147 m³ / kg, during dry and rainy season.

Keywords: water footprint, green water footprint (WFPg), blue water footprint (WFPb), gray water footprint (WFPg), milk, dry season, rainy season.

INTRODUCCIÓN

Los productos de la ganadería son un importante grupo de alimentos que a menudo no se les presta atención en las actividades de aprovechamiento y manejo de aguas. El constante crecimiento de la población mundial (cuatro veces desde 1900) es directamente proporcional con la cantidad de alimentos demandados para su sostenimiento; situación que ha generado altos consumos de agua (7 a 9 veces) que, unido al cambio climático y otros problemas ambientales, limita la productividad del planeta tierra, por esa razón es necesario evaluar los sistemas productivos actuales para proyectar alternativas de manejo a corto y mediano plazo (Destouni 2008).

La Huella Hídrica, se presenta como un indicador de la gestión y uso del recurso agua en los procesos productivos que permite identificar la relaciones causa-efecto a nivel socioambiental, siendo las actividades socioeconómicas el principal factor de presión en los recursos naturales. Para su determinación la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) desarrolló el manual de evaluación de la Huella hídrica, y la divide en tres tipos: agua verde, azul y gris (Alcaide *et al.* 2008).

De esta forma se establecen tres componentes que constituyen la Huella Hídrica de un producto, estos son: la Huella Hídrica Verde (HHV); cuantifica el agua precipitada y almacenada en el suelo, la Huella Hídrica Azul (HHA); cuantifica el tipo de agua extraída para procesos antropogénicos, desde una fuente subterránea o superficial, Huella Hídrica Gris (HHG); indica la cantidad de agua necesaria para que las aguas extraídas vuelvan a tener características aceptables (De acuerdo a la normativa de calidad de agua vigente en el país) al volver a su fuente natural.

La Huella Hídrica de un producto se expresa como volumen de agua por unidad de producto (Camarero 2011).

Según Mekonnen y Hoekstra (2011), la Huella Hídrica de cualquier animal es mayor que la de un cultivo con un valor nutricional similar. La Huella hídrica promedio por calorías de la carne es 20 veces mayor que la de los cereales y raíces almidonadas, mientras la Huella hídrica por gramo de proteína en leches, huevos y pollos es 1.5 veces más grande que las legumbres. De aquí la necesidad de conocer cuál es la Huella Hídrica generada por un sector de gran importancia en El Salvador, como es el ganadero lechero, situado en el cuarto lugar de mayor producción en Centroamérica (MAG 2012).

El objetivo de la investigación es determinar el cálculo de la Huella Hídrica en la producción de leche en dos ganaderías de la zona occidental de El Salvador, se identificarán dentro de cada una, las entradas y salidas de agua.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación

El estudio se realizó de agosto 2018 a enero de 2019 en las haciendas “Velesa” y “El Milagro”, ambas ubicadas a una altitud de 550 msnm en El Caluco, Sonsonate, El Salvador; cuyas coordenadas son, para la primera 13°43'05" N y 89°40'07.7" W, y para la segunda 13°43'48.7" N 89°39'04.4" W".

Metodología de campo

Muestreo de suelo y densidad aparente

Para el análisis de suelo se tomaron 9 muestras en Hacienda “Velesa” y 4 en Hacienda “El Milagro”, debido a que presentaban características similares a nivel de campo, y las pruebas realizadas fueron: densidad

aparente, Infiltración, textura y conductividad hidráulica. Los muestreos se realizaron de agosto a noviembre del 2018.

Infiltración: Cilindros Infiltrómetros

Se introdujeron los dos cilindros en el suelo, con una profundidad aproximada de 15- 25 centímetros; se colocó el flotador con su soporte en el anillo interno, se vertió agua en el cilindro externo hasta la mitad para evitar pérdidas por escorrentía, luego se llenó el cilindro interno, evitando que el flotador estuviera presionado. Se preparó y completó el formulario de registro, anotando la hora de inicio de las lecturas, con intervalos desde 2 hasta 10 minutos. Se garantizó un estricto control de toma de lectura con la hora programada, teniendo el mayor cuidado para evitar que el cilindro quedara sin agua (Figura 1).

Textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente

En hacienda “Velesa”, se tomaron tres puntos de muestreo utilizando un barrenador (cada punto de muestreo con una profundidad promedio de 1 metro, con un peso promedio por muestra de una libra y media, la Muestra 1 (Mx 1): se encontraron 3 horizontes, Mx 2: se encontraron 2 horizontes, se repitió 2 veces porque se encontró una roca que impidió continuar, Mx 3: se encontraron 3 horizontes). En la hacienda El Milagro se tomaron dos puntos de muestreo utilizando un barrenador (cada punto de muestreo con una profundidad de 0.75 metro y un peso promedio de una libra: Mx 1: se encontraron 2 horizontes, Mx 2: se encontraron 2 horizontes), con ayuda del GPS fueron ubicados los puntos de cada uno en un mapa (Figura 2).



Figura 1. Prueba con cilindros infiltrómetros.

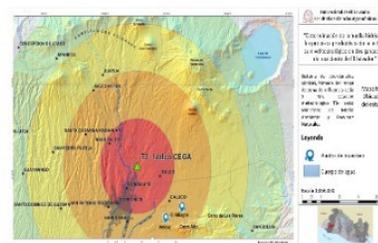


Figura 2. Muestreo de suelo.

Conductividad hidráulica: Permeámetro de Guelph

Se verificó la configuración del permeámetro, se levantó suavemente el tubo de aire superior hasta que el indicador de altura de agua en el pozo marcara la deseada. Ya que la velocidad de descenso del nivel de agua dentro del permeámetro fue muy lenta como para distinguir una diferencia de niveles en un intervalo de aproximadamente dos minutos; se condicionó el flujo para que saliera únicamente a través del recipiente interior (menor diámetro). En seguida se inició la recolección de datos.

Aforo de caudales

Micro aspersores

Los micro aspersores, se utilizan para aclimatar los corrales y se encontraban activos solo en hacienda “Velesa”. Se realizó la medición por medio de un volumen conocido, se midieron 6 micro-aspersores, cada uno con tiempos de 1, 2 y 3 minutos.

Riego por gravedad

Se calculó utilizando el método del flotador y se delimitó una distancia de 6 metros, porque el sistema contaba con uniformidad (sin piedras ni troncos que impidieran el flujo libre del agua); con ayuda de un cronometro, se midió el tiempo que le tomaba al flotador recorrer los 6 metros. A esta velocidad registrada, se le aplicó la velocidad media, debido a que en un canal la velocidad máxima se encuentra en la superficie del canal y va disminuyendo, debido

al rozamiento con el fondo y las paredes laterales y en menor medida por la presión atmosférica el cual es entre 80- 90% de la velocidad superficial (Trueba 1984).

Riego por aspersión

Se realizó con aspersores “Senninger 7025 RD”, boquilla No. 20 con una presión de 3.45 bar, con un caudal de 4631 Litros por hora. El riego se aplicó durante 8 horas con frecuencia de tres veces por semana, se utilizaron 12 aspersores en un área de 10 manzanas (0.7Ha), por tanto, se utilizaron, 444.58 m³ al día, 1,333.73 m³ por semana y 65,544.49 m³ al año

Aguas residuales

Para el muestreo de aguas residuales, se rotularon los recipientes (fecha, hora, lugar y nombre de muestreador). En Hacienda “Velesa”: se tomó una muestra en un canal donde van a parar los desechos, tanto de los potreros como de la sala de ordeño, la muestra fue tomada por duplicado. Para la Hacienda “El Milagro”: se tomó una muestra por duplicado a la entrada de la primera laguna anaerobia, luego otra muestra por duplicado a la salida de la laguna facultativa.

La toma de muestra se realizó mediante un muestreo simple, donde se ambientaron los recipientes previos a su llenado. Las muestras de ambas haciendas fueron transportadas al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, donde se realizaron las pruebas de sólidos totales disueltos, sólidos sedimentales, DBO_{5, 20} (este fue utilizado como concentración del contaminante del efluente), oxígeno disuelto y porcentaje de saturación.

La información de la calidad del agua para los efluentes en la zona, se obtuvo del informe nacional del estado del medio ambiente del año 2017, de ahí se tomaron los valores para el río Talnique de la estación de Ateos, departamento de Sonsonate, El Salvador, ya que es la más cercana a la zona de estudio (MARN 2018).

Metodología de Laboratorio

El análisis de suelo, se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, mientras la parte de aguas residuales fue procesada en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Densidad aparente

Método de Cilindro de volumen conocido: se colocaron las muestras en latas de aluminio rotuladas y pesadas en una estufa a 105°C durante 24 horas, luego se dejaron enfriar y de esta manera se obtuvo el peso seco de las muestras y con la siguiente ecuación se calculó la densidad aparente:

$$DAp \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{peso suelo seco (g)}}{\text{Volumen del cilindro } cm^3}$$

Textura

Método de Bouyoucos: se pesó 50g de suelo seco en un Erlenmeyer al que se le adicionó 10 ml de dispersante; se dejó reposar durante aproximadamente dos minutos y se agitó por 5 minutos. La suspensión del suelo se vertió en el cilindro de 1000 ml, se agitó vigorosamente y se sumergió el hidrómetro a los 40 segundos, se tomó la lectura del hidrómetro y la temperatura, pasados 4 minutos, 1 hora y 2 horas (Medina *et al.* 2007).

Capacidad de campo

Ollas a presión: Se basa en la aplicación de aire a 1/3 de atmósfera de presión a muestras de suelo saturados, sobre platos porosos de cerámica hasta que la muestra se mantenga estable, el agua gravitacional es expulsada y el contenido de humedad gravimétrica presente en las muestras de suelo es el correspondiente a la humedad a Capacidad de Campo:

$$HP\%CC = \frac{PF \text{ a } CC - PSS}{PSS} * 100$$

Dónde:

HP%CC= Humedad gravimétrica a capacidad de campo

PF a CC= Masa del suelo húmedo a capacidad de campo

PSS= Masa de suelo seco

Punto de marchitez permanente

Ollas a presión: La variación de este método con el de capacidad de campo, consiste en extraer el agua de las muestras a una presión de 15 atmósferas y determinar el peso del agua. El resto de la metodología permaneció constante (Calderón 2013).

Metodología de Gabinete

El cálculo de huella hídrica, se realizó para la época lluviosa y seca (apoyados en datos climáticos obtenidos del Cropwat, Climwat e informes climáticos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, MARN), a su vez se toma en consideración únicamente el agua ingerida por los animales mediante los cultivos y no la del concentrado u otro tipo de alimentación. Los requerimientos hídricos de los cultivos, se obtuvieron por medio de los programas de Climwat y Cropwat y por el MARN, quien proporcionó parte de la información climática del lugar; además de registros y otros archivos que tenían las ganaderas, los programas antes mencionados son empleados en la metodología de la Water Footprint Network y el curso “Cálculo y evaluación de la Huella Hídrica como herramienta para la sostenibilidad territorial y la adaptación al cambio climático”. La cantidad de agua consumida por el ganado, se obtuvo tomando en cuenta los resultados obtenidos por Duarte (1997) y Herdt (2017).

Factor clima

Los datos climáticos de temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa y altitud, se obtuvieron del Ministerio de Medio Ambiente y

Recursos Naturales, mientras que la velocidad del viento se tomó del Climwat (base de datos climáticos creada por la FAO), se utilizaron los mismos datos por cada ganadería, debido a su cercanía geográfica; la misma estación meteorológica aplicaba para ambas haciendas ganaderas.

La evapotranspiración se calculó a partir de los datos climáticos y bajo el procedimiento de Penman Monteith, apoyados en el Cropwat (Mekonnen y Hoekstra 2011).

Factor cultivo

Etapa fenológica: esta información se obtuvo de Cropwat que es una base de datos creada por la FAO y la información fue respaldada y comparada con la información obtenida en campo de cada ganadería, así como el área cultivada y la cantidad de cultivos por hacienda (Cuadro 1). Se investigó el tipo de labores culturales que se realizan a los cultivos, entre ellas: control de malezas, fertilización, tipo de riego, control de plagas y enfermedades.

Cuadro 1. Cultivos y área cultivada por hacienda.

Cultivos	Área manzanas (0.7Ha)	
	El Milagro	Velesa
Maicillo (<i>Sorghum Bicolor</i>)	9	-----
Mombaza (<i>Panicum máximum</i>)	-----	7
Napier (<i>Pennisetum purpureum</i>)	15	6.4
Cubano (<i>Pennisetum sp</i>)	15	5.3
Swazi (<i>Digitaria Swazilandesis</i>)	11	4.9
Estrella (<i>Cynodon plectostachyus</i>)	10	-----
Morera (<i>Morus alba</i>)	-----	8.4
Total	60	32

Análisis de datos

La investigación es de tipo exploratoria descriptiva; se realizó una comparativa entre la Huella Hídrica (m³ agua/ kg de leche) de la hacienda “El Milagro” y

hacienda “Velesa”

Huella Hídrica Verde

Para el cálculo de la Huella Hídrica Verde, fue necesario contar con datos de precipitación y precipitación efectiva, y se trabajó con la ecuación del departamento de agricultura de los Estados Unidos, para la Evapotranspiración se utilizó la ecuación de Penman-monteith:

$$ET_{av} = \min(CWR, Pe) + d$$

Descripción:

ET av= Evapotranspiración agua verde total (mm)

CWR= Requerimiento hídrico del cultivo (mm)*

Pe= Precipitación efectiva (mm)*

d= Déficit (mm)*

* Datos que se obtienen del programa CropWat.

Dentro del programa Cropwat, también se utilizaron algunos datos de suelo y clima. Al obtener la evapotranspiración de cultivo en el programa Cropwat, calculamos la Huella Hídrica Verde.

$$HH_{verde} = \frac{\text{agua en alimento} \left(\frac{m^3}{\text{día} \cdot \text{hato}} \right)}{\text{producción diaria de leche} \left(\frac{kg}{\text{día} \cdot \text{hato}} \right)} = \frac{m^3}{kg}$$

Huella Hídrica Azul

Para el cálculo de Huella Hídrica Azul, primero se identificaron los diferentes usos del agua dentro de la ganadería en la producción de leche, tales como: riego por gravedad, riego por aspersión, microclima y consumo directo de agua del hato. En un principio los valores de riego por gravedad y aspersión no tienen relación con la producción de leche, pero al ser calculada la relación del riego con la alimentación, se obtiene una relación indirecta del agua de riego relacionando el alimento:

$$HH_{azul} = \frac{\text{microclima} \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) + CDH \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) + ME \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) + AARA \left(\frac{m^3}{\text{hato}} \right) + AARG \left(\frac{m^3}{\text{hato}} \right)}{\text{producción diaria de leche} \left(\frac{kg}{\text{día} \cdot \text{hato}} \right)} = \frac{m^3}{kg}$$

H Azul= Huella Hídrica Azul

CDH: Consumo directo del hato (se calculó con base en Herdt 2017 y Duarte 1997)

ME: Manejo de Establo

AARA: Agua en Alimento de Riego por Aspersión

AARG: Agua en Alimento de Riego por Gravedad

Huella Hídrica Gris

La Huella Hídrica Gris (Hg), se divide en dos: Huella Hídrica Gris puntual que corresponde con los efluentes de depuradoras y los retornos de regadíos tradicionales, y la Huella Hídrica Gris difusa que se refiere a la contaminación difusa proveniente de la infiltración-percolación del resto de retornos de riego hacia las aguas subterráneas (IICA 2016); datos de afluente se tomaron del informe nacional de estado de medio ambiente (MARN 2018).

Huella Hídrica Gris puntual

Para el cálculo, fue necesario cuantificar datos de cada ganadera, resultados de análisis de laboratorio y los establecidos en la NSO para aguas residuales:

$$HH_{gris\ puntual} = \frac{Efl \times Cefl - Afl \times Cact}{Cmax - Cnat}$$

Descripción:

Efl = Flujo efluente (v/t)

Cefl = Concentración del contaminante en el efluente (m/v) (DBO_{5,20})

Afl = Flujo afluente (v/t) x

Cact = Concentración real del agua de entrada (m/v) (MARN 2018)

Cmax = Concentración máxima permitida del contaminante en una fuente de agua (m/v)

Cnat = Concentración natural del contaminante en el cuerpo de agua receptor (m/v) concentración natural del efluente es tomada de una investigación del MARN (2018).

El resultado obtenido de la fórmula, se divide por la producción en kilogramos de leche anuales.

Huella Hídrica Gris difusa

$$HH_{gris\ difusa} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} = \frac{\alpha \times Apl}{C_{max} - C_{nat}}$$

L=Carga contaminante [masa/tiempo]

Cmax = Estándar de calidad ambiental del cuerpo receptor, [masa /volumen]

Cnat = Concentración natural del contaminante [masa/volumen] = Fracción de escorrentía-Lixiviación [-]

Apl = Tasa de aplicación [masa/tiempo]

Huella Hídrica (HH):

$$HH = HH_{verde} + HH_{azul} + HH_{gris\ puntual} + HH_{gris\ difusa}$$

HH= Huella Hídrica

H verde= Huella Hídrica Verde

H azul= Huella Hídrica Azul

Huella Hídrica

El factor de estudio fue la Huella Hídrica Verde, Azul y Gris. Los resultados se obtuvieron a partir de la fórmula de Huella Hídrica propuesta por la Water Footprint Network (WFP 2009), los cuales son afectados por los factores tecnológicos del procesamiento y producción con los que cuenta cada ganadería. La Huella Hídrica Verde y Azul se determinaron dos tipos de épocas, permitiendo diferenciar el efecto de las lluvias y el riego en la producción de leche, para ello en los cálculos realizados a Cropwat de cada cultivo, se estableció una fecha de siembra de 01 de diciembre como época seca y 26 de junio época lluviosa, estas fechas se determinaron de acuerdo a las precipitaciones observadas en resultados de Ministerio de Medio Ambiente.

H gris puntual= Huella Hídrica Gris puntual

H gris difusa= Huella Hídrica Gris difusa

Resultados y discusión

Factores tecnológicos en determinación de Huella Hídrica Verde

Factor Clima

Las ganaderías “El milagro” y “Velesa”, presentaron temperaturas máximas de 36.5 grados Celsius y mínima de 15.7 grados Celsius, con una humedad relativa del 82%. Estos datos fueron proporcionados en el Informe Climatológico de Izalco por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de El Salvador, cuya estación meteorológica está ubicada en el río Negro o Ceniza, al noreste del caserío Tapalshucut en el departamento de Sonsonate, los otros datos climáticos fueron tomados del programa Climwat de la estación meteorológica de Izalco (Cuadro 2).

Factor Suelo

Se obtuvieron diversas texturas: franco arcilloso, franco, franco arenoso, predomina en la Hacienda “El Milagro”: franco arcillo arenoso (FAA) y en la Hacienda “Velesa”: franco arcilloso (FA), junto a la textura también se determinaron propiedades como: densidad aparente, capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) (Cuadro 3).

Huella Hídrica Verde por hacienda

Observamos en la Figura 3 una de las principales diferencias en la Huella Hídrica Verde, esto debido al tipo y cantidad de alimento, ya que hacienda El Milagro, ofrece una mayor cantidad de alimento que la Hacienda “Velesa”; además, “Velesa” provee distintos tipos de raciones alimenticias de acuerdo con la edad de los animales.

Cuadro 2. Perfil Agroclimático de las haciendas

Ganaderías	Temperatura máxima/mínima (° C)	Humedad Relativa %	Velocidad del viento (Km/día)	Precipitación (mm/ año)	Precipitación efectiva (mm)
Hacienda Velesa	36.5 /15.7	82	181	2171.7	1737.4
Hacienda El Milagro	36.5 /15.7	82	181	2171.7	1303

Cuadro 3. Características del suelo por hacienda.

Ganadería	Textura	Densidad Aparente (g/cm ³)	% humedad a CC (%w)	% humedad a PMP (%w)	Infiltración (mm/h)
Hacienda “El Milagro”	FAA	1.20	25.53	10.50	11.93
Hacienda “Velesa”	FA	1.30	31.82	12.78	13.58

Los resultados obtenidos son menores que el encontrado por Osorio (2013) de 1.18 m³/kg (0.537 m³ /lb de leche), quien también explica que este valor está fuertemente relacionado con la tasa de evapotranspiración de cultivo (forraje destinado a la alimentación), manejo y ración alimenticia ofrecida a los animales, su investigación se realizó en Chile.

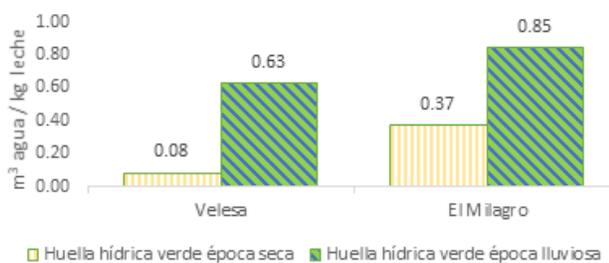


Figura 3. Huella Hídrica Verde.

Huella Hídrica Azul por hacienda ganadera

El cálculo de la Huella Hídrica Azul, se ve más afectado por el factor tecnológico riego, comparado con: consumo directo del hato, manejo del establo y microclima. El riego explica el valor de la Huella Hídrica Azul, debido a su uso en la producción de alimento y la diferencia entre Huella Hídrica Azul por hacienda, se debe también a la cantidad de alimento

ofrecido a los animales como se mencionaba en la Huella Hídrica Verde.

Corredor *et al.* (2017), reportaron un valor de 0.197 m³/kg de leche, pero toma en cuenta únicamente el agua bebida por los animales directamente y el agua incorporada en la leche, tomando como referencia que la leche es 87% agua, esta Huella puede diferir a partir de varios factores como: contenido de grasa en la leche, tipología del terreno, tipo de alimentación, sistemas de riego, áreas destinadas para forraje. Este valor es mucho menor al encontrado en nuestra investigación (Figura 4), debido a la metodología por los factores tecnológicos considerados en el cálculo de la Huella Hídrica Azul.

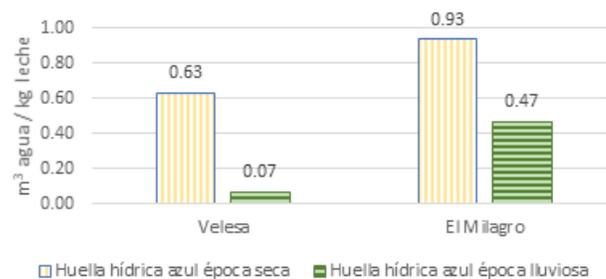


Figura 4. Gráfico comparativo Huella Hídrica Azul.

Huella Hídrica Gris

Huella Hídrica Gris puntual

La carga contaminante descargada (Huella Hídrica Gris puntual) en ambos casos es muy pequeña en “Velesa” con: 2.726×10^{-4} m³/kg leche, mientras en “El Milagro”: 8.1×10^{-6} m³/kg leche, la principal diferencia en el cálculo de esta Huella se explica mediante las lagunas de tratamiento primario que posee “El Milagro”. El caudal de salida es menor que en “Velesa” y la carga de contaminante es menor también en “El Milagro”, debido a que en “Velesa”, no se proporcionaba ningún tipo de tratamiento a estas aguas.

Huella Hídrica Gris difusa

La Huella Hídrica gris difusa, se refiere a las cantidades de nitrógeno aplicado a los cultivos por hectárea en cada cooperativa (Cuadro 4). Los resultados obtenidos de Huella Hídrica Gris difusa en “Velesa” fueron de 2.386×10^{-3} (m³/kg) y “El Milagro” de 3.770×10^{-3} (m³/kg). El resultado de Huella Hídrica Gris difusa, no es muy alto, sin embargo entre ambas haciendas podemos observar una diferencia de 1.5632 veces más en “El Milagro” que en “Velesa”, y se debe principalmente a la extensión destinada a cultivo que es 1.88 veces más, y con ella a la cantidad de fertilizante aplicado. En “El Milagro” se aplican 57.8 quintales más de nitrógeno que en “Velesa”.

Cuadro 4. Quintales de nitrógeno por hectárea por cultivo en cada hacienda.

Hacienda Velesa		Hacienda El Milagro	
Cultivo	Quintales de nitrógeno por Hectárea	Cultivo	Quintales de nitrógeno por Hectárea
Mombaza	15.73	Maicillo	18.58
Napier	13.47	Napier	25.60
Cubano	18.55	Cubano	54.37
Swazi	9.53	Swazi	19.32
Morera	12.66	Estrella	9.87

Huella Hídrica Gris

Los resultados de la Huella Hídrica Gris (Figura 5), son la suma de la Huella Hídrica Gris difusa y puntual, estos son bastante bajos comparados con las otras huellas, aunque su impacto está más relacionado con la contaminación del recurso hídrico. La diferencia entre cada hacienda, está fuertemente expresado por el manejo de aguas residuales que posee hacienda “El Milagro”. Osorio (2013), presenta un valor de 0.082 m³/kg de leche, tomando en cuenta únicamente el nitrógeno lixiviado por fertilizantes, este valor es menor que los obtenidos por las haciendas “El Milagro” y “Velesa”, y probablemente se debe al manejo agronómico de los cultivos, metodología aplicada en cuanto al manejo de aguas residuales y las características del suelo.



Figura 5. Huella Hídrica Gris.

Huella Hídrica

De acuerdo con la Figura 6, podemos observar que durante la época seca, la Huella Hídrica de mayor relevancia es la Huella Hídrica Azul, mientras en la época lluviosa es la Huella Hídrica Verde, para ambas haciendas.

La diferencia entre época seca y lluviosa en hacienda “Velesa” es de 0.0301 m³/kg, mientras que en hacienda “El Milagro” la diferencia es de 0.0519 m³/kg, es decir entre épocas no hay mucha diferencia en el valor de Huellas, con lo que se podría determinar la Huella en cualquiera de las dos épocas.

Tanto la Huella Hídrica Verde como la Huella Hídrica Azul, se ven directamente afectadas por la cantidad

de agua (precipitación o riego), el rendimiento de los cultivos y la ración alimenticia ofrecida a los animales; mientras la Huella Hídrica Gris, si bien es un valor muy pequeño, existe una diferencia bastante marcada en la Huella Gris puntual en “El Milagro” debido al tratamiento de las aguas residuales y en la Huella Hídrica Gris difusa, debido al manejo y la cantidad de animales que posee la hacienda.

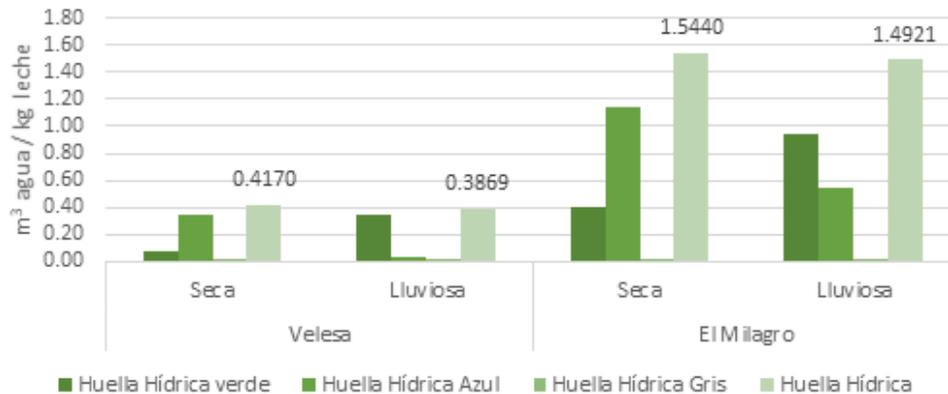


Figura 6. Huella Hídrica por hacienda.

Conclusiones

Se determinó que la Huella Hídrica es similar entre épocas por hacienda ganadera.

La diferencia entre Huella Hídrica por hacienda, está directamente relacionada con la cantidad de alimento y el tipo de alimento ofrecido a los animales.

La Huella Hídrica Gris en hacienda “El Milagro”, es menor que en hacienda “Velesa”, esto debido a la tecnología aplicada a las aguas residuales en hacienda “El Milagro”.

Debido a la baja cantidad de fertilizantes nitrogenados utilizados en ambas haciendas, la Huella Hídrica Gris difusa, no posee un efecto muy grande en la determinación de la Huella Hídrica Total.

Bibliografía

- Alcaide, SD; Santos, PM; Willaarts, B; Moreno HE; Madurga LM. 2008. Huella Hídrica y Agua virtual en Cartabía. Santander. España. 136p.
- Calderón Díaz JA. 2013. Métodos para determinar Constantes de Humedad Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente. (en línea, PDF). Consultado el 25 feb 2017. Disponible en http://www.academia.edu/4787268/M%C3%A9todos_para_determinar_las_Constantes_de_Humedad
- Camarero F, 2011. Huella hídrica, desarrollo y sostenibilidad en España. Madrid, España. 425p.
- Corredor Camargo, ES; Castro Escobar ES; Páez Barón, EM. 2017. Estimación de la Huella Hídrica para la producción de leche en Tunja, Boyacá. Tunja (Boyacá)-Colombia. Revista Ciencia y Agricultura (Rev. Cien. Agri.) Vol. 14 (2):7-11. Consultada el 22 de noviembre 2018. Disponible en <file:///C:/Users/cic5/Downloads/Dialnet-EstimacionDeLaHuellaHidricaParaLaProduccionDe>

[Leche-6070917.pdf](#)

- Destouni, G. 2008.** Feeding the future world. Securing enough food for 10 billion people. Estocolmo Suecia. p.9-22
- Duarte, E. 1997.** Uso del agua en establecimientos agropecuarios: Sistema de abrevadero (Parte I) ¿Cuánta agua toma una vaca? Montevideo. Uruguay. 7p.
- Herd, TH. 2017.** Veterinary manual: Nutritional requirement of dairy cattle. Michigan. Estados Unidos. s.p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura, Costa Rica). 2016.** Curso de Capacitación: Fundamentos de la Huella Hídrica en el sector agrícola en un contexto de Cambio Climático. San José. Costa Rica. 6p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador). 2012.** Caracterización de la cadena productiva láctea en El Salvador. San Salvador. El Salvador. 126p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2018.** Informa de Estado Nacional de Medio Ambiente. San Salvador El Salvador. p.60-65.
- Medina, G; García, J; Núñez, D. 2007.** El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación de la distribución del tamaño de partículas de suelo. La Habana, Cuba. (en línea). Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 16(3):19-24. Consultado 26 feb. 2017. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/932/93216305.pdf>
- Mekonnen, MM y Hoekstra, AY. 2011.** The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Twente, Holanda. 24p.
- Osorio Ulloa, A. 2013.** Determinación de la huella del agua y estrategias de manejo de recursos hídricos: Huella Hídrica en leche y carne bovina. La Serena, Chile.
- Trueba Coronel, S. 1984.** Hidráulica. Ed. Continental. México DF. México.
- WFP (Water Footprint Network, España). 2009.** Manual de evaluación. Manual para la Evaluación de la Huella Hídrica. Toledo, España. 44p.