

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DIRECCION DE INVESTIGACION

NOMBRE DE LA 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”

TÍTULO A OBTENER: INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

AUTORES.

Nombres, apellidos	Institución y dirección	Teléfono y E-mail	Firma
Ariel Josué Hernández Hernández	Universidad de El Salvador, Final 25 Avenida Norte, San Salvador	7022-7581 Yariel-@hotmail.com	
Javier Alejandro Hernández Hernández	Universidad de El Salvador, Final 25 Avenida Norte, San Salvador	7022-2627 Javalehdz@gmail.com	
DOCENTE: Ing. Agr. M.Sc. José Mauricio Tejada Asencio	Universidad de El Salvador, Final 25 Avenida Norte, San Salvador	7633-2415 jmtejadaes@yahoo.es	

Visto bueno:

Ing. Agr. José Roldan Tobar Coordinador General de Procesos de Graduación del Departamento:	Firma:
Ing. Agr. M.Sc. Elmer Edgardo Corea Guillén Director General de Procesos de Graduación de la Facultad:	Firma:
Ing. Agr. M.Sc. José Mauricio Tejada Asencio Jefe del Departamento:	Firma:
	Sello:
Lugar y fecha:	

NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN

Título: Determinación de la Huella Hídrica en los procesos productivos de la leche y su nivel tecnológico en dos ganaderías del occidente de El Salvador Hernández-Hernández A.J¹; Hernández Hernández J.A¹; Tejada-Asencio J.M²

RESUMEN

Determinación de la Huella Hídrica en los procesos productivos de la leche y su nivel tecnológico en dos ganaderías del occidente de El Salvador”, se realizó en Hacienda El Milagro y Hacienda Velesa, ubicadas en Caluco, Izalco, departamento de Sonsonate, durante agosto 2018 a enero 2019. La Huella Hídrica es indicador del volumen total de agua utilizada para elaborar cualquier bien, servicio o en el caso de esta investigación para producir un kilogramo de leche, puede ser para una persona o comunidad, la Huella Hídrica se divide en Huella Hídrica verde (HHv): cuantifica el agua precipitada y almacenada en el suelo, Huella Hídrica azul (HHa): todo tipo de agua extraída para procesos antropogénicos, desde una fuente subterránea o superficial y Huella Hídrica gris (HHg): la cual indica la cantidad de agua necesaria para que las aguas extraídas vuelvan a tener características aceptables al volver a su fuente natural, de acuerdo a la normativa de calidad de agua vigente en el país. Se realizaron visitas semanales para recolectar información sobre factores tecnológicos, muestreo de suelos y aforo de caudales, toda esta información se procesó en un libro de Excel, donde se determinó la Huella Hídrica (m³/kg) 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.

¹Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales. Estudiante tesista.

²Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales. Docente Director.

NAME OF RESEARCH.

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

Hernández- Hernández A.J¹; Hernández Hernández J.A¹; Tejada-Asencio J.M²

ABSTRACT

The investigation took place at Hacienda El Milagro and Hacienda Velesa, both of them located in Caluco, Izalco, department of Sonsonate, during August 2018 to January 2019. The water footprint is the indicator of the total volume of water used to produce any product or service, in the case of this research to produce a kilogram of milk, the water footprint is divided into a green water footprint (WFPg): quantifies the water precipitated and stored in the soil, blue water footprint (WFPb): all types of water extracted for anthropogenic processes, from an underground or surface source and gray water footprint (WFPg): which indicates the amount of water necessary for the extracted water to return to have acceptable characteristics, in order to return to its natural source, according to the regulations of water quality in force in the country. Weekly visits were made in order to collect information about technological factors, soil sampling and flow, all this information was processed in an excel book, where the water footprint (m^3 / kg) was determined per each farm in Hacienda Velesa 0.7108 y 0.6970 m^3 / kg , during the dry and rainy season respectively, while in the Hacienda El Milagro 1.3055 y 1.3147 m^3 / kg , during the dry and rainy season.

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

¹Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales. Estudiante tesista.

²Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Recursos Naturales. Docente Director.

1. INTRODUCCIÓN

Los productos de la ganadería son un importante grupo de alimentos a los que a menudo no se 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 el sostenimiento de la población; 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, haciendo 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 relaciones causa-efecto a nivel socioambiental, siendo las actividades socioeconómicas el principal factor de presión sobre los recursos naturales, para su determinación la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) desarrolló el manual para la evaluación de la Huella hídrica en donde se divide la Huella en tres tipos: agua verde, azul y gris (Alcaide et al. 2008).

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 leche, huevos y pollos es 1.5 veces más grande que la de las legumbres. De aquí la necesidad de conocer cuál es la Huella Hídrica generada por un sector de gran importancia en el país como el sector 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 ganaderas de occidente de El Salvador, basándose en la metodología creada por la FAO y la Water Footprint Network (WFP) en el manual para el cálculo de la Huella Hídrica, además de identificar las entradas y salidas de agua dentro de cada hacienda, identificándolas desde su alimentación, manejo y el consumo de agua propio de las vacas, así como también la transpiración de los cultivos utilizados para alimentación, el agua que se evapora del suelo y la que se va por escorrentía.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Ubicación, duración y unidades experimentales

El estudio se realizó de agosto 2018 a enero 2019 en dos lugares, Hacienda Velesa, ubicada en Caluco, Sonsonate con coordenadas 13°43'05" N y 89°40'07.7" W y Hacienda El Milagro, ubicada en Caluco, Sonsonate con coordenadas 13°43'48.7" N 89°39'04.4" W a una altitud de 550 msnm.

2.2. Metodología de campo

2.2.1. Muestreo de suelo y densidad aparente

Para el muestreo de suelo se tomaron 9 muestras en Hacienda Velesa y 4 en Hacienda El Milagro, debido a que presentaban características bastante 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.

En los sitios de muestreo de suelo se introdujo el cilindro muestreador una vez que estuvo lleno con ayuda de un palín se retiro y nivelo al ras del cilindro.

2.2.2. Infiltración: Cilindros Infiltrómetros



Figura 1. Prueba con 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 de agua por escorrentía, luego se procedió a llenar el cilindro interno, evitando que el flotador estuviera presionado, se preparó y lleno el formulario de registro, anotando la hora de inicio de las lecturas, con intervalos de tiempo desde 2 minutos hasta 10 minutos, en promedio la prueba tuvo una duración de una hora, se tuvo 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)

2.2.3. Textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

En hacienda Velesa se tomaron 3 puntos de muestreo, mientras en hacienda El Milagro se tomaron dos puntos de muestreo, cada uno debido a la homogeneidad de los terrenos, además, se realizó un muestreo simple, el cual con ayuda del GPS fueron ubicados los puntos de cada uno en un mapa (Figura 2)



Figura 2. Muestreo de suelo.

2.2.4. Conductividad hidráulica: Permeámetro de Guelp

Se verifico 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 altura 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 tiempo de 2 minutos aproximadamente, se condicionó el flujo para que saliera sólo a través del recipiente interior (menor diámetro). En seguida se inició la recolección de datos

2.2.5. Aforo de caudales

2.2.5.1. Micro aspersores

Se realizó la medición de los micro aspersores por medio de un volumen conocido, se midieron 6 micro aspersores cada uno con tiempos de (1, 2 y 3 minutos).

2.2.5.2. Riego por gravedad

Se calculó utilizando el método del flotador y se delimitó una distancia de 6 metros ya que el sistema contaba con uniformidad, sin piedras ni troncos, que impidieran al agua fluir libremente, sin turbulencias ni impedimentos, y con ayuda de un cronometro se midió el tiempo que le tomaba al flotador recorrer esos 6 metros. A esta velocidad 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 el 80- 90% de la velocidad superficial (Trueba 1984)

2.2.5.3. Riego por aspersión

Se contó la cantidad de aspersores colocados por cada 250 m², luego se extrapolo este dato para una manzana, la información de los aspersores se obtuvo de catálogos de fabricante.

2.2.5.4. 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, mientras en 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.

Para 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 donde se realizaron las pruebas de sólidos totales disueltos, sólidos sedimentales, DBO₅, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación.

2.3. Metodología de Laboratorio

La fase de laboratorio para 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 realizada en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

2.3.1. 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.

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

2.3.2. Textura

Método de Bouyoucos: se pesó 50g de suelo seco, pasándose a un Erlenmeyer adicionando 10 ml de dispersante, se dejó reposar durante unos minutos y se agito por 5 minutos. La suspensión del suelo se vertió en el cilindro de 1000 ml, se agito vigorosamente y se sumergió el hidrómetro a los 40 segundos tomar la lectura del hidrómetro y la temperatura, pasados 4 minutos, 1 hora y 2 horas (Medina et al. 2007).

2.3.3. 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.

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

Donde:

HP%CC= Humedad gravimétrica a capacidad de campo

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

PSS= masa de suelo seco

2.3.4. Punto de marchitez permanente:

Ollas a presión: La variación de este método con el de capacidad de campo es que extrae el agua de las muestras a una presión de 15 atmósferas y determina el peso del agua posteriormente. El resto de la metodología permaneció constante (Calderón 2013).

2.4. Metodología de Gabinete

Los datos se obtuvieron por medio de los programas de Climwat y Cropwat y por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales quien proporciono 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 “Calculo 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)

2.4.1. Factor clima

Los datos climáticos de: temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa y altitud fueron obtenidos por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Figura A-9), mientras velocidad del viento fue tomado del Climwat (base de datos climáticos creada por FAO), se utilizaron los mismos datos por cada ganadera debido a su cercanía geográfica la misma estación meteorológica aplicaba para ambas.

La evapotranspiración se calculó a partir de los datos climáticos y bajo el procedimiento de Penman Monteith, apoyados en el Cropwat

2.4.2. 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.

Labores: se investigó el tipo de labores culturales que se realizan a los cultivos entre ellas: control de malezas, control de plagas, y enfermedades, fertilización, tipo de riego.

2.5. Metodología estadística

La investigación es de tipo exploratorio descriptiva, se realizó una comparativa entre la Huella Hídrica (m^3/kg de leche) de la hacienda "El Milagro" y hacienda "Velesa"

2.5.1. Determinación de la Huella Hídrica

El factor de estudio para la investigación 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, viéndose afectadas por los factores tecnológicos del procesamiento y producción con los que cuenta cada ganadería, para la Huella Hídrica Verde y Azul se determinaron mediante dos tipos de épocas para poder 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 1 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.

2.5.2. Huella Hídrica Verde

Para el cálculo de la Huella Hídrica Verde fue necesario contar con datos de precipitación y Precipitación efectiva la cual 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, del agua en el alimento.

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

2.5.3. Huella Hídrica Azul

Para el cálculo de Huella Hídrica Azul primero se identificó los diferentes usos que se le dan al 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.

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

Donde:

H azul = Huella Hídrica Azul

CDH: Consumo directo del hato

ME: Manejo de Establo

AARA: Agua en Alimento de Riego por Aspersión

AARG: Agua en Alimento de Riego por Gravedad

2.5.4. Huella Hídrica Gris

La 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 se refiere a la contaminación difusa se proveniente de la infiltración-percolación del resto de retornos de riego hacia las aguas subterráneas (IICA 2016).

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.

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

Descripción:

Efl = Flujo efluente (v/t)

Cefl = Concentración del contaminante en el efluente (m/v)

Afl = Flujo afluente (v/t) x

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

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 agua gris se obtiene mediante la fórmula que se presenta para HH gris, el resultado como tal para HH gris se divide entre el rendimiento

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

Huella Hídrica Gris difusa

$$HH_{\text{gris difusa}} = \frac{L}{Cmax - Cnat} = \frac{\alpha \times Apl}{Cmax - Cnat}$$

L=Carga contaminante [masa/tiempo]

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

Cnat = Concentración natural del contaminante [masa/volumen]

α = Fracción de escorrentía-Lixiviación [-]

Apl = Tasa de aplicación [masa/tiempo]

El resultado obtenido de la fórmula 8 se divide entre la producción obtenida en un año en

2.5.5. Huella Hídrica

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

Descripción:

HH= Huella Hídrica

H verde= Huella Hídrica Verde

H azul= Huella Hídrica Azul

H gris puntual= Huella Hídrica Gris puntual

H gris difusa= Huella Hídrica Gris difusa

3. Resultados y discusión

3.1. Factores tecnológicos en determinación de Huella Hídrica Verde

3.1.1. Factor Clima

Cuadro 1. Perfil Agroclimático de las haciendas

Lugar	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

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: cerca del 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 1).



Figura 3. Paisaje climático hacienda Velesa.

3.1.2. Factor Suelo

Cuadro 2. Características del suelo por hacienda.

Lugar	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

Se obtuvieron diversas texturas: franco arcilloso, franco, franco arenoso, predominando en la Hacienda El Milagro: franco arcillo arenoso (FAA) y para 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 2)

3.1.3. Huella Hídrica Verde por hacienda

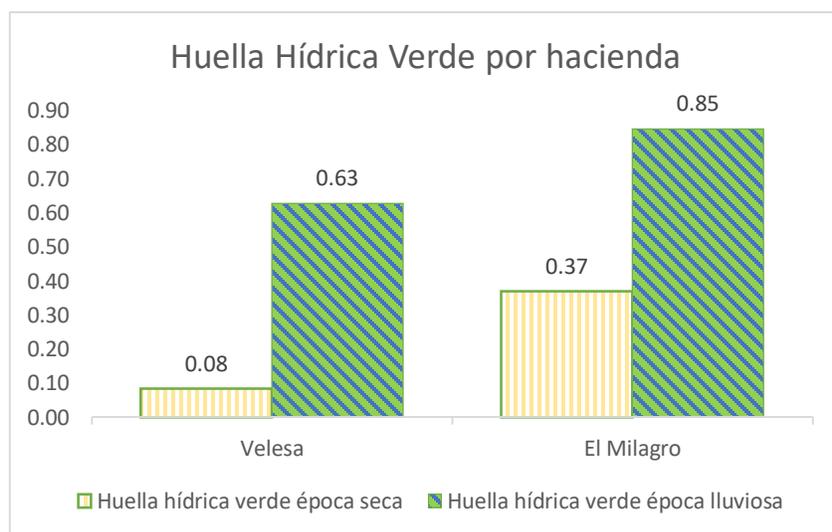


Figura 4. Huella Hídrica Verde por hacienda.

Observamos en la Figura 3 una de las principales diferencias en la Huella Hídrica Verde esto debido al tipo de alimento y la cantidad de alimento, ya que hacienda El Milagro ofrece una mayor cantidad de alimento (2.19 veces más) que Hacienda Velesa, además, en Velesa se ofrecen distintos tipos de ración alimenticia de acuerdo con la edad de los animales.

Los resultados obtenidos son menores que el encontrado por Osorio Ulloa (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.

3.2.1. Huella Hídrica Azul por hacienda

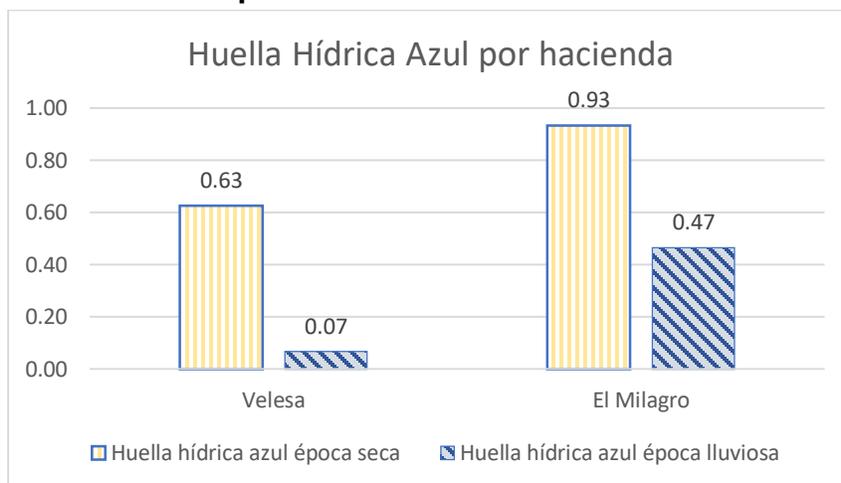


Figura 5. Gráfico comparativo Huella Hídrica Azul.

El cálculo de la Huella Hídrica Azul se ve más afectada 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.

De acuerdo con Corredor Camargo et al. (2017) tiene un valor de $0.197 \text{ m}^3/\text{kg}$ 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 dependiendo del 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 debido a la metodología por los factores tecnológicos considerados en el cálculo de la Huella Hídrica Azul.

3.3. Huella Hídrica Gris

3.3.1. Huella Hídrica Gris puntual hacienda Velesa y El Milagro



Figura 6. Laguna facultativa hacienda El Milagro.

La carga contaminante descargada (Huella Hídrica Gris puntual) en ambos casos es muy pequeña en hacienda Velesa con: 0.0002726 m³/kg leche, mientras en hacienda El Milagro: 0.0000081 m³/kg leche, la principal diferencia en el cálculo de esta Huella se explica mediante las lagunas de tratamiento primario que posee hacienda El Milagro (Figura 5), el caudal de salida es menor que en hacienda Velesa y la carga de contaminante es menor también en Hacienda El Milagro, debido a que en Velesa no se daba ningún tipo de tratamiento a estas aguas.

3.3.2. Huella Hídrica Gris difusa hacienda Velesa y El Milagro

Cuadro 3. 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
Total	69.94	Total	127.74

La Huella Hídrica gris difusa se refiere a las cantidades de nitrógeno aplicado a los cultivos por hectárea en cada cooperativa (Cuadro 3).

Los resultados obtenidos de Huella Hídrica Gris difusa en Hacienda Velesa fue de 0.0002386 (m³/lb) y El Milagro fue de 0.0003770 (m³/kg). Si bien es cierto 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 hacienda El Milagro que en Velesa lo cual es debido principalmente a la extensión destinada a cultivo que es 1.88 veces más, y con ella a la cantidad de fertilizante aplicado, en hacienda El Milagro se aplican 57.8 quintales más de nitrógeno que en hacienda Velesa.

3.3.3. Huella Hídrica Gris

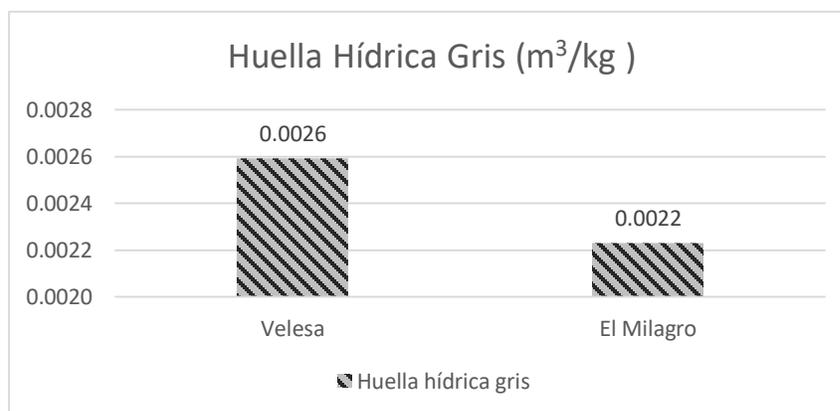


Figura 7. Huella Hídrica Gris.

Los resultados de Huella Hídrica Gris (Figura 7) 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 Ulloa (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 esto puede ser debido al manejo agronómico de los cultivos, metodología aplicada en cuanto al manejo de aguas residuales y a las características del suelo

3.4. Huella Hídrica

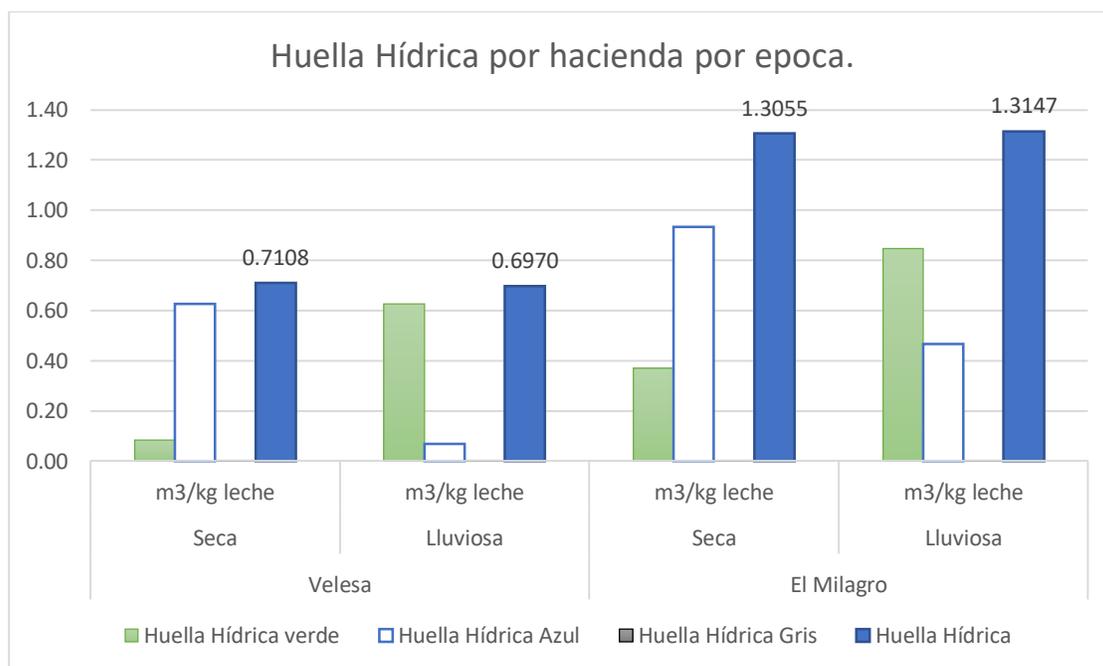


Figura 8. Huella Hídrica por hacienda.

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 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 cual se podría determinar la Huella en cualquiera de las dos épocas

La Huella Hídrica Azul es directamente afectada por factores tecnológicos como: tipo de riego y por la cantidad de alimento proporcionado a los animales, a su vez la Huella Hídrica Verde también está afectada mayoritariamente por los factores agroclimáticos de la zona, cantidad de alimento proporcionado a los animales y el tipo y uso del suelo.

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.

4. Conclusiones

Se determinó que la Huella Hídrica no presenta diferencia entre épocas.

La diferencia entre Huella Hídrica por hacienda está directamente relacionada con la cantidad de alimento ofrecido a los animales ya que en hacienda El Milagro, se ofrece 2.19 veces más alimento que en hacienda Velesa.

Se utilizó menor cantidad de agua por libra de materia verde al utilizar riego por aspersión que riego por gravedad durante la época seca, ya que se disminuye hasta 8.76 m³ de agua azul indirecta.

La diferencia en Huella Hídrica Gris se debe al tratamiento que recibe el agua en hacienda El Milagro.

5. Recomendaciones

Realizar un balance de la dieta alimenticia de los animales en base a la demanda de materia verde y materia seca para disminuir la Huella Hídrica Verde como la Huella Hídrica Azul

Al utilizar riego por aspersión se utiliza menos cantidad de agua para producir materia verde.

Realizar esta investigación en otras haciendas ganaderas con diferente ubicación geográfica, para obtener un valor relevante y representativo del sector.

6. Bibliografía

- Alcaide, SD; Santos, PM; Willaarts, B; Moreno HE; Madurga LM. 2008.** Huella Hídrica y Agua virtual en Cartabía. Santander. España. 136p.
- Corredor Camargo, ES; Castro Escobar ES; Páez Barón, EM. 2017.** Estimación de la Huella Hídrica para la producción de leche en Tunja, Boyacá. Colombia. 11p
- Destouni, G. 2008.** Feeding the future world. Securing enough food for 10 billion people. Estocolmo Suecia. p 9-22
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador). 2012.** Caracterización de la cadena productiva láctea en El Salvador. San Salvador. El Salvador. 126p.
- Mekonnen, MM y Hoekstra, AY. 2011.** The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Twente, Holanda. 24p.
- Trueba Coronel, S. 1984.** Hidráulica. Ed. Continental. México DF. México.

- 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
- 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. 6 p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, El Salvador). 2018.** Informa de Estado Nacional de Medio Ambiente. San Salvador El Salvador. P60-65.
- 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>
- 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.