

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**“DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS
DE LA LECHE Y SU NIVEL TECNOLÓGICO EN DOS GANADERIAS DEL OCCIDENTE
DE EL SALVADOR”**

POR:

HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, ARIEL JOSUE

HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, JAVIER ALEJANDRO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2019

SAN SALVADOR.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**



**“DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS
DE LA LECHE Y SU NIVEL TECNOLÓGICO EN DOS GANADERIAS DEL OCCIDENTE
DE EL SALVADOR”**

POR:

HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, ARIEL JOSUE

HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, JAVIER ALEJANDRO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2019

SAN SALVADOR.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**



**“DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS
DE LA LECHE Y SU NIVEL TECNOLÓGICO EN DOS GANADERIAS DEL OCCIDENTE
DE EL SALVADOR”**

POR:

HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, ARIEL JOSUE

HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, JAVIER ALEJANDRO

REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL.

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2019

SAN SALVADOR

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

M. Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

LIC. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

ING. AGR. M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO:

ING. AGR. M.Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE:

ING. AGR.M. Sc JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENCIO

DOCENTE DIRECTOR

ING. AGR. M. Sc. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASENCIO

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

ING. AGR. Y LIC. SABAS ALBERTO ARGUETA PALACIOS

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 (m^3/kg de leche) por hacienda obteniendo los resultados siguientes: Huella Hídrica hacienda Velesa 0.7108 y 0.6970 m^3/kg , durante la época seca y lluviosa respectivamente, mientras en hacienda El Milagro 1.3055 y 1.3147 m^3/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.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios y la Virgen María por sus bendiciones derramadas sobre nosotros, ya que sin ellas todo este proyecto no hubiese sido posible, a nuestros padres, José Catarino Hernández de la Cruz y Sonia Elizabeth Hernández de Hernández por todo el apoyo incondicional brindado.

A la Universidad de El Salvador y la Facultad de Ciencias Agronómicas por brindarnos las herramientas necesarias para nuestra formación.

Al departamento de Recursos Naturales y Medio Ambiente en especial a nuestro tutor Ing. Agr. Mauricio Tejada, al Ing. Agr. Sabas Argueta, Ing. Agr. Gerardo Marroquín.

Al departamento de Zootecnia en especial al Ing. Manuel Mendoza y al Ing. Ludwing Leyton por su gran apoyo, comprensión y paciencia, al facilitar y apoyar a lo largo de la ejecución de nuestra investigación.

A la Hacienda ganadera El Milagro y Velesa, en especial a Don Rafael Murillo y demás personas de El Milagro y al Ing. Marco Cetino y a la Medico veterinaria Jessica Santos y a todos los trabajadores de Velesa, administrador de la hacienda, por brindarnos parte de su valioso tiempo, por todo el apoyo y ayuda para realizar esta investigación.

Un agradecimiento muy especial para Ingeniera Luisa Avilés por su apoyo incondicional en el desarrollo de la investigación y nuestros amigos y familiares que han estado pendientes del desarrollo de esta investigación y por brindarnos palabras de aliento y apoyo.

Javier Hernández y Ariel Hernández

DEDICATORIA

Para mi hermano Javier Alejandro Hernández Hernández, por apoyarme al máximo siempre en cualquier actividad, por ser ese amigo que solo con la mirada sabe cómo ayudarme, por ser ese compañero que te ayuda a ser alguien mejor, muchas gracias, hermano. Dios te ha bendecido con muchos dones y estoy seguro de que continuará derramando éxitos en tu camino.

Ariel Josué Hernández Hernández

Para mi familia, mis abuelos, mis padres y hermano que siempre han estado para apoyarme en todo este caminar de la vida, sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

Javier Alejandro Hernández Hernández

ÍNDICE

RESUMEN	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. El agua en el mundo.....	3
2.2. Huella Hídrica	3
2.2.1. Huella Hídrica Verde (HHV).....	4
2.2.2. Huella Hídrica Azul (HHA)	4
2.2.3. Huella Hídrica Gris (HHG)	5
2.3. Ejemplos de estudio de Huella Hídrica	7
2.4. ISO 14046 Huella Hídrica	9
2.5 Ganado Vacuno	10
2.5.1. Actividad lechera en el mundo	11
2.5.2. Actividad lechera en El Salvador.....	11
2.5.3. Alimentación de ganado.....	12
2.5.4. La Huella Hídrica en la ganadería	14
2.6. Manejo de aguas residuales	16
2.6.1. Lagunas de Oxidación	16
2.6.2. Biodigestor.....	18
3. MATERIALES Y METODOS	21
3.1. Descripción del estudio	21
3.2. Muestreo de suelos	21
3.2.1. Densidad aparente.....	21
3.2.2. Infiltración	21
3.2.3. Textura, capacidad de campo y punto de marchitez permanente.....	22
3.2.4. Conductividad hidráulica: Permeámetro de Guelp	23
3.3. Aforo de caudales	24
3.3.1. Micro aspersores	24
3.3.2. Riego por gravedad Hacienda Velesa.....	24
3.3.3. Riego por gravedad Hacienda El Milagro	24
3.3.4. Riego por aspersión.....	24
3.3.5. Manejo de aguas residuales	25

3.4. Fase de laboratorio.....	25
3.4.1. Densidad aparente.....	25
3.4.2. Textura	26
3.4.3. Capacidad de campo	26
3.4.4. Punto de marchitez permanente	27
3.5. Metodología de Gabinete	27
3.5.1. Factor clima	28
3.5.2. Factor cultivo	28
3.6. Metodología estadística.....	28
3.7. Determinación de la Huella Hídrica.....	28
3.7.1. Huella Hídrica Verde.....	29
3.7.2. Huella Hídrica Azul	30
3.7.3. Huella Hídrica Gris.....	32
3.7.3.1. Huella Hídrica Gris puntual	32
3.7.3.2. Huella Hídrica Gris difusa.....	33
3.7.4. Huella Hídrica	34
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1. Caracterización de las cooperativas	34
4.2. Factores tecnológicos en la determinación de Huella Hídrica Verde.....	36
4.2.1. Factor Clima	36
4.2.2. Factor suelo.....	36
4.2.3. Factor Tecnológico	38
4.2.4. Factor Cultivo	39
4.2.5. Huella Hídrica Verde Hacienda Velesa y El Milagro.....	44
4.2.6. Comparativo de Huella Hídrica Verde Hacienda Velesa y Hacienda El Milagro.....	45
4.3. Descripción del agua azul utilizada en los procesos productivos de leche	46
4.3.1. Calculo agua azul en alimento Hacienda Velesa.....	48
4.3.2. Calculo agua azul en alimento Hacienda El Milagro	51
4.3.3. Huella Hídrica Azul “Hacienda El Milagro”	54
4.3.4. Comparativo de Huella Hídrica Azul para Hacienda Velesa y Hacienda El Milagro	54
4.4. Caracterización de tratamiento de aguas residuales.....	56
4.4.1. Resultado de análisis de aguas residuales	56
4.4.2. Huella Hídrica Gris puntual Hacienda Velesa y Hacienda El Milagro	57

4.5.	Huella Hídrica Gris difusa	58
4.5.1.	Huella Hídrica Gris difusa Hacienda Velesa y Hacienda El Milagro	58
4.5.2.	Huella Hídrica Gris.....	58
4.6.	Huella Hídrica	60
4.6.1.	Huella Hídrica Hacienda Velesa	60
4.6.2.	Huella Hídrica Hacienda El Milagro	60
4.6.3.	Comparativo Huella Hídrica Hacienda Velesa y Hacienda El Milagro	60
5.	CONCLUSIONES.....	63
6.	RECOMENDACIONES	64
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	65
8.	ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Estimación del consumo de agua en ganado bovino.	15
Cuadro 2.	Consumo de agua de acuerdo con el hato.	16
Cuadro 3.	Relación C/N de varios productos residuales.	19
Cuadro 4.	Comportamiento de la carga de fermentación dentro del biodigestor de acuerdo con el valor de pH.....	20
Cuadro 5.	Resultado de propiedades físicas del suelo.....	37
Cuadro 6.	Factores tecnológicos en producción de leche.	38
Cuadro 7.	Evapotranspiración de cultivos por cada hacienda.	39
Cuadro 8.	Determinación del agua utilizada en la producción de los cultivos en Velesa por materia seca y materia verde.....	40
Cuadro 9.	Determinación de agua indirecta consumida por los animales por medio de cultivos, en época seca. Velesa.....	41
Cuadro 10.	Determinación de agua indirecta consumida por los animales por medio de cultivos, en época lluviosa. Velesa.....	41
Cuadro 11.	Determinación de agua en alimento por todo el hato en Velesa.	42
Cuadro 12.	Determinación agua utilizada en la producción de cultivos, El Milagro.	43
Cuadro 13.	Determinación de agua indirecta consumida por animales por medio de cultivos, El Milagro.....	43
Cuadro 14.	Determinación de agua en alimento por todo el hato en El Milagro.	44
Cuadro 15.	Determinación Huella Hídrica Verde El Milagro.	44

Cuadro 16. Comparativo de Huella Hídrica Verde entre Haciendas.	45
Cuadro 17. Comparativo de investigaciones y valores encontrados de Huella Hídrica Verde.	46
Cuadro 18. Consumo de agua azul por hacienda.	47
Cuadro 19. Determinación del agua utilizada en la producción de cultivos, mediante riego por gravedad, Velesa.	48
Cuadro 20. Determinación del agua consumida indirectamente por animal, durante la época seca utilizando riego por gravedad, Velesa.	49
Cuadro 21. Determinación del agua consumida indirectamente por animal, durante la época lluviosa, utilizando riego por gravedad, Velesa.	50
Cuadro 22. Determinación de agua en alimento consumida por todo el hato, mediante riego por gravedad, Velesa.	50
Cuadro 23. Determinación de agua utilizada en cultivo, riego por gravedad, El Milagro. .	51
Cuadro 24. Consumo de agua indirecta por medio de los forrajes, riego por gravedad, El Milagro.	51
Cuadro 25. Determinación agua en cultivo, riego por aspersión, El Milagro.	52
Cuadro 26. Determinación agua indirecta, riego por aspersión, El Milagro.	52
Cuadro 27. Determinación del agua en alimento según tipo de riego, El Milagro.	53
Cuadro 28. Determinación Huella Hídrica Azul El Milagro.	54
Cuadro 29. Comparativo de Huella Hídrica Azul entre haciendas.	54
Cuadro 30. Comparativo de valores de Huella Hídrica Azul con otras investigaciones. ...	56
Cuadro 31. Resultado de análisis de aguas residuales.	56
Cuadro 32. Determinación Huella Hídrica Gris puntual Hacienda Velesa y Hacienda El Milagro.	57
Cuadro 33. Huella Hídrica Gris difusa Hacienda Velesa y Hacienda El Milagro.	58
Cuadro 34. Huella Hídrica Gris en haciendas.	58
Cuadro 35. Huella Hídrica Hacienda Velesa.	60
Cuadro 36. Huella Hídrica Hacienda El Milagro.	60
Cuadro 37. Comparativo de Huella Hídrica entre haciendas.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de entrada-procesos- salida hacienda Velesa	35
Figura 2. Diagrama de entrada-procesos- salida hacienda El Milagro.....	36
Figura 3. Gráfico comparativo de Huella Hídrica Verde por hacienda por época.	45
Figura 4. Gráfico comparativo Huella Hídrica Azul.....	55
Figura 5. Gráfico de Huella Hídrica Gris difusa.	59
Figura 6. Gráfico comparativo de Huellas Hídricas entre haciendas.	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Figura A-1 Muestreo de suelos para prueba de textura	70
Figura A-2 Pruebas con cilindros infiltrómetros	70
Figura A-3 Mapa puntos de muestreo ganadería El Milagro y Velesa	71
Figura A-4 aforo de micro aspersores.	72
Figura A-5 Aforo riego por gravedad hacienda Velesa y El Milagro	73
Figura A-6 Almacenamiento de muestras de aguas residuales	74
Figura A-7 Pruebas de textura según Bouyoucos.....	74
Figura A-8 Determinación de % de humedad a Capacidad de campo y Punto de Marchitez Permanente.....	75
Figura A-9 Datos climáticos de estación meteorológica de Izalco Sonsonate.....	76
Cuadro A-1 Ración alimenticia Hacienda Velesa.....	76
Cuadro A-2 Ración alimenticia Hacienda El Milagro.....	77
Cuadro A-3 Datos representativos de algunas propiedades físicas del suelo, según textura	78
Cuadro A-4 consumo de agua por hacienda	78
Cuadro A-5 Valores máximos permisibles de parámetros para verter aguas residuales por la norma NSO 13.49.01:09.....	79
Figura A-10 Resultado de aguas residuales DBO 5 Ganadería Velesa y El Milagro (Entrada de laguna de oxidación y salida de la laguna de oxidación).....	80
Cuadro A-6 Cantidad de fertilizante nitrogenado utilizado en hacienda Velesa.	81
Cuadro A-7 Cantidad de fertilizante nitrogenado utilizado en hacienda El Milagro.	81

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).

La producción agropecuaria representa entre el 30% y 40% de los retiros de agua dulce en los países desarrollados y el 90% en los países en desarrollo. De la Huella Hídrica total del sector agropecuario en el mundo, el 29% está relacionado con la producción de productos de origen animal y una tercera parte ésta se relaciona con el ganado vacuno. El agua es un insumo crítico en la actividad lechera, ya sea para la obtención de la alimentación animal y la bebida, como para los procesos de limpieza y disposición de efluentes, en diferentes etapas de la rutina de ordeño e industrialización (Charlon 2015).

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, basándose en la metodología creada por la FAO y la Water Footprint Network (WFP) en el manual para el

cálculo de la Huella Hídrica, en la producción de leche en dos ganaderas de occidente de El Salvador.

A nivel internacional es fácil encontrar estudios sobre la Huella Hídrica en ganaderías lecheras Según Corredor Camargo *et. al.* (2017). La estimación de la Huella Hídrica para la producción de leche en Tunja, utilizando CROPWAT, para su cálculo en Tunja, Boyacá, Colombia en 2017; Cálculo de la producción de un litro de leche en fincas de Jinoteca y Matigúas Nicaragua en 2016. En El Salvador se cuenta con un estudio realizado por la Universidad de El Salvador en 2017 sobre la evaluación de la Huella Hídrica y el efecto de los factores tecnológicos de la producción y procesamiento de café oro (Avilés García y Mineros Blanco, 2017).

Para estimar la cantidad de agua utilizada en la producción de leche se identificaron todas las entradas y salidas de agua, identificándolas desde su alimentación, manejo y el consumo 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. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. El agua en el mundo

Según Paredes (2013), la sociedad recurre al agua para generar y mantener el crecimiento económico y la prosperidad, a través de actividades tales como la agricultura, la pesca comercial, la producción de energía, la industria, el transporte y el turismo. El agua es un elemento importante a la hora de decidir dónde establecerse y cómo utilizar los terrenos. El bienestar de la población exige no solo un agua potable limpia para beber y para la preparación de alimentos, sino también para la higiene y el saneamiento.

Es esencial para los ecosistemas naturales y la regulación del clima. Aunque el total presente en el planeta permanece relativamente constante en el tiempo, su disponibilidad resulta particularmente vulnerable al cambio climático. Por tanto, en el siglo XXII podría reducirse el acceso al agua potable, al fundirse los glaciares y hacerse más frecuente la sequía en zonas como el mediterráneo, este hecho hará que disminuya, a su vez, el agua disponible para riego y producción de alimentos (Campos 2010).

La actividad agrícola usa alrededor del 69% de toda el agua consumida en el planeta y se calcula que, en los próximos años, debido al aumento poblacional y los patrones de consumo la cantidad de agua necesaria para producir los alimentos, fibras y biocombustibles requeridos por la población, incrementen el uso hasta en un 55%. El indicador de Huella Hídrica en la agricultura puede permitir establecer políticas y acciones concretas para ahorrar agua en el sector que mayor requerimiento del recurso tiene (Feijoo 2017).

2.2. Huella Hídrica

Según Tolón Becerra *et. al.* (2013), el índice “Huella Hídrica” es una herramienta de evaluación de la sostenibilidad de los recursos hídricos, utilizado para cuantificar el volumen total de agua utilizada por los habitantes de una determinada región. Este índice es útil para cuantificar los flujos de agua virtual, de las importaciones y de las exportaciones, y su estudio a niveles geográficos inferiores y específicos permite conocer exactamente cuánta agua y en qué condiciones, se utiliza de los sistemas de agua locales, y cuánta agua sería necesaria para contrarrestar las corrientes contaminadas.

Según LEAD (2005), el agua virtual (AV), es el volumen de agua requerido para producir un bien o un servicio, introdujo este concepto cuando analizaba la “importación” de AV, en lugar de agua real, en los productos de los países del Medio Oriente. Consideró que

exportar un producto que tiene altos requerimientos hídricos (AV) es equivalente a exportar agua. De manera, que el país importador no necesita utilizar agua nacional para obtener un determinado producto y, por tanto, puede dedicarla a otros ámbitos (Tolón Becerra *et. al.* 2013).

De esta forma se llegan a establecer tres componentes que constituyen la Huella Hídrica de un producto, estos son la Huella Hídrica Verde (HHV), la Huella Hídrica Azul (HHA) y la Huella Hídrica Gris (HHG). La Huella Hídrica de un producto se expresa como volumen de agua por unidad de producto (Camarero 2011).

Según Aldaya (2004), la utilidad de la HH se puede considerar para:

- Generar conciencia de dónde y cómo se utiliza el recurso hídrico.
- Tomar mejores decisiones sobre cómo manejar el recurso hídrico y gestionar procesos.
- Participación en políticas locales y nacionales de sostenibilidad ambiental y productiva.

2.2.1. Huella Hídrica Verde (HHV)

Según Hoekstra *et. al.* (2011), no se debe confundir el concepto de HHV con el concepto de agua Verde. Agua verde se refiere a la parte de la precipitación (precipitación efectiva) que se almacena en el suelo o que temporalmente se queda en la parte superior del suelo o la vegetación. Con el tiempo, esta se evapora o transpira a través de las plantas. El agua verde puede ser productiva para el crecimiento del cultivo, pero no toda puede ser absorbida por los cultivos, siempre existirá la evaporación del suelo y porque no todas las épocas del año o áreas son adecuadas para el crecimiento de los cultivos.

La Huella Hídrica Verde es el volumen de agua de lluvia (precipitación efectiva), que se utiliza en la industria o en la agricultura durante el proceso de producción

$HHV = \text{agua verde evaporada} + \text{agua verde incorporada al producto (volumen/tiempo)}$.

2.2.2. Huella Hídrica Azul (HHA)

La Huella Hídrica Azul es un indicador que se refiere al consumo de aguas superficiales (como por ejemplo ríos, lagos) y aguas subterráneas está referida a los cuatro casos siguientes:

- El agua evaporada (ya sea directamente o a través de la transpiración de los cultivos) y corresponde al concepto agronómico de evapotranspiración.

- El agua incorporada en el producto.
- El agua que no vuelve a la misma cuenca hidrográfica, por ejemplo, se entrega a otra cuenca o al mar.
- El agua que no vuelve en el mismo periodo, por ejemplo, se retira en un período de escasez y regresa en uno húmedo.

En el primer caso, la evaporación, es el más significativo y de interés en la producción agrícola. Por lo tanto, a menudo se verá que el uso consuntivo se equipara a la evaporación, pero los otros tres casos deben ser incluidos. (Network 2008).

La magnitud de la Huella Hídrica Azul en una etapa del proceso (Ha proc) se calcula como:

HHA = agua azul evaporada + agua azul incorporada + agua no devuelta a los cauces.
(Volumen/tiempo)

Cuando se mencione que el agua no vuelve en el mismo periodo se refiere a la parte del flujo de retorno que no está disponible para su reutilización dentro de la misma cuenca hidrográfica en el mismo periodo de retiro, ya sea porque retorna a otra cuenca hidrográfica dado de alta en el mar, o porque se devuelve en otro período de tiempo. El consumo de agua azul en la agricultura se basa en los modelos que estiman las necesidades de agua de riego, y en información sobre su uso y oportunidad de riego (INIA 2013)

La distinción entre la Huella Hídrica Azul y verde es importante porque los impactos hidrológicos, ambientales y sociales, así como los costos de oportunidad económica del uso de aguas superficiales y subterráneas para la producción, difieren distintivamente de los impactos y costos del uso del agua de lluvia (Sabogal 2015).

2.2.3. Huella Hídrica Gris (HHG)

La Huella Hídrica Gris se define como el volumen de agua dulce que se necesita para asimilar la carga de los contaminantes provenientes del proceso productivo, en relación con las normas ambientales de calidad del agua respectiva de cada país. Se calcula como el volumen de agua que se necesita para diluir los contaminantes y llevar el agua hasta los estándares de calidad de agua acordados (Vázquez y Buenfil 2012).

La HHG 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).

La Huella Hídrica Gris puntual se calcula dividiendo la diferencia de los productos de flujo del efluente (E_{fl} v/t) y concentración del contaminante del efluente (C_{efl} m/v) y el flujo del afluente (A_{fl} v/t) y la concentración real del agua de entrada (C_{act} m/v) entre la diferencia de la concentración máxima permitida (C_{max} m/v) menos la concentración natural del contaminante en el cuerpo receptor C_{nat} (m/v). La Huella Hídrica Gris difusa se calcula dividiendo la carga contaminante (L , masa / tiempo) por la diferencia entre el estándar de calidad de agua de este contaminante ($c_{máx}$ la concentración máxima aceptable, en masa / volumen) y su concentración natural en la recepción de agua en el cuerpo (c_{nat} , en masa / volumen) (IICA 2016).

Para el cálculo de la Huella Hídrica Hoekstra *et. al.* (2011) definió una metodología que consta de cuatro fases:

a. Establecer alcances y objetivos

La Huella Hídrica puede tener varios objetivos y ser aplicada a diversos contextos, y en cada uno de ellos puede tener diferentes alcances y con ello se podrán realizar distintas recomendaciones. Por ello el paso más importante al iniciar el cálculo es especificar a qué se le calculara la Huella Hídrica ya que podría ser: la Huella de una parte de un proceso, producto, grupo de consumidores, personas de un país, entre otros. Una vez delimitado el objetivo de la Huella se delimitará su alcance geográfico y temporal con ello las unidades en estudio, luego se define qué tipo de Huellas serán cuantificadas es decir que incluir y que excluir tomando en cuenta el objetivo del cálculo (Hoekstra *et. al.* 2011).

b. Cuantificación de la Huella Hídrica

Para la cuantificación de la Huella Hídrica, se debe seguir una serie de pasos. Se inicia con la recolección de datos e identificación de fuentes. Asimismo, es importante tomar en cuenta las metodologías a utilizar para la cuantificación de las diferentes Huellas (WFP 2009)

c. Análisis de sostenibilidad de la Huella Hídrica

La Huella Hídrica es un indicador del uso del agua. Para tener una idea de lo que el tamaño de la Huella significa, uno tendrá que comparar la Huella de agua con la disponibilidad de recursos de agua dulce de la misma área. En esencia el análisis de

sostenibilidad viene de la comparación entre la Huella Hídrica generada por el ser humano y lo que la tierra puede sostener (Hoekstra *et. al.* 2011).

d. Recomendaciones en base a la Huella Hídrica

En base a los resultados obtenidos previamente y debido a que la Huella Hídrica es un indicador de uso de agua esta última fase se refiere a la elaboración de leyes y medidas para hacer un uso más sostenible del recurso hídrico (WFP 2009).

Como apoyo para el cálculo de la Huella Hídrica la FAO creo dos programas CROPWAT y CLIMWAT.

CROPWAT: Es el programa informático de la FAO para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos. Es lo que denominamos diseño agronómico de riego, es el paso previo al cálculo hidráulico del riego. Consiste en calcular los turnos, caudales y tiempos de riego basándose en las necesidades de agua del cultivo que viene determinado por el tipo de suelo, clima y cultivo. Es un programa gratuito disponible en la web de la FAO, la última versión es la 8.0 bajo Windows (Irriqulture 2013).

Según Clarke (1998) y FAO (2015), los módulos de entrada de CROPWAT son los siguientes:

1. Clima/ETo: Para ingresar datos climáticos que permitan el cálculo de la ETo Penman Monteith.
2. Precipitación: Para ingresar datos de precipitación y el cálculo de la precipitación efectiva.
3. Suelo: Para ingresar datos del suelo (solo en caso de programación de riego).
4. Patrón de cultivo: para ingresar un patrón de cultivo en caso el esquema de entrega de agua.

2.3. Ejemplos de estudio de Huella Hídrica

En El Salvador solo se cuenta con una investigación sobre la Huella Hídrica, (Avilés García y Mineros Blanco en 2018) sobre la producción y procesamiento del café oro en la Asociación Cooperativa de Producción Agropecuaria San Isidro Atáisi, ubicada en municipio de Izalco, departamento de Sonsonate y en la Cooperativa Cafetalera Los Pinos ubicada en El Congo Santa Ana, El Salvador presentando como resultado en la Cooperativa San Isidro Atáisi Huella Hídrica Verde: 5,730 m³/qq, Huella Hídrica azul: 0.004 m³/qq y Huella Hídrica Gris: 235 m³/qq, mientras en la Cooperativa Los Pinos la Huella Hídrica Verde: 7,677 m³/qq, Huella Hídrica Azul: 0.045 m³/qq y Huella Hídrica Gris 740 m³/qq, siendo la

Huella Hídrica Verde la más representativa en ambos casos representando un 96.05% para la Cooperativa San Isidro Atáisi y un 91.20% para la Cooperativa Los Pinos.

Según Corredor Camargo *et. al.* (2017), la estimación de la Huella Hídrica para la producción de leche en Tunja, Boyacá en donde el cálculo de la Huella Hídrica Verde se realizó mediante el programa CROPWAT, mientras el agua azul se tuvo en cuenta el agua consumida, la pérdida por transpiración y la incorporada al producto, mientras en la Huella Hídrica Gris se consideró la contaminación por nitrógeno. La HH estimada fue de 2,007.8 l/kg, que se encuentra por encima de la media global (790 a 1.087 l/ kg leche); con alto impacto de la HH Verde (99,3 % de la HH total), representada en el uso de forraje como alimento básico.

Martínez Mamian, *et. al.* (2016), realizaron el cálculo de la Huella Hídrica de una finca ganadera lechera bajo condiciones agroecológicas del valle de Cauca, Cali, Colombia, utilizando la metodología de Chapagain para el cálculo del agua azul, verde y gris, el agua azul se calculó en base a datos teóricos de ingesta directa de agua de los animales, mientras para el agua verde se utilizó el software “Balanceo Hídrico Normal”, que utiliza datos meteorológicos de precipitación, temperatura y evapotranspiración de cultivo, para determinar el agua requerida por el forraje y el agua gris mediante la cantidad de agua utilizada en actividades asociadas en la producción de leche como el lavado de establos, utensilios, tina y ubres. Obteniendo como resultado que para producir un litro de leche se necesitan 1,9 m³ de agua de las cuales el 97.4 % son necesarias por cultivo (forraje) para su ciclo productivo.

Osorio Ulloa (2013), realizó la investigación titulada determinación de la Huella del agua y estrategias de manejo de recursos hídricos. De acuerdo con los resultados de este estudio se pudo estimar que la Huella real de la producción de un litro de leche fue de 484 y 712 L de agua en las Regiones de los Ríos y Los Lagos respectivamente, pudiendo reducirse hasta 259-297 y 247-283 L de agua /L de leche en sistemas de pastoreo y pastoreo con suplementación con forrajes al implementar acciones para lograr el rendimiento máximo potencial. La Huella promedio calculada para estas regiones fue menor que el promedio mundial reportado para la producción láctea en condiciones similares.

Rodríguez y Garrido (2009), realizaron una investigación para conocer la Huella Hídrica del sector ganadero en España. Partiendo de la ración alimenticia de las distintas especies ganaderas, se calcula la Huella Hídrica de los animales, distinguiendo su consumo de agua

directo, así como la Huella de los productos empleados en la composición de los piensos más comunes.

LEAD (2005), realizó una investigación donde se demuestra el impacto de la ganadería en la disponibilidad y calidad del agua, demostrando que la ganadería representa la actividad agrícola con mayor importancia desde el punto de vista económico debido a que un tercio de los cereales producidos son destinados a la alimentación del ganado y una cuarta parte de la tierra se utiliza al pastoreo de ganado.

Ríos *et. al.* (2016), realizaron el cálculo de la Huella Hídrica de la producción de un litro de leche en fincas en Jinotega y Matigúas, Nicaragua, en dichas fincas se determinó el consumo de agua, directo e indirecto del animal tomando como consumo directo el agua que bebe el animal y el indirecto teniendo en cuenta el peso vivo de los animales y el uso del suelo en el que pastorean determinando los requerimientos alimenticios de materia seca. Se obtuvo que el consumo de agua directo por parte de las vacas en producción es del 7.5% de su peso vivo y que la Huella Hídrica para la producción de un litro de leche fue de 950 litros en las fincas ganaderas de Matigúas y 1500 litros de agua en Jinotega.

2.4. ISO 14046 Huella Hídrica

Esta es la norma internacional que especifica los principios, requisitos y guía para la evaluación y generación de informes sobre la Huella Hídrica. Se aplica a productos, procesos y organizaciones basados en evaluaciones de sus ciclos de vida. La nueva norma ISO 14046 tiene un impacto práctico importante convirtiéndose en el principal referente internacional para evaluaciones y comunicaciones de Huella Hídrica (CONAMA 2014).

La norma ISO 14046 de Huella Hídrica, aprobada en julio de 2014, tiene un enfoque metodológico basado en el análisis de ciclo de vida (ACV) de un producto (o servicio), proceso u organización, el cual considera los usos directos e indirectos de agua en la cadena de valor correspondiente y los correlaciona a potenciales impactos. (AguaLimpia 2017).

El análisis de Huella Hídrica clasifica las materias primas, energías y emisiones relacionadas con los recursos hídricos para el sistema definido. De acuerdo con la norma, debe incluir tanto aspectos cualitativos como cuantitativos y asimismo la base de datos utilizada debe ser transparente. Por otro lado, la Huella Hídrica no puede representarse solamente en términos de volúmenes de agua consumida y contaminada, una evaluación

de impactos relacionados a los recursos hídricos también debe ser considerada (AguaLimpia 2017).

ISO 14046 es claramente una herramienta útil para las organizaciones interesadas en la comprensión de los impactos ambientales relacionados con el agua, especialmente para propósitos internos (CONAMA 2014).

Esta normativa permitirá mejorar la gestión de los riesgos del agua frente a su escasez como recurso, así como mejorar la reputación social y ambiental de la empresa. Se espera que su aplicación siga un camino similar al de la primera norma ISO de gestión medioambiental, la ISO 14001 (sistemas de gestión ambiental), actualmente utilizado por más de 300,000 organizaciones alrededor del mundo (AguaLimpia 2017).

La norma aporta una armonización consensuada a nivel mundial de conceptos, principios y metodologías, siempre con una base científica, hecho que anima la transparencia de las organizaciones y la preparación de memorias de sostenibilidad. (Avilés García y Mineros Blanco 2018).

2.5 Ganado Vacuno

El ganado vacuno es el conjunto de animales criados por el ser humano mediante la actividad de ganadería, para la producción de carne, leche y sus derivados, que serán utilizados en la alimentación humana; el ganado vacuno consta de diferentes razas de acuerdo con el propósito de producción que cada una de ellas poseen. En El Salvador se pueden distinguir diferentes tipos de razas de ganado bovino, que de acuerdo con sus características son utilizadas para diferentes propósitos ya sea producción de leche, producción de carne o de doble propósito (Escobar Flores *et. al.* 2011).

La forma del cuerpo del ganado de carne es rectangular y el área del cuerpo es mayor, por lo que tiene mayor espacio para la acumulación de carne, sin embargo; el ganado de leche tiene la característica de tener el cuerpo triangular, con poca musculatura y grandes ubres. El ganado lechero, utiliza para su producción casi todos los nutrientes que ha consumido, a diferencia del ganado de carne, que los puede almacenar en su cuerpo en forma de carne y grasa. El ganado de carne fue mejorado para producir una cantidad de leche apenas suficiente para amamantar a su cría y los nutrientes restantes son almacenados para la

producción de carne y grasa. El ganado de leche fue mejorado para que la ubre sea grande, con un gran potencial para producir leche, mucho más de lo que necesita la cría para su desarrollo (JICA 2005).

2.5.1. Actividad lechera en el mundo

Se produce y se consume básicamente en todos los países del mundo, y, en la mayoría de ellos, se posiciona entre los primeros cinco productos agrícolas tanto en términos de cantidad como de valor. La leche entera fresca de vaca representa el 82,7% de la producción global de leche, seguida por la leche de búfalo (13,3%), cabra (2,3%), oveja (1,3%) y camello (0,4%) (FAO 2016).

La leche y los productos lácteos representan cerca del 14% del comercio agrícola mundial. En especial, la leche entera en polvo (LEP) y la leche descremada en polvo (LDP) son los productos agrícolas más comercializados en el mundo en cuanto al porcentaje de producción comercializada, mientras que los productos lácteos frescos, con menos del 1% de la producción comercializada, son los productos agrícolas menos comercializados (OCDE- FAO 2017).

Se prevé que la producción de leche aumentará 177 millones de toneladas para 2025, con una tasa de crecimiento promedio del 1,8% por año, en los próximos 10 años. Durante el mismo periodo, se prevé que el consumo per cápita de productos lácteos aumentará un 0,8% y 1,7% por año en los países en desarrollo, y entre 0,5% y 1,1% en los países desarrollados. Debido al gran tamaño de la industria lechera, estas tasas de crecimiento pueden producir importantes beneficios de desarrollo para el sustento de las personas, así como también para el ambiente y la salud pública (FAO 2016).

2.5.2. Actividad lechera en El Salvador

Históricamente, el sector ganadero ha tenido una importancia clave en la economía del país. Según BANDESAL (2016), la ganadería contribuyó con el 20% del PIB agrícola de El Salvador, la ganadería bovina genera más de 150,000 empleos directos en la fase de producción, transporte y procesamiento, es el subsector que más empleos genera en producción animal, la producción porcina y la avicultura comercial generan 8,000 y 7,000 empleos, respectivamente.

El costo de producción es determinado por dos factores principales: densidad de ganado por pasto (carga animal) y nivel de tecnificación. Para que un país tenga un costo

competitivo tiene que presentar al menos una de estas características. En cuanto a su nivel de tecnificación se tienen dos tipos: las explotaciones de tipo extensivas e intensivas. La ganadería extensiva es un sistema de producción animal que se vincula al aprovechamiento de recursos naturales, basado en una determinada carga ganadera. Básicamente se trata de animales criados en libertad, en extensiones de terreno suficientes para una manutención más o menos natural. No se vincula a una raza o ecosistema determinado (Domeq 2016)

En el otro extremo, se encuentra el sistema de producción animal intensiva donde el total del alimento consumido es suministrado diariamente por el ser humano. Es una tecnología de producción basada en el confinamiento de los animales y dietas de alta concentración energética (generalmente basadas en maíz) y alta digestibilidad. Se busca que la alimentación sea la más ajustada posible para producir mayores cantidades en el menor tiempo y al menor costo posible, maximizando la ganancia diaria. Por otro lado, de esta manera también se está dando valor agregado a cultivos como el maíz, convirtiendo proteína vegetal en proteína animal, la cual es de mayor valor biológico (FUNDESYRAM 2007).

2.5.3. Alimentación de ganado

Bajo todas las condiciones de manejo para las vacas en producción y las novillas se permite el consumo de alimento ad libitum, sin embargo, es la ingesta de alimentos la mayor limitación para el ganado lechero. La ingesta de alimento está caracterizada por el consumo de materia seca (MS), en base a ella se comparan diversas dietas con diferentes concentraciones y cantidades de MS. La MS está afectada tanto por factores del animal como del mismo tipo de alimento servido (tamaño del animal, producción de leche, etapa de lactación o gestación) (Herdt 2017).

Energía: Los rumiantes necesitan todos los nutrientes necesarios para su mantenimiento y producción: leche, carne, crecimiento y embarazo, cualquier tipo de nutriente en menor cantidad a la requerida podría limitar el desarrollo normal, pero en especial la ingesta de energía y proteína. El sistema digestivo utiliza la energía metabolizable (ME) en la comida como base al momento de formular las raciones. La energía metabolizable es la que queda luego de los procesos digestivos, las pérdidas en heces, orina, gases y calor corporal. La unidad básica para medir calor son los Mega Julios (FAO 2009).

Proteína: Según (Herdt 2017), el requerimiento de proteína para el ganado lechero es muy alto, debido a la demanda de amino ácidos para la síntesis de proteína de la leche, existen dos sistemas para describir el suministro y requerimiento de la proteína para vacas en lactancia, proteína cruda del sistema y la proteína cruda metabolizable la proteína cruda del sistema considera solamente el total de proteína en la dieta alimenticia, o la proteína proveniente de una fuente no proteica de nitrógeno, mientras la proteína cruda metabolizable es más compleja debido a que nació del hecho que no toda la proteína cruda entregada al ganado está disponible para ser asimilable como amino ácidos (FAO 2009).

La proteína metabolizable se refiere a los aminoácidos absorbidos desde el estómago que están disponibles para metabolizarse. En rumiantes esta puede provenir de dos fuentes: proteína microbiana sintetizada en el rumen y el alimento proteico que se escapa de la degradación del rumen. La proteína que escapa la degradación del rumen se conoce como proteína no degradable, mientras que aquella que si es asimilable en el rumen es proteína degradable en el rumen (Herdt 2017).

Vitaminas y minerales: Los principales minerales en la dieta del ganado lechero son calcio y fósforo. El fosfato de calcio es muy importante que se encuentre en cantidades balanceadas, debido a que una sobre dosis puede causar infertilidad. Existen reservas de estos en nuestro cuerpo, el pastoreo podría no proveer la cantidad suficiente de estos minerales, principalmente en fósforo. La deficiencia de este mineral puede causar dolor en las piernas, el animal puede cojear al caminar, irregularidades en el consumo de alimentos, el alimento para pescado es una buena fuente de minerales, además todos los minerales pueden ser agregados mediante bloques nutricionales (FAO 2009).

Agua: La disponibilidad de agua es muy importante, debido a que un insuficiente consumo de agua provocaría una disminución en la ingesta alimenticia y la producción de leche. La ingesta de agua para ganado lechero está determinada por la producción de leche, consumo de materia seca, consumo de sal o sodio y la temperatura ambiente. Esta se representa en la siguiente ecuación:

$$FWI = 15.99 + (1.58 * IMS) + (0.9 * PL) + (0.05 * Na) + (1.2 * temperatura\ mínima)(1)$$

Donde:

FWI= Ingesta libre de agua

IMS= Ingesta de materia seca (Kg/día)

PL= Producción de leche (Kg/día)

Na= Sodio (g/día)

Temperatura mínima: debe estar en grados Celsius (Herdt 2017).

2.5.4. La Huella Hídrica en la ganadería

El constante crecimiento de la población mundial (cuatro veces desde 1900) es directamente proporcional con la cantidad de alimentos demandados para el sostenimiento de esta; 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).

Es así, como la ganadería es un sector importante para la economía y la seguridad alimentaria de cualquier país, siendo una actividad fundamental de trabajo y sustento para la población a nivel mundial, pero también es una de las actividades con mayores impactos negativos al suelo (sobrepastoreo), aire (emisiones de gases de efecto de invernadero), biodiversidad (cambio de coberturas vegetales) y el agua, con repercusiones desde el ámbito local hasta el mundial (Benson y Samuel 2013).

De esta manera la producción pecuaria, es responsable del consumo mundial del 8% del recurso hídrico, contribuye a la eutrofización, aparición de problemas de salud en los seres humanos, dado al mal manejo del excremento de animales, antibióticos y hormonas, fertilizantes, plaguicidas, y sedimentos de pastizales erosionados (Pascual 2013).

Para calcular la Huella Hídrica de un animal es necesario considerar diversos componentes tales como: la Huella Hídrica indirecta generada por el consumo de alimentos y la Huella Hídrica directa por el consumo de agua y los servicios de agua, el agua para los servicios se refiere al agua para limpiar los potreros, para limpiar a los animales y para llevar a cabo todos los servicios necesarios para mantener limpio el ambiente del animal, la Huella Hídrica de un animal puede ser expresada en $m^3/año/animal$ o $m^3/animal$ (Aamoum 2015).

Según Mekonnen y Hoekstra (2011), para productos como ganado lechero y gallinas ponedoras es mejor calcular la Huella Hídrica por año del animal, porque es más sencillo calcular la Huella Hídrica por año del animal, por medio de su producción promedio por año (huevos y leche).

Según el estudio de caso realizado por Aamoum (2015), describe los siguientes indicadores para el cálculo de la Huella Hídrica:

- Número de cabezas (vacas en producción, novillas, terneros y toros).

- producción (litros de leche por año y promedio de litros de leche por vaca por año).
- consumo de agua del ganado (litros por año)
- cantidad de alimentos consumidos (cantidad de forraje y cereales consumidos).
- superficie destinada a forraje (Ha).
- producción de forraje (kilogramos por hectárea).
- Agua en manejo de establos.
- fertilizante utilizado (kilogramos por año).
- semillas (kilogramos por año).
- biodigestor (m³ por año).

La Huella Hídrica del proceso de producción de leche es calculado y dividido por la cantidad producida. Tomando en cuenta los indicadores anteriores se define que el número de cabezas, consumo de agua del ganado, cantidad de cereales y pallets, forman parte de la Huella Hídrica Azul, mientras la cantidad de forraje y cereales conforman el agua verde, para el agua gris la representan la cantidad de fertilizante utilizados y el biodigestor (Aamoum 2015).

Para cuantificar el consumo de agua en ganado bovino según Duarte (1997), un bovino adulto consume entre un 8-10% de su peso en agua. Una vaca lechera puede consumir entre 38 y 110 litros de agua por día (l/d), un bovino para carne de 26 a 70 l/d, y una oveja de 4 a 15 l/d. Las hembras preñadas consumen más agua que las vacías, y las lactantes más que las secas. Para dimensionar nuestras aguadas, deberemos entonces, determinar en primer lugar el consumo potencial del total de los animales para el período de máximo requerimiento tal y como se demuestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Estimación del consumo de agua en ganado bovino.

Categoría	Litros/Animal/Día
Vacas (en producción)	70
Terneros	35
Novillas	55
Vacas (Secas)	55
Toros	70

Fuente: Duarte 1997.

Para la cantidad de agua utilizada en el manejo de la sala de ordeño, lavado de establos, utensilios, tinas, limpieza de ubres y toda el agua utilizada en el manejo de establo Martínez Mamian *et. al.* (2016), define un valor promedio de agua utilizado de acuerdo con la edad en el manejo de establo (cuadro 2).

Cuadro 2. Consumo de agua de acuerdo con el hato.

Hato	Novillas	Vacas
Promedio consumo (l/día*animal)	0.004	0.005

Fuente: Martínez Mamian *et. al.* 2016

2.6. Manejo de aguas residuales

La industria de lácteos es considerada el mayor contaminador de agua en el área de alimentos procesados, en muchos países, aunque no suele ser asociado con graves problemas ambientales, si se considera su impacto ambiental especialmente por los contaminantes de origen orgánico generados por las ganaderías lecheras (Britz *et. al.* 2006)

En la actualidad el manejo de las aguas residuales es una necesidad, en donde el agua utilizada por las diferentes industrias cumpla con los parámetros de calidad que las autoridades ambientales proponen al momento de verter las a su efluente. Son las ganaderías quienes no suelen tener un tratamiento de aguas residuales definido no como las plantas procesadoras de lácteos quienes se encuentran un poco más avanzadas en esta temática (Mohamed y Saed 1995).

2.6.1. Lagunas de Oxidación

Las lagunas de oxidación han sido utilizadas para el tratamiento de aguas residuales en ganaderías lecheras desde hace mucho tiempo especialmente por su bajo costo, usualmente esta compuestas por dos lagunas, estas lagunas tienen una mayor reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y sólidos totales suspendidos (SST), Sin embargo, la eficiencia de las lagunas de oxidación es muy variable dependiendo del sistema utilizado y el tiempo (Hicky *et. al.* 1989 y Craggs *et. al.* 2004).

Las lagunas son básicamente excavaciones en el suelo donde el agua residual se almacena para su tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acción simbiótica de algas y otros organismos (CNA 2007).

Las lagunas tienen como objetivo:

- Remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación

- Eliminar microorganismos patógenos que representan un grave peligro para la salud.
- Utilizar su efluente para otras finalidades como la agricultura (Rodríguez 2008)

Tipos de laguna de oxidación:

- Aerobias

Reciben aguas residuales que han sido sometidos a un tratamiento y que contienen relativamente pocos sólidos en suspensión. En ellas se produce la degradación de la materia orgánica mediante la actividad de bacterias aerobias que consumen oxígeno producido fotosintéticamente por las algas (Rodríguez 2008)

- Anaerobias

Las lagunas anaerobias son profundas y mantienen condiciones anóxicas y anaerobias en todo el espesor de la, misma. Esto es parcialmente cierto ya que en un pequeño estrato superficial se encuentra oxígeno disuelto (menos de 50 cm), dependiendo de la acción del viento, la temperatura y la carga orgánica. En general, la zona superior tiene una influencia insignificante en la dinámica microbiana del medio acuático. Con el tiempo se forman natas por arriba del agua residual lo cual evita la presencia de las algas debido a la ausencia de luz solar e impide la difusión de oxígeno del aire. (Rolim 2000).

La estabilización en estas lagunas tiene lugar mediante las etapas siguientes.

- Hidrólisis: los compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles en agua.
- Formación de ácidos: los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos. Produciéndose su conversión en ácidos orgánicos volátiles.
- Formación de metano: una vez que se han formado los ácidos orgánicos, una nueva categoría de bacterias actúa y los utiliza para convertirlos finalmente en metano y dióxido de carbono (CNA 2007)

- Facultativas:

Son aquellas que poseen una zona aerobia y una anaerobia, siendo respectivamente en superficie y fondo. La finalidad de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica

en un medio oxigenado proporcionando principalmente por las algas presentes (Rolim 2000)

El objetivo de las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes (CNA 2007).

- **Maduración:**

Este tipo de laguna tiene como objetivo fundamental la eliminación de bacterias patógenas. Además de su efecto desinfectante, las lagunas de maduración cumplen otros objetivos, como son la nitrificación del nitrógeno amoniacal, cierta eliminación de nutrientes, clarificación del efluente y consecución de un efluente bien oxigenado. Las lagunas de maduración se construyen generalmente con tiempo de retención de 3 a 10 días cada una, mínimo 5 días cuando se usa una sola y profundidades de 1 a 1.5 metros. En la práctica el número de lagunas de maduración lo determina el tiempo de retención necesario para proveer una remoción requerida de coliformes fecales (Rolim 2000).

2.6.2. Biodigestor

El biodigestor es una estructura en la cual se fermenta biomasa o excretas de animales o incluso del ser humano y se obtiene un gas llamado Biogás, que además es un buen fertilizante líquido que sale al final del proceso. El gas puede utilizarse para cocinar, calentar agua, iluminar, o por medio de un calentador, generar electricidad. (Zuluaga Bernal 2007 y Rodríguez y Urbina Bravo 2005).

El funcionamiento del biodigestor puede verse afectado por diversos factores tales como: temperatura y tiempo de retención, Relación carbono/nitrógeno (C/N), potencial de hidrogeno (pH) y contenido de agua de la mezcla. (Arboleda y González 2009).

- **Temperatura y tiempo de retención:** de acuerdo con este factor se caracteriza el tipo de fermentación que se lleva a cabo en el biodigestor.

Fermentación psicrófila: en un rango de temperatura de 10 °C- 20 °C y más de 100 días de retención.

Fermentación mesófila: en un rango de temperatura de 20 °C y 35 °C y aproximadamente 30 a 40 días de retención.

Fermentación termofílica: en un rango de temperatura de 50 °C y 60 °C y más de 8 días de retención (Alcayaga *et. al.* 1999).

- **Relación Carbono/ Nitrógeno (C/N):** Los materiales de fermentación están compuestos en su mayor parte por carbono (C) y también contienen nitrógeno (N), entonces se establece la relación entre ellos (C/N), la cual influye sobre la producción de gas. Una relación de 20:1 hasta 30:1 es aceptable (Alcayaga *et. al.* 1999), aunque el valor ideal es de 16 (Corace *et. al.* 2006); mezclas de materiales de fermentación con alto contenido de nitrógeno (como, por ejemplo, el estiércol de gallina) con material de fermentación con alto contenido de carbono (como el tamo de arroz) generan una elevada producción de gas (Alcayaga *et. al.* 1999), (cuadro 3) con las relaciones C/N para varios productos residuales (Arboleda y González 2009).

Cuadro 3. Relación C/N de varios productos residuales.

Sustancia	Relación C/N
Orina	0.80
Estiércol equino	25
Estiércol vacuno	18
Alfalfa	16-20
Algas marinas	19
Aserrín	511
Basura	25
Cáscaras de papa	25
Paja seca de trigo	87
Paja seca de arroz	67
Tallo del maíz	53
Hojas secas	41
Estiércol de aves	32
Pasto	27
Estiércol ovino	29
Estiércol de cerdos	13
Excretas frescas humanas	2.90

Fuente: Arboleda y González 2009

- **Potencial de hidrogeno (pH):** Esta en funcionalidad de la concentración de CO₂ en el gas, de la concentración de ácidos volátiles y de la propia alcalinidad de la materia prima. Las bacterias responsables de producción de biogás son altamente sensibles a cambios de pH, oscilando entre 6 y 8 (es deseable un valor entre 7 y 7.2), (GTZ 1987), el pH del lodo de fermentación indica si el proceso de fermentación transcurre

sin problemas y su medición indica el comportamiento de la carga de fermentación dentro del biodigestor. (cuadro 4) (Arboleda y González 2009).

Cuadro 4. Comportamiento de la carga de fermentación dentro del biodigestor de acuerdo con el valor de pH.

pH	Comportamiento
7 – 7.2	Óptimo
6.2	Retarda la acidificación
7.6	Retarda la amonización

Fuente: Arboleda y González 2009

- **Contenido de agua de la mezcla:** Las bacterias y otros microorganismos no pueden funcionar efectivamente cuando el contenido de agua de la mezcla es demasiado bajo, lo cual conllevará a una baja producción de biogás, por tanto, cuando la mezcla es demasiado diluida se puede digerir relativamente poca materia orgánica (Álvarez *et. al* 2002) , para la digestión de excretas humanas, orines, estiércol de animales y desechos de agricultura la relación biomasa a agua deberá ser de 1:1 o 1:2, es decir que por cada 100 Kg de excretas se requerirán entre 100 y 200 litros de agua (Arboleda y González 2009).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción del estudio

El estudio se realizó entre agosto de 2018 y enero 2019 en los siguientes 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

3.2. Muestreo de suelos

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.

3.2.1. Densidad aparente

Método de Cilindro de volumen conocido

- Seleccionar el sitio a muestrear.
- Con apoyo de un palín retirar las malezas de la parte superficial del área de muestreo.
- Introducir el cilindro muestreador y retirarlo con ayuda de un palín.
- Nivelar el suelo al ras del cilindro y colocarlo en una bolsa debidamente rotulada (Figura A-1).

3.2.2. Infiltración

Método de Cilindros Infiltrómetros

- Se introdujeron los dos cilindros en el suelo, con una profundidad aproximada de 15- 25 centímetros, eso se logró colocando la tapadera de metal sobre los cilindros y golpeándola con un trozo de madera.
- Se colocó el flotador con su soporte.
- 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.
- Luego se inició la toma de lecturas de nivel de agua en el cilindro interno utilizando la escala graduada del flotador.
- 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 A-2)

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

Hacienda Velesa: Se tomaron 3 puntos de muestreo, debido a la homogeneidad topográfica encontrada en los terrenos. Se realizo un muestreo simple, el cual con ayuda del GPS fueron ubicados los puntos de cada uno en un mapa (Figura A-3).

Para el muestreo número uno, se utilizó un barrenador para la toma de muestras, las cuales con ayuda de un palín y un martillo debido a que el suelo se encontraba bastante húmedo y pegajoso, la profundidad del muestreo fue de 1.10 metros, el horizonte 1 se encontró hasta los 46 centímetros luego el horizonte 2 hasta los 81 centímetros y se dejó de perforar hasta 1.1 metros de profundidad en el horizonte 3, se tomó y rotulo cada horizonte en una bolsa plástica de 8 libras con un peso promedio de 1.5 libras por bolsa con muestra.

En el muestreo número dos, se utilizó un barrenador para la toma de muestras, las cuales con ayuda de un palín y un martillo debido a que el suelo se encontraba bastante húmedo y pegajoso, la profundidad del muestreo fue de 0.60 metros el horizonte 1 se encontró hasta los 35 centímetros luego el horizonte 2 hasta los 60 centímetros luego de esta profundidad se encontraba una piedra que no permitía seguir perforando esto ocurrió en dos repeticiones de esta muestra y por tanto ya no se continuo perforando más, se tomó y rotulo cada horizonte en una bolsa plástica de 8 libras con un peso promedio de 1.0 libras por bolsa con muestra

En el muestreo número tres, se utilizó un barrenador para la toma de muestras, las cuales con ayuda de un palín y un martillo debido a que el suelo se encontraba bastante húmedo y pegajoso, la profundidad del muestreo fue de 1.0 metros el horizonte 1 se encontró hasta los 40 centímetros luego el horizonte 2 hasta los 77 centímetros y se dejó de perforar hasta

1.0 metros de profundidad en el horizonte 3, se tomó y rotulo cada horizonte en una bolsa plástica de 8 libras con un peso promedio de 1.5 libras por bolsa con muestra.

Hacienda El Milagro: Se tomaron dos puntos de muestreo por cada forraje utilizado (Sorgo y pasto estrella), los cuales fueron ubicados con ayuda del GPS en el mapa (Figura A-3).

Se utilizó un barrenador para la toma de muestras del sorgo y la profundidad del muestreo fue de 0.85 metros el horizonte 1 se encontró hasta los 53 centímetros luego el horizonte 2 hasta los 32 centímetros y se dejó de perforar, se tomó y rotulo cada horizonte en una bolsa plástica de 8 libras con un peso promedio de 1.0 libra por bolsa con muestra.

En muestreo de suelo en pasto estrella, se utilizó un barrenador para la toma de muestras, las cuales con ayuda de un palín y un martillo debido a que el suelo se encontraba bastante húmedo y pegajoso, la profundidad del muestreo fue de 0.80 metros el horizonte 1 se encontró hasta los 42 centímetros luego el horizonte 2 hasta los 38 centímetros y se dejó de perforar, se tomó y rotulo cada horizonte en una bolsa plástica de 8 libras con un peso promedio de 1.0 libra por bolsa con muestra.

3.2.4. Conductividad hidráulica: Permeámetro de Guelp

Para el llenado del permeámetro se retiró el tapón presente en la parte superior de la tapa del reservorio, asegurándose que la válvula reguladora del flujo esté con su indicador hacia arriba para mantener conectados el reservorio interior y exterior.

Para la operación se utilizó una manguera que conecta el recipiente que contiene el agua y el permeámetro. Para rellenar se levantó el bidón directamente se aseguró que el punto para la salida del agua esté sellado mediante el tubo de aire inferior.

El equipo se instaló en el agujero de infiltración, bajando lentamente el permeámetro a través del trípode.

Para la recolección de datos se determinó la tasa de infiltración en el suelo y se utilizó el siguiente procedimiento: 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.

3.3. Aforo de caudales

3.3.1. 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), (Figura A-4).

3.3.2. Riego por gravedad Hacienda Velesa

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), (Figura A-5).

Se midió las dimensiones del canal, para encontrar su área, se obtuvieron 3 que eran rectangulares y 2 trapezoidales.

3.3.3. Riego por gravedad Hacienda El Milagro

Se calculó utilizando el método del flotador y se delimitó una distancia de 5 metros del canal de riego, debido a la falta de uniformidad, sin piedras ni troncos, que impidieran al agua fluir libremente, sin turbulencias ni impedimentos, luego con ayuda de un cronometro se midió el tiempo que tardaba el flotador en atravesar la distancia marcada. 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), (Figura A-5).

Se midió las dimensiones del canal para encontrar el área se tuvieron 2 trapezoidales y 2 rectangulares.

3.3.4. Riego por aspersión

Se contó la cantidad de aspersores colocados por cada 250 m², luego se extrapolo este dato para una manzana. En base a la marca y capacidad de la bomba se buscó las características específicas del aspersor en catálogos.

3.3.5. Manejo de aguas residuales

Hacienda Ganadera Velesa: Se tomo 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, y transportados al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas para sus pruebas.

Hacienda Ganadera El Milagro: Se tomó una muestra por duplicado a la entrada de la primera laguna facultativa, luego otra muestra por duplicado a la salida de la segunda laguna facultativa y transportados al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas para sus pruebas.

Previo a la toma de muestras fueron rotulados los botes con fecha, hora, lugar de muestreo y nombre de quien toma la muestra.

Para la toma de muestras se solicita la colaboración necesaria del personal de cada ganadería, luego se llenó y vació el bote para su ambientación se repitió este procedimiento por tres veces, luego se llenaron los botes hasta su rebalse y posteriormente para obtener datos confiables se colocó un sello para evitar que las muestras fueran transportadas con aire, finalmente fueron almacenadas y transportadas en hieleras (Figura A-6)

3.4. Fase 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.

3.4.1. 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.

$$DAp \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{peso suelo seco (g)}}{\text{Volumen del cilindro } cm^3} (2)$$

3.4.2. Textura

Método de Bouyoucos

- Se colocó la muestra en una lata de aluminio rotulada y pesada en una estufa a 105°C durante 24 horas.
- La muestra seca, fue tamizada y pasada por una zaranda de 2 milímetros.
- Se tomó una muestra de 50 gramos
- Se preparó la solución dispersante de hexametáfosfato más carbonato de sodio (agregando 40 gramos de hexametáfosfato de sodio y 10 gramos de carbonato de sodio anhídrido y aforando a 1000 mililitros).
- Colocar la muestra en un beaker de 250 ml y agregar 100 mililitros de solución dispersante. Dejar reposar durante 24 horas.
- Luego de 24 horas, con ayuda de un agitador homogenizar la muestra y verter a un vaso de Bouyoucos y aforar hasta los 500 mililitros.
- Colocar la muestra en el agitador de Bouyoucos durante 2 minutos.
- Colocar en una probeta el hidrómetro luego verter la muestra y aforar hasta los 1000 mililitros con agua destilada (en caso de presencia de espuma verter alcohol etílico para eliminar los restos de material orgánico en la muestra).
- Retirar el hidrómetro y agitar la muestra durante 12 veces. Dejar reposar la muestra durante 20 segundos.
- A los 40 segundos introducir nuevamente el hidrómetro y tomar la lectura en la escala de gramos/ litros. Retirar cuidadosamente el hidrómetro de la suspensión e introducir el termómetro y tomar la lectura, retirar el termómetro y dejar reposar.
- Repetir el paso anterior a los 4 minutos, 1 hora y 2 horas.
- Realizar una corrección por temperatura debido que el hidrómetro está calibrado a 20° Centígrados. Debe realizarse una corrección agregando 0.5 g/l por cada grado sobre los 20°C y restando 0.5 g/l por cada grado debajo de los 20°C. (Figura A-7)

3.4.3. Capacidad de campo

Método de 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.

- La muestra fue mullida para desmoronar terrones, luego fue tamizada a 2 milímetros para separar partículas de suelo de rocas, raíces y ramas.
- Las muestras se colocaron en hules previamente rotulados, por cada muestra se realizó un triplicado para obtener una mayor confianza en los resultados, estos fueron colocados en platos de cerámica que soportan 1 atmósfera de presión. Las muestras en los platos de cerámica se saturaron con agua durante 24 horas.
- Los platos se colocaron en ollas a presión en donde pasaron durante 24 horas. En este tiempo las ollas depuraron agua de las muestras, dejando la cantidad de agua que el suelo retiene a capacidad de campo.
- Luego que las muestras pasaran 24 horas en las ollas a presión, estas se colocaron en cajas de aluminio previamente pesadas, luego se pesaron las muestras húmedas y se trasladaron a una estufa a 105° C por 24 horas.
- Luego se pesaron las muestras secas y con la siguiente información se obtuvo el porcentaje de humedad a capacidad de campo:

$$HP\%CC = \frac{PF \text{ a } CC - PSS}{PSS * 100} \quad (3)$$

$$HP\%CC = (PF \text{ a } CC - PSS) / PSS * 100$$

Descripción:

HP%CC= Humedad gravimétrica a capacidad de campo

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

PSS= masa de suelo seco

3.4.4. Punto de marchitez permanente

La variación de este método para determinar el punto de marchitez permanente 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), (Figura A-8).

3.5. 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 “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), al mismo tiempo, se realizaron pruebas de aguas residuales para conocer demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables, para compararlos con la Norma Salvadoreña Obligatoria de aguas residuales descargadas a cuerpo receptor 13.49.01: 09 (OSN 2007). Debido a que ninguna de las ganaderías tenía estos datos estas pruebas se realizaron en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas.

3.5.1. 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

3.5.2. Factor cultivo

Etapas fenológicas: 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.

3.6. Metodología estadística

La investigación es de tipo exploratorio descriptiva, se realizó una comparativa entre la Huella Hídrica de la hacienda “El Milagro” y ganadería “Velesa”

3.7. 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 la figura A-9.

3.7.1. 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 (4).

$$ET_{av} = \min(CWR, Pe) + d \quad (4)$$

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 esto se realizó utilizando la ecuación 5.

$$H_{verde} = \frac{\text{agua en alimento} \left(\frac{m^3}{\text{día*hato}} \right)}{\text{producción diaria de leche} \left(\frac{kg}{\text{día*hato}} \right)} = \frac{m^3}{kg} \quad (5)$$

- Agua para forrajes: es el valor de la evapotranspiración de cultivo obtenido de Cropwat (m³)
- Rendimiento: El rendimiento por área de los diferentes tipos de cultivos utilizados en la alimentación, los rendimientos pueden encontrarse como materia verde o materia seca, dependiendo de la manera que sean ofrecidos a los animales (kg/Ha).
- Agua de cultivo: Es el cociente entre el agua para forrajes y el rendimiento, de esta manera conocemos el agua que se necesita para producir una cantidad específica de un cultivo (m³*kg).

- Ración alimenticia: kilogramos de alimento ofrecidas a los animales puede ser como materia seca o verde, puede ser diferenciado por los estratos del hato o no (kg). En caso de no conocer la ración alimenticia de los animales esta se calculó de acuerdo con Loughlin (2009), para suplir la energía neta de mantenimiento un animal debe alimentarse entre el 8%- 18% de su peso vivo durante el pastoreo.
- Agua indirecta: El cociente entre agua de cultivo y ración alimenticia, de esta manera se obtiene el agua que un animal ingiere indirectamente por medio de su ración alimenticia (m^3 por animal)
- Agua en alimento: El producto del agua indirecta por la cantidad de animales que ingieren este alimento, de esta manera se obtiene la cantidad de agua indirecta que ingieren todos los animales de acuerdo con su ración alimenticia (m^3 por hato total)

3.7.2. 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.

$$H_{\text{azul}} = \frac{\text{microclima} \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) + CDH \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) + ME \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) + AARA \left(\frac{m^3}{\text{hato}} \right) + AARG \left(\frac{m^3}{\text{hato}} \right)}{\text{producción diaria de leche} \left(\frac{kg}{\text{día} \cdot \text{hato}} \right)} = \frac{m^3}{kg} \quad (6)$$

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

Microclima El agua utilizada para microclima se obtuvo mediante el aforo de los aspersores que tenían en la ganadera, el aforo se realizó utilizando un volumen conocido (m^3/s), luego de obtener el caudal, este fue multiplicado por las horas al día que estos son utilizados ($m^3/día$).

Consumo directo de agua del hato se obtuvo utilizando los valores que se encuentran en la ecuación 1 y el cuadro 1 que fue elaborado por Duarte (1997).

Manejo del establo: La cantidad de agua utilizada en el manejo de los establos, desde la sala de ordeño, hasta la higiene y sanitización de equipos y materiales, para su cálculo se utilizó los resultados obtenidos por Martínez Mamian et. al. (2016), (cuadro 2).

Riego por gravedad: para cuantificar la relación entre el agua utilizada en el riego por gravedad y su incidencia en la producción de leche se realizaron los siguientes pasos:

- Riego por gravedad: Se aforaron las acequias por donde se dirige el agua, utilizando el método del flotador, para obtener su caudal (m^3/s), luego este fue multiplicado por las horas al día que riegan en cada ganadería ($m^3/día$), este resultado fue multiplicado por los días del ciclo de cultivo de acuerdo al uso que este tendrá en la ración alimenticia o la época de corte de cada cultivo ($m^3/ciclo$ de cultivo) y finalmente se divide por la extensión destinada del cultivo (m^3/Ha).
- Rendimiento: El rendimiento por área de los diferentes tipos de cultivos utilizados en la alimentación, los rendimientos pueden encontrarse como materia verde o materia seca, dependiendo de la manera que sean ofrecidos a los animales (kg/Ha).
- Agua de cultivo: Es el cociente entre el agua para forrajes y el rendimiento, de esta manera conocemos el agua que se necesita para producir una cantidad específica de un cultivo (m^3*kg).
- Ración alimenticia: Libras de alimento ofrecidas a los animales puede ser como materia seca o verde, puede ser diferenciado por los estratos del hato o no (kg).
- Agua indirecta: El cociente entre agua de cultivo y ración alimenticia, de esta manera se obtiene el agua que un animal ingiere indirectamente por medio de su ración alimenticia (m^3 por animal)
- Agua en alimento: El producto del agua indirecta por la cantidad de animales que ingieren este alimento, de esta manera se obtiene la cantidad de agua indirecta que ingieren todos los animales de acuerdo con su ración alimenticia (m^3 por hato total).

Riego por aspersión para identificar en qué manera el agua de riego por aspersión afecta la producción de leche se realizó el siguiente proceso:

- Riego por aspersión: el caudal de aspersión se obtuvo mediante el catálogo de la marca respectiva tomando en cuenta el tamaño de la boquilla y la potencia de la bomba con que transportan el agua en la ganadería, este caudal se multiplica entre

las horas al día que se utiliza, luego se dividió por la extensión destinada de los cultivos ($m^3 \cdot Ha$).

- Rendimiento: El rendimiento por área de los diferentes tipos de cultivos utilizados en la alimentación, los rendimientos pueden encontrarse como materia verde o materia seca, dependiendo de la manera que sean ofrecidos a los animales (kg/Ha).
- Agua de cultivo: Es el cociente entre el agua para forrajes y el rendimiento, de esta manera conocemos el agua que se necesita para producir una cantidad específica de un cultivo ($m^3 \cdot kg$).
- Ración alimenticia: Libras de alimento ofrecidas a los animales puede ser como materia seca o verde, puede ser diferenciado por los estratos del hato o no (kg).
- Agua indirecta: El cociente entre agua de cultivo y ración alimenticia, de esta manera se obtiene el agua que un animal ingiere indirectamente por medio de su ración alimenticia (m^3 por animal)
- Agua en alimento: El producto del agua indirecta por la cantidad de animales que ingieren este alimento, de esta manera se obtiene la cantidad de agua indirecta que ingieren todos los animales de acuerdo con su ración alimenticia (m^3 por hato total).

3.7.3. 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 proveniente de la infiltración-percolación del resto de retornos de riego hacia las aguas subterráneas (IICA 2016).

3.7.3.1. 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 (ecuación 7).

$$H_{gris\ puntual} = \frac{Efl \times Cefl - Afl \times Cact}{Cmax - Cnat} \quad (7)$$

Descripción:

Efl = Flujo efluente (v/t) *

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

Afl = Flujo afluente (v/t) *

Cact = Concentración real del agua de entrada (m/v) ** el de este valor es 1mg/l ya que es agua de pozo y esta se considera potable por lo tanto su valor es muy cercano a cero.

C_{max} = Concentración máxima permitida del contaminante en una fuente de agua (m/v) ***

C_{nat} = 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

*Datos obtenidos de registros de las ganaderías.

** Datos obtenidos de análisis de laboratorio.

*** Dato obtenido de NSO para aguas residuales

El resultado obtenido de la fórmula 7 se divide por la producción en kilogramos de leche anuales.

3.7.3.2. Huella Hídrica Gris difusa

$$H_{gris\ difusa} = \frac{L}{C_{max}-C_{nat}} = \frac{\alpha \times Apl}{C_{max}-C_{nat}} \quad (8)$$

L=Carga contaminante [masa/tiempo]

C_{max} = Estándar de calidad ambiental del cuerpo receptor, [masa /volumen]

C_{nat} = 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 kilogramos.

El cálculo de la Huella Hídrica Gris difusa se realizó de la siguiente manera:

- Quintales de Nitrógeno por fertilizante: se detalló un listado de fertilizantes utilizados en las ganaderías y las cantidades utilizadas por área, luego se investigó el % de nitrógeno que tiene cada uno de estos fertilizantes, luego se multiplico la cantidad de fertilizante utilizado (qq/Ha) para obtener la cantidad de nitrógeno por quintal (N/qq)
- Nitrógeno por cultivo: de acuerdo con la cantidad de fertilizante aplicado a cada cultivo y conociendo la cantidad de nitrógeno por fertilizante en este paso encontramos la cantidad de nitrógeno por cultivo
- Nitrógeno por hectárea: La cantidad de nitrógeno por cultivo se dividirá por la extensión cultivada para obtener la cantidad de nitrógeno por hectárea.

3.7.4. Huella Hídrica

$$HH = H_{verde} + H_{azul} + H_{gris\ puntual} + H_{gris\ difusa} \quad (9)$$

Descripción:

HH= Huella Hídrica

H verde= Huella Hídrica Verde (5)

H azul= Huella Hídrica Azul (6)

H gris puntual= Huella Hídrica Gris puntual (7)

H gris difusa= Huella Hídrica Gris difusa (8)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de las cooperativas

Hacienda Velesa: La empresa inició con una galera, los procesos se realizaban de manera muy artesanal, se realizaba un ordeño manual al día y el ganado se mantenía en pastoreo, luego se pasó a realizar semi pastoreo, tenían 10 trabajadores en aquel entonces ahora son 50 trabajadores en toda la ganadería la empresa tiene más de 30 años trabajando la leche siempre se le ha vendido a la empresa La Salud.

Tal y como se observa en la figura 1, las entradas en el proceso de producción de leche tenemos agua de riego por gravedad, uso de microclima en este caso se tiene tanto el uso de ventiladores como de micro aspersores, los fertilizantes utilizados en la ración alimenticia y el agua de manejo de establos el cual cubre tanto el agua de limpieza y sanitización de potreros como de sala de ordeño, esto ya es dentro del proceso de producción, a su vez el agua de riego y fertilizantes afectan directamente los procesos de cultivos, agua en alimento, ración alimenticia (cuadro A-1), el agua de riego que se provee de excedente retorna por escorrentía y percolación al suelo o su manto acuífero, a su vez los animales

deben beber agua para sus procesos fisiológicos, para las salidas se tiene la producción de leche de las vacas y el agua residual de salida.

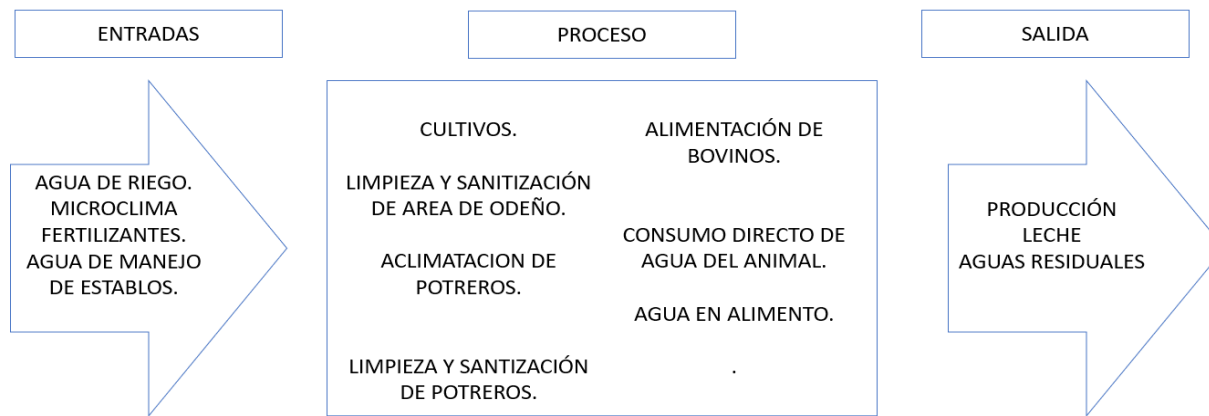


Figura 1. Diagrama de entrada-procesos- salida hacienda Velesa

Hacienda El Milagro

Inicio como una empresa familiar con ganado Indio, sin embargo fueron los primeros en la zona en utilizar la inseminación artificial y maquinas ordeñadoras con apoyo de personas de Israel que llegaban a asesorarles en cuanto al manejo y formas de producción, pero todo esto no sucedió de la noche a la mañana, primero se mejoró la raza que se tenía se pasó de una raza india, Cebú con Braman, estas eran ordeñadas una vez al día, luego Brown Swiss y ahora Holstein 100% purificado antes se realizaba un ordeño al día, mientras que ahora se hacen 3 (a las 5 de la mañana, 10 de la mañana y 3 de la tarde), además del mejoramiento de las razas también poseen tres lagunas para el manejo de aguas residuales, todas funcionan mediante gravedad, estas fueron diseñadas y elaboradas hace 25 años, la empresa además del rubro ganadero también se dedica al área agrícola con productos como café (son socios de la Cooperativa de Cafetaleros de San José La Majada de RL), yuca, plátano y cacao, antes se tenía una mayor producción cuando la empresa no estaba tan diversificada se podía obtener hasta 54.54 kg/leche/día, mientras en la actualidad se mantiene en un rango de 31.82 y 22.73 kilogramos de leche al día por vaca.

Las entradas en el proceso productivo de leche (figura 2), son agua de riego en este caso se tiene tanto riego por gravedad como por aspersión, los fertilizantes aplicados a cultivos y el agua de manejo de establos en donde se considera el agua para limpieza y sanitización de salas de ordeño y potreros, el agua en alimento y ración alimenticia (cuadro A-2) está

muy relacionada con el agua de riego y los fertilizantes, también del tipo de alimento que se provee en este caso es únicamente materia seca, el agua de riego que no es aprovechada por los cultivos regresa a los suelos y mantos acuíferos, mientras lo que se obtiene es la producción de leche y aguas residuales de los procesos productivos.

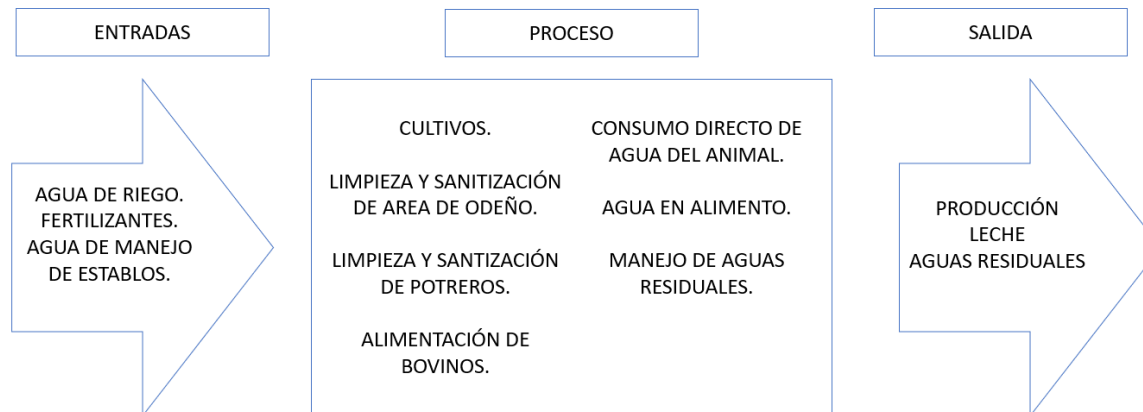


Figura 2. Diagrama de entrada-procesos- salida hacienda El Milagro.

4.2. Factores tecnológicos en la determinación de Huella Hídrica Verde.

4.2.1. 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: cerca del río Negro o Ceniza, al noreste del caserío Tapalshucut en el departamento de Sonsonate (figura A-7), los otros datos climáticos fueron tomados del programa Climwat de la estación meteorológica de Izalco.

4.2.2. Factor suelo

Se determinó la textura del suelo mediante Bouyoucos y se obtuvieron diversas texturas: franco arcilloso, franco, franco arenoso, predominando en la Hacienda El Milagro: franco arcilloso arenoso y para la Hacienda Velesa: franco arcilloso.

Junto a la textura también se determinaron propiedades como: densidad aparente, capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) (cuadro A-3).

Hacienda El Milagro posee textura franca arcillo arenoso, con una densidad aparente de 1.20 g/cm^3 , el porcentaje de humedad a capacidad de campo de 25.53 %w y un porcentaje de humedad a punto de marchitez permanente de 10.50 %w.

Hacienda Velesa posee textura franco arcilloso, con una densidad aparente de 1.30 g/cm^3 , el porcentaje de humedad a capacidad de campo de 31.82 %w y un porcentaje de humedad a punto de marchitez permanente de 12.78 %w. Los resultados obtenidos en laboratorio están dentro de los rangos de propiedades físicas del suelo según textura presentados por Avidan 1990 (cuadro A-3).

Cuadro 5. Resultado de propiedades físicas del suelo.

Lugar	Textura	Densidad Aparente (g/cm^3)	% humedad a CC (%w)	% humedad a PMP (%w)	Infiltración (mm/h)
Hacienda "El Milagro"	Franco Arcillo Arenoso	1.20	25.53	10.50	11.93
Hacienda "Velesa"	Franco Arcilloso	1.30	31.82	12.78	13.58

4.2.3. Factor Tecnológico

Cuadro 6. Factores tecnológicos en producción de leche.

Factor tecnológico	
Hacienda “El Milagro”	Ganadería “Velesa”
Ordeño: 3 ordeños al día mecanizados	Ordeño: 2 ordeños al día mecanizados
Microclima: No estaba en uso	Microclima: Ventiladores y micro aspersores
Vacas en producción: 128 Novillas: 152 Primerizas: 63 Toros: 3, para semen con las mejores características y los demás son descartados al nacer. Días lactante: 162 Días intervalo entre parto: 492 Producción anual de leche (kg/año) 1,168,000 Producción día de leche (kg/día): 25 Servicios por concepción: Novillas 1.98 Primerizas 3.16 Vacas 2.95 Edad al primer parto 24.5	Vacas en producción: 190 Novillas: 159 Primerizas: 74 Toros: Son descartados al nacer Días lactante: 190 Días intervalo entre parto: 432 Producción anual de leche (kg/año): 1,574,245 Producción día de leche (kg/día): 22.7 Servicios por concepción: 1.96 novillas 2.72 primerizas 3.28 vacas Edad al primer parto: 25.2 meses
Extensión destinada a forraje: 60 manzanas	Extensión destinada a forraje: 32 manzanas
Riego por gravedad y aspersión (10 manzanas, 4 horas al día, 3 veces por semana)	Riego por gravedad (3 días a la semana)
Manejo de aguas residuales: 3 lagunas de oxidación	Manejo de aguas residuales: En construcción de un biodigestor

En el cuadro 6 se observa que los factores tecnológicos en las ganaderías varían desde la cantidad de ordeños al día, teniendo más en El Milagro este valor afecta directamente la producción de leche, sin embargo en Velesa se producen 406,245 kg leche más al año,

además en Velesa se utiliza microclima y en El Milagro tienen los equipos, pero ya no los utilizan, también el tamaño del hato es diferente El Milagro tiene 346 cabezas, mientras Velesa, son 411 cabezas, de las cuales 190 son vacas en producción en Velesa, mientras en El Milagro se tienen 128, en El Milagro utilizan toros e inseminación artificial, mientras en Velesa se utiliza únicamente la inseminación artificial, la extensión destinada a cultivos para alimentación de los animales es mayor en El Milagro con 60 manzanas con 50 regadas por gravedad y 10 con aspersión, mientras en Velesa tienen 32 manzanas destinadas a cultivos para alimentación de los animales y solo utilizan riego por gravedad.

El manejo de aguas residuales, en el Milagro tienen 3 lagunas facultativas, aunque en general solo utilizan dos, mientras en la otra se realiza limpieza y sanitización, aunque en Velesa están muy avanzados ya con la construcción del Biodigestor al momento de realizar la investigación aún no estaba terminado.

4.2.4. Factor Cultivo

4.2.4.1. Evapotranspiración del cultivo

Cuadro 7. Evapotranspiración de cultivos por cada hacienda.

Concepto	Evapotranspiración (mm)	
	El Milagro	Velesa
Maicillo (<i>Sorghum Bicolor</i>)	299.1	-----
Mombaza (<i>Panicum máximo</i>)	-----	268.3
Napier (<i>Pennisetum purpureum</i>)	264.0	240
Cubano (<i>Pennisetum sp</i>)	292.4	346.5
Swazi (<i>Digitaria Swazilandesis</i>)	288.4	294.4
Estrella (<i>Cynodon plectostachyus</i>)	304.6	-----
Morera (<i>Morus alba</i>)	-----	170.9
Total	1,447.5	1300.1

En el cuadro 7, se puede ver que la evapotranspiración de “El Milagro” fue de 1,447.5 mm, mientras para “Velesa fue de 1,300.1 mm, este valor es influenciado por precipitación efectiva, infiltración del suelo, capacidad -de campo, punto de marchitez permanente y características específicas del cultivo como profundidad radicular, ciclo del cultivo y altura máxima del cultivo.

4.2.4.2. Agua verde Hacienda Velesa

Cuadro 8. Determinación del agua utilizada en la producción de los cultivos en Velesa por materia seca y materia verde.

Cultivo	Requerimiento Hídrico (m ³ /Ha)		Rendimiento (kg/Ha)		Agua cultivo (m ³ /kg)			
	Época seca	Época Lluviosa	Materia verde	Materia seca	Época seca		Época Lluviosa	
					materia verde	materia seca	materia verde	materia seca
Swazi	176	3051	70000	10000	0.003	0.02	0.04	0.31
Cubano	1317	3594	16480	32960	0.008	0.04	0.02	0.11
Mombaza	176	2752	17600	3520	0.010	0.05	0.16	0.78
Napier	602	2080	13200	33000	0.005	0.02	0.02	0.06
Morera	339	1781	15000	2550	0.023	0.13	0.12	0.70

De acuerdo con el cuadro 6 observamos que el cultivo de mayor requerimiento hídrico es el zacate cubano con 1317 y 3594 (m³/Ha) en época seca y lluviosa respectivamente, el de menor requerimiento hídrico es la Morera con 339 y 1781 (m³/Ha) en época seca y lluviosa respectivamente, el cultivo de mayor rendimiento es Swazi en materia verde con 70,000 (kg/Ha) y el Napier en materia seca con 15,000 (kg/Ha).

Durante la época seca en materia verde el zacate mombaza es el que utiliza mayor cantidad de agua en cultivo 0.010 (m³/kg) y el Swazi es el de menor cantidad con 0.003 (m³/kg), mientras en materia seca el que mayor cantidad de agua en cultivo utiliza es la morera 0.13 (m³/kg) y el de menor cantidad es Swazi y Napier con 0.02 (m³/kg).

Durante la época lluviosa, para materia verde el zacate mombaza es el que mayor cantidad de agua en cultivo utiliza con 0.16 (m³/kg), el de menor cantidad es el Swazi y Napier con 0.02 (m³/kg), mientras en materia seca el zacate mombaza es el que utiliza mayor cantidad de agua 0.78 (m³/kg) y el zacate Napier es el de menor uso con 0.06 (m³/kg).

Cuadro 9. Determinación de agua indirecta consumida por los animales por medio de cultivos, en época seca. Hacienda Velesa.

Época Seca											
Cultivo	Agua cultivo		Ración Alimenticia (kg)				Agua indirecta (m ³)				Total, agua por cultivo
	(m ³ /kg)		Vacas		Novillas	Primeriza	Vacas		Novillas	Primerizas	
	materia verde	materia seca	Materia verde	Materia seca	Materia verde	Materia verde	Materia verde	Materia seca	Materia verde	Materia verde	
Swazi	0.003	0.02	0.00	4.55	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.08
Cubano	0.008	0.04	0.00	4.55	0.00	0.00	0.00	0.40	0.00	0.00	0.40
Mombaza	0.010	0.05	0.00	4.55	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50
Napier	0.005	0.02	15.45	0.00	22.73	27.27	0.16	0.00	0.23	0.27	0.66
Morera	0.023	0.13	9.09	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.45

En el cuadro 9 vemos que el cultivo de menor cantidad de agua indirecta durante la época seca es Swazi con 0.08 (m³), del cual son ofrecidas 4.55 kilogramos de materia seca en la ración alimenticia de las vacas, mientras que la morera utiliza casi seis veces más agua indirecta con la misma cantidad ración ofrecida que la mombaza 4.55 kilogramos con 0.66 (m³), mientras el de mayor consumo de agua indirecta es el zacate Napier con 0.66 (m³), debido a que se ofrecen 65 kilogramos en la ración alimenticia.

Cuadro 10. Determinación de agua indirecta consumida por los animales por medio de cultivos, en época lluviosa. Hacienda Velesa.

Época Lluviosa											
Cultivo	Agua cultivo		Ración Alimenticia (kg)				Agua indirecta (m ³)				Total, agua por cultivo
	(m ³ /kg)		Alta producción		Novillas	Primeriza	Vacas		Novillas	Primerizas	
	Materia verde	Materia seca	Materia verde	Materia seca	Materia verde	Materia verde	Materia verde	Materia seca	Materia verde	Materia verde	
Swazi	0.04	0.31	0.00	4.55	0.00	0.00	0.00	1.39	0.00	0.00	1.39
Cubano	0.02	0.11	0.00	4.55	0.00	0.00	1.09	0.00	0.00	1.09	1.09
Mombaza	0.16	0.78	0.00	4.55	0.00	0.00	0.00	7.82	0.00	0.00	7.82
Napier	0.02	0.06	15.45	0.00	22.7	27.3	0.54	0.00	0.79	0.95	2.27
Morera	0.12	0.70	9.09	0.00	0.00	0.00	2.37	0.00	0.00	0.00	2.37

Según el cuadro 10 el cultivo de menor cantidad de agua indirecta durante la época lluviosa es zacate cubano con 1.09 (m³), del cual se ofrecen 4.55 kilogramos de material verde, mientras el de mayor consumo de agua indirecta es la morera con 2.37 (m³) del cual se ofrecen 9.09 kilogramos de materia verde, mientras el Napier con 2.27 (m³) sin embargo de este se ofrecen 65 kilogramos de materia verde en la ración alimenticia.

El cultivo de mayor agua indirecta de materia verde para los tres estratos del hato es la Morera con 2.37 m³, mientras el de menor cantidad es Napier del cual se ofrecen casi 65 kilogramos de alimento, mientras en materia seca el de mayor cantidad es agua indirecta es el zacate mombaza con 7.82 m³ del cual solo se ofrecen 4 kilogramos a las vacas, y el de menor es cubano con 1.09 m³.

De acuerdo con los cuadros 8 y 9 podemos observar que la mayor cantidad de agua indirecta es debido a la ración ofrecida a las vacas, este valor representa el 72% durante la época seca y el 79% durante la época lluviosa, este valor está directamente relacionado a la ración alimenticia y el agua cultivo de cada zacate.

Cuadro 11. Determinación de agua en alimento por todo el hato en Velesa.

Agua Alimento				
Concepto	Vacas	Novillas	Primerizas	Total
Hato	190	159	74	423
Seco	1.59	0.23	0.27	2.09
Lluvioso	13.21	0.79	0.95	14.94
Agua en alimento seco (m ³ /día hato)				357.97
Agua en alimento lluvioso (m ³ /día hato)				2704.35

En el cuadro 11 observamos que el agua indirecta consumida por todo el hato durante la época seca es de 357.97 (m³/día hato) por hato al día, mientras en la época lluviosa es de 2,704.35 (m³/día hato) por hato por día esto se debe a que en la época seca la Huella Hídrica Verde es mucho menor debido a que no suelen ocurrir lluvias.

De acuerdo con el cuadro 10 observamos que el agua en alimento en ambas épocas es mayormente afectada por la cantidad que se ofrece a las vacas, ya que esta cantidad representa el 76% del total de agua en alimento, mientras en la época lluviosa representa el 88% del total del agua en alimento

4.2.4.3. Agua Verde Hacienda El Milagro

Cuadro 12. Determinación agua utilizada en la producción de cultivos, El Milagro.

Cultivo	Requerimiento hídrico m ³ /Ha		Rendimiento (kg/Ha)		Agua cultivo (m ³ /kg)			
	Época seca	Época lluviosa	Materia verde	Materia seca	seco		lluvioso	
					Materia verde	Materia seca	Materia verde	Materia seca
Maicillo	572	1412	50000	14000	0.011	0.041	0.028	0.10
Swazi	525	949	70000	10000	0.008	0.031	0.014	0.06
Cubano	485	1507	164800	32960	0.003	0.015	0.009	0.046
Napier	615	2880	60000	15000	0.010	0.041	0.048	0.192
Estrella	870	1456	18298.18	2100	0.048	0.41	0.080	0.693

Durante la época seca se tiene menor agua de cultivo debido a que en esta época el requerimiento hídrico es suplido mediante riego (cuadro12).

En la época seca el cultivo de menor agua cultivo de materia verde es el zacate Cubano con 0.003 m³/kg, este también es el de menor agua de cultivo de materia seca con 0.015 m³/kg y el de mayor es el zacate estrella con 0.048 m³/kg, este también es el de mayor agua cultivo en materia seca con 0.41 m³/kg.

En la época lluviosa de materia verde y materia seca el de menor agua cultivo es el zacate cubano con 0.09 m³/kg y 0.046 m³/kg, mientras el de mayor agua cultivo en la época lluviosa de materia verde el de mayor agua de cultivo es el zacate Estrella con 0.08 m³/kg y en materia seca es zacate Estrella con 0.693 m³/kg.

Cuadro 13. Determinación de agua indirecta consumida por animales por medio de cultivos, El Milagro.

Cultivo	Agua en cultivo (m ³ /kg)				Ración Alimenticia (kg)		Agua indirecta (m ³)			
	Época seca		Época lluviosa				Época seca		Época lluviosa	
	Materia verde	Materia seca	Materia verde	Materia seca	Materia verde	Materia seca	Materia verde	Materia seca	Materia verde	Materia seca
Maicillo	0.011	0.041	0.028	0.10	0.00	10.23	0.00	0.42	0.00	1.03
Swazi	0.008	0.031	0.014	0.06	0.00	10.23	0.00	0.32	0.00	0.57
Cubano	0.003	0.015	0.009	0.046	0.00	10.23	0.00	0.33	0.00	1.03
Napier	0.010	0.041	0.048	0.192	0.00	10.23	0.00	0.42	0.00	1.96
Estrella	0.048	0.41	0.080	0.693	40.68	0.00	1.93	0.00	3.24	0.00
Total					40.68	40.92	1.93	1.77	3.24	5.49

De acuerdo con el cuadro 13 el agua indirecta durante la época seca es casi igual en materia verde y materia seca debido a que se proporciona casi la misma cantidad de alimento, aunque de materia verde solo se proporciona zacate Estrella, en la época seca este zacate tiene mayor agua de cultivo que los otros 4 cultivos esto debido a su rendimiento, en materia seca el de menor agua de cultivo es el zacate cubano con 0.046 m³/kg y el de mayor es de zacate Napier con 0.192 m³/kg

Durante la época lluviosa la diferencia entre la alimentación de materia verde y materia seca se vuelve más marcada con un agua indirecta menor del zacate estrella de 1.69 veces menos de materia verde con la materia seca, en materia seca el de menor agua indirecta es el Swazi con 0.57 m³ y el de mayor es el zacate napier con 1.96 m³

Cuadro 14. Determinación de agua en alimento por todo el hato en El Milagro.

Concepto	Agua en Alimento
Hato (Total de cabezas)	346
Época seca (m ³ /día)	3.42
Época lluviosa (m ³ /día)	7.83
Agua en alimento seco (m ³ /día*hato)	1182.75
Agua en alimento lluvioso (m ³ /día*hato)	2709.83

El agua en alimento durante la época seca es menor que en la época lluviosa esto debido a que en la época seca el requerimiento hídrico es menor debido a que el agua es suplida por medio de agua de riego por ello el agua verde en este momento es mucho menor, el agua en alimento en la época lluviosa es 2.35 veces mayor que en la época seca (cuadro 14).

4.2.5. Huella Hídrica Verde Hacienda Velesa y El Milagro

Cuadro 15. Determinación Huella Hídrica Verde El Milagro.

Concepto	Velesa	El Milagro
Agua en alimento época Seca	357.97 (m ³ /kg* hato)	1182.75 (m ³ /kg* hato)
Agua en alimento época Lluviosa	2704.35 (m ³ /kg* hato)	2709.83 (m ³ /kg* hato)
Producción de leche	4,131 (kg/día*hato)	3,200 (kg/día*hato)
Huella Hídrica Verde época Seca	0.08 (m ³ /kg)	0.37 (m ³ /kg)
Huella Hídrica Verde época Lluviosa	0.63 (m ³ /kg)	0.85 (m ³ /kg)

En Hacienda Velesa al día se utilizan $0.07 \text{ m}^3/\text{kg}$ de leche durante la época seca, mientras en la época lluviosa son $0.34 \text{ m}^3/\text{kg}$ de leche, este valor está directamente influenciado por el agua en alimento seco y agua en alimento lluvioso, y la producción dentro de todo el hato.

En Hacienda El Milagro se utilizan $0.55 \text{ (m}^3/\text{kg)}$ al día, durante la época seca, mientras en la época lluviosa es $1.14 \text{ (m}^3/\text{kg)}$, durante la época lluviosa la Huella Hídrica Verde es mayor que en la época seca.

Se utilizan $1.14 \text{ (m}^3/\text{kg)}$ en la época lluviosa este valor está directamente influenciado por las características de cada cultivo, sus requerimientos hídricos, rendimiento, como es ofrecido a los animales (materia verde y materia seca) y ración alimenticia.

4.2.6. Comparativo de Huella Hídrica Verde Hacienda Velesa y Hacienda El Milagro

Cuadro 16. Comparativo de Huella Hídrica Verde entre Haciendas.

Huella Hídrica Verde		
Huella Hídrica verde	Velesa	El Milagro
Época seca (m^3/kg)	0.08	0.37
Época lluviosa (m^3/kg)	0.63	0.85

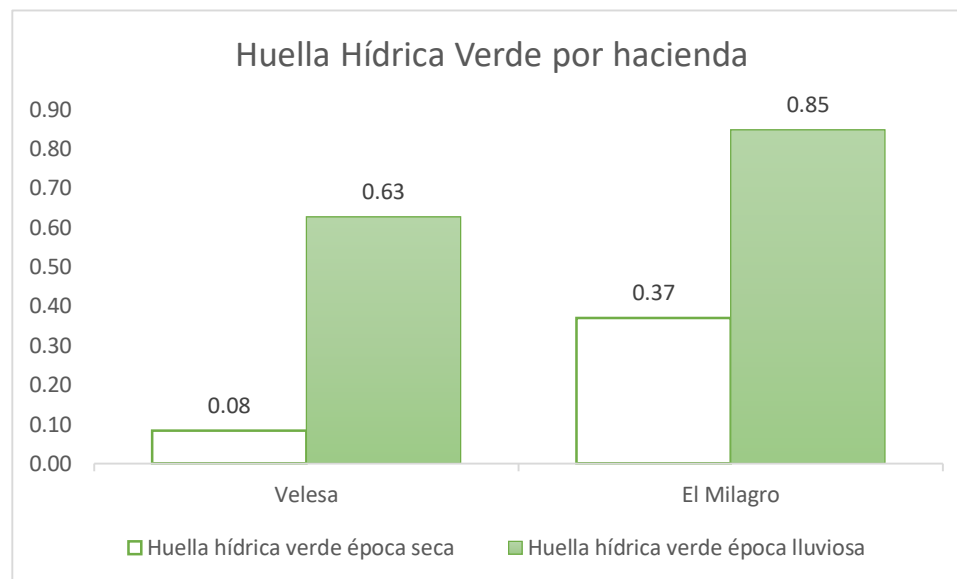


Figura 3. Gráfico comparativo de Huella Hídrica Verde por hacienda por época.

De acuerdo con el cuadro 16 y la figura 3 observamos que en la ganadería Velesa la Huella es menor que en El Milagro, debido a factores tecnológicos que tienen una gran incidencia sobre el resultado de la Huella Hídrica desde la ración alimenticia que se le da a los

animales como el tipo de alimento que se proporciona sea este materia seca o materia verde, debido al requerimiento hídrico del cultivo y sus rendimientos.

Una de las principales diferencias en las Huellas es debido al tipo de alimento y la cantidad de alimento, ya que El Milagro se ofrece una mayor cantidad de alimento a los animales que en Velesa, además, en Velesa se ofrecen distintos tipos de ración alimenticia de acuerdo con la edad de los animales, En El Milagro se está ofreciendo 2.19 veces más alimento que en hacienda Velesa.

Cuadro 17. Comparativo de investigaciones y valores encontrados de Huella Hídrica Verde.

Huella Hídrica verde	Unidades	Investigación	Huella Hídrica verde Velesa		Huella Hídrica verde El Milagro	
			Época seca	Época lluviosa	Época seca	Época lluviosa
Mekonnen y Hoekstra	(m ³ /kg)	0.79-1.09	0.08	0.63	0.37	0.85
Corredor Camargo		1.994				
Osorio Ulloa		1.18 (0.537 m ³ /lb)				

Los resultados obtenidos en hacienda Velesa y El Milagro son menores que el encontrado por Osorio Ulloa (2013) de 1.18 m³/kg (0.537 m³ de agua/lb de leche), quien también explica que este valor está fuertemente relacionado con la tasa de evapotranspiración de cultivo, manejo y ración alimenticia ofrecida a los animales, su investigación se realizó en Chile, sin embargo Corredor Camargo *et al* (2017), quien realizó su investigación en Tunja Boyacá Colombia, obtuvo una Huella Hídrica Verde de 1.994 m³ agua/kg de leche, tanto la Huella de Velesa como el Milagro se encuentran bajo este valor mientras según Mekonnen y Hoekstra (2011), la Huella Hídrica Verde debe ser entre 0.79- 1.09 m³/kg de leche, para el caso de esta investigación el resultado en m³/Kg de leche fue de 0.07 y 0.35 para la hacienda “Velesa” es decir que se encuentra dentro del rango propuesto por ellos en ambas épocas del año al igual que en hacienda El Milagro (cuadro 17)

4.3. Descripción del agua azul utilizada en los procesos productivos de leche

En hacienda Velesa el consumo de agua azul es debido a: microclima, riego por gravedad y consumo directo de los animales, mientras en “El Milagro” se tiene riego por gravedad, riego por aspersión y consumo directo de los animales.

Cuadro 18. Consumo de agua azul por hacienda.

Agua azul		
	Velesa	El Milagro
Concepto	m ³ /día	m ³ /día
Microclima	3.696	N/A
Riego por gravedad	16190.49	13453.67
Riego por Aspersión	N/A	444.58
Manejo de establo	1.5	1.82
Consumo directo del animal	4.77	4.76
Total	16200.46	13904.83

Según cuadro 18 la ganadería “Velesa” el dato de microclima es debido a que se utilizan 46 micro aspersores que junto a ventiladores genera un microclima que provee a las vacas una temperatura y humedad relativa óptima para aprovechar su alimento y traducirlo a kg de leche al día, los micro aspersores se utilizan 4 horas al día, en horario de 10 de la mañana a 2 de la tarde, ya que se presentan mayores temperaturas en ese momento, con un consumo de agua de 924 litros por hora y 1,349.04 m³ de agua al año (figura A-8). Según González Espinoza et al. (2016) el uso de microclima durante cuatro ciclos de una hora (10:00, 12:00, 14:00 y 16:00), con ventilación y agua aumenta la producción de leche durante la época seca en 1.14 kg/día por cabeza.

Riego por gravedad: se riega una extensión de 32 manzanas por gravedad, distribuidas por medio de 3 canales principales 1 con área de 0.18 m² y un caudal de 5,598.72 m³ al día, canal 2 con área de 0.39 m² y caudal de 9,213 m³ por día, y un canal 3 con área de 0.11 m² y caudal de 1,378.77 m³ al día, el riego se realiza durante 3 días a la semana, con un consumo de agua diario de 16,190.49 m³ y un caudal semanal de 48,571.47 m³.

Consumo de agua por animal se ha estimado basados en la investigación de Herdt (2017) y Duarte (1997) cuadro A-4, con un consumo de agua diario de 4.77 m³ y un consumo anual de 1,741.05 m³. Según Seguí et. al. (2004), una vaca en producción necesita al menos 3 litros de agua por kilogramo de leche a 15° Celsius, pero cuando la temperatura es superior utiliza, casi el doble de agua y si se reduce la ingesta de agua la producción podría de caer en un 16%.

Ganadería “El Milagro” el riego por gravedad del cuadro 15 es debido a que se riegan 50 manzanas por gravedad (5 días a la semana, por medio de dos caudales principales, canal 1 con área de 0.076 m² y un caudal diario de 6,106.75 m³ al día y un canal 2 de área 0.174 m² y un caudal diario de 7346.92 m³, con un caudal total al día de 13,453.67.

Riego por aspersión: se realiza con aspersores “Senninger 7025 RD”, boquilla n°20 con una presión de 3.45 bar, con un caudal de 4631 Litros por hora, el riego se realiza durante 8 horas 3 veces por semana, se utilizan 12 aspersores y se riegan 10 manzanas, por tanto, se utilizan, 444.58 m³ al día, 1,333.73 m³ por semana y 65,544.49 m³ al año.

Consumo de agua por animal se ha estimado basados en la investigación de Duarte (1997) y Herdt (2017) (cuadro A-4), con un consumo de agua diario de 4.76 m³ y un consumo anual de 1,737.40 m³.

El manejo del establo se calculó de acuerdo con la cantidad de animales y su edad (cuadro A-4) y los datos obtenidos por Martínez Mamian *et. al.* (2016) (cuadro 2).

4.3.1. Calculo agua azul en alimento Hacienda Velesa

Cuadro 19. Determinación del agua utilizada en la producción de cultivos, mediante riego por gravedad, Velesa.

Cultivo	Requerimiento hídrico (m ³ /Ha)			Rendimiento (kg/Ha)		Agua cultivo (m ³ /kg)			
	Época seca	Época Lluviosa	Riego por gravedad	Materia verde	Materia seca	Época seca		Época Lluviosa	
						Materia verde	Materia seca	Materia verde	Materia seca
Swazi	2842	262	12142.80	70000	10000	0.041	0.28	0.004	0.026
Cubano	3594	331	12142.80	164800	32960	0.022	0.11	0.002	0.010
Mombaza	2752	253	12142.80	17600	3520	0.156	0.78	0.014	0.072
Napier	2080	265	9107.10	60000	15000	0.035	0.14	0.004	0.018
Morera	1781	253	9107.10	15000	2550	0.119	0.70	0.017	0.099

De acuerdo con el cuadro 19 el zacate de menor agua en cultivo durante la época seca es zacate cubano con 0.022 m³/kg y 0.11 m³/kg de materia verde y materia seca respectivamente, y zacate Mombaza es el de mayor agua en cultivo con 0.156 m³/kg y 0.78 m³/kg en materia verde y materia seca.

En la época lluviosa en materia verde el de menor agua en cultivo es cubano con 0.002 m³/kg y el de mayor es la Morera con 0.017 m³/kg, mientras en materia seca el de menor agua cultivo es cubano con 0.010 m³/kg y el de mayor es la Morera con 0.099 m³/kg.

El zacate cubano es el que menor cantidad de agua utiliza tanto en materia verde como seca, podría convertirse en una buena oportunidad para disminuir el agua azul el utilizar en mayor cantidad este tipo de zacate, mientras la Morera utiliza mayor cantidad de agua tanto en materia verde como seca. Ambos factores están ampliamente determinados debido a rendimientos, ciclo de corte y tiempo de riego.

Cuadro 20. Determinación del agua consumida indirectamente por animal, durante la época seca utilizando riego por gravedad, Velesa.

Velesa época seca (riego por gravedad)											
Cultivo	Agua en cultivos		Ración Alimenticia (kg)				Agua indirecta (m ³)				
	(m ³ /kg)		Vacas		Novillas	Primeriza	Vacas		Novillas	Primerizas	Total
	Materia Verde	Materia seca	Materia Verde	Materia seca	Materia verde	Materia verde	Materia Verde	Materia seca	Materia verde	Materia verde	
Swazi	0.041	0.28	0.0	4.5	0.0	0.0	0.00	1.29	0.00	0.00	1.29
Cubano	0.022	0.11	0.0	4.5	0.0	0.0	0.00	1.09	0.00	0.00	1.09
Mombaza	0.156	0.78	0.0	4.5	0.0	0.0	0.00	7.82	0.00	0.00	7.82
Napier	0.035	0.14	15.5	0.0	22.7	27.3	0.54	0.00	0.79	0.95	2.27
Morera	0.119	0.70	9.1	0.0	0.0	0.0	2.37	0.00	0.00	0.00	2.37
Total							2.91	10.20	0.79	0.95	14.84

Se observa en el cuadro 20 que el zacate Mombaza es el que tiene mayor cantidad de agua indirecta 7.82 m³ del cual se proporcionan 4.5 kilogramos de este cultivo a todo el hato, el tercer mayor es el zacate Napier con 2.27 m³, del cual se proporcionan 65.5 kilogramos a todo el hato, existiendo una diferencia de 14 veces más alimento proporcionado de zacate napier que zacate Mombaza, y la diferencia de agua indirecta es de 5.55 m³.

Los de menor agua indirecta son cubano con 1.09 m³, con 4.5 kilogramos de materia seca y Swazi con 1.29 m³, ofreciéndose 4.5 kilogramos de materia seca, mientras la diferencia de agua indirecta es de 0.20 m³, el agua indirecta total en la alimentación es de 4.65 m³, de materia verde y de materia seca 10.20 m³, proporcionados en el alimento.

Cuadro 21. Determinación del agua consumida indirectamente por animal, durante la época lluviosa, utilizando riego por gravedad, Velesa.

Velesa época lluviosa (riego por gravedad)											
Cultivo	Agua en cultivos		Ración Alimenticia (kg)				Agua indirecta (m ³)				Total
	(m ³ / kg)		Vacas		Novillas	Primeriza	Vacas		Novillas	Primerizas	
	Materia Verde	Materia seca	Materia Verde	Materia seca	Materia verde	Materia verde	Materia Verde	Materia seca	Materia verde	Materia verde	
Swazi	0.002	0.012	0.00	4.55	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.12
Cubano	0.002	0.010	0.00	4.55	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.10
Mombaza	0.014	0.072	0.00	4.55	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00	0.72
Napier	0.004	0.018	15.45	0.00	22.7	27.3	0.07	0.00	0.10	0.12	0.29
Morera	0.017	0.099	9.09	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.34
Total							0.41	0.94	0.10	0.12	1.56

De acuerdo con el cuadro 21 durante la época lluviosa el agua indirecta es mucho menor debido a que los requerimientos de agua de cultivo son menores, ya que en esta época estos suelen ser cubiertos mediante las precipitaciones. El cultivo de menor agua indirecta es cubano con 0.10 m³, del cual se ofrecen 4.55 kilogramos de alimento seco, mientras el tercer mayor agua indirecta es el napier con 0.29 m³, con 65.45 kilogramos de alimento ofrecido de materia verde.

Cuadro 22. Determinación de agua en alimento consumida por todo el hato, mediante riego por gravedad, Velesa.

Concepto	Vacas	Novillas	Primerizas	Total
Hato	190	159	74	423
Época seca (m ³ /día)	13.11	0.79	0.95	14.84
Época lluviosa (m ³ /día)	1.34	0.10	0.12	1.56
Agua en alimento seco (m ³ /día*hato)				2686.30
Agua en alimento lluvioso (m ³ /día*hato)				280.21

Son las vacas las que utilizan mayor cantidad de agua por alimento consumido, esto es debido a que necesitan mayor cantidad de nutrientes en su dieta para la producción de leche, durante la época seca el agua en alimento es mayor debido a que no existen muchas precipitaciones y los requerimientos hídricos del cultivo son suplidos mediante riego, tal y como se observa en el cuadro 22 la diferencia entre la época seca y lluviosa es de 9.59 veces más en la época seca que lluvioso

4.3.2. Calculo agua azul en alimento Hacienda El Milagro

Riego por gravedad

Cuadro 23. Determinación de agua utilizada en cultivo, riego por gravedad, El Milagro.

Cultivo	Requerimiento hídrico (m ³ /Ha)			Rendimiento	Agua cultivo (m ³ /kg)	
	Época seca	Época Lluviosa	Riego por gravedad	Materia seca (kg/Ha)	Época seca	Época Lluviosa
Napier	2564	1584	8072.19	15000	0.17	0.11
Swazi	2770	1664	8072.19	17000	0.16	0.10
Cubano	3217	1247	8072.19	32960	0.10	0.04
Maicillo	2904	1105	8072.19	14000	0.21	0.08

Según el cuadro 23 los valores de agua de cultivo están directamente relacionados con el rendimiento esperado y el requerimiento hídrico de cada cultivo, durante la época seca el zacate cubano es el que necesita menor cantidad de agua por libra de materia seca con 0.10 m³/kg, mientras el Maicillo es el de mayor requerimiento con 0.21 m³/kg. La diferencia entre Swazi y Napier es de 0.01 m³/kg y de Napier a Maicillo 0.04 m³/kg, estos son los cultivos que menor cantidad de agua requieren para la producción de materia seca.

Durante la época lluviosa el zacate Cubano es el de menor requerimiento de agua cultivo con 0.04 m³/kg y el de mayor es el Napier con 0.11 m³/kg, cabe destacar que tanto Napier Swazi y Maicillo no se encuentran muy distanciados entre si durante la época seca y la época lluviosa.

Cuadro 24. Consumo de agua indirecta por medio de los forrajes, riego por gravedad, El Milagro.

Cultivo	Agua cultivo (m ³ /kg)		Ración alimenticia Materia seca (kg)	Agua indirecta (m ³)		
	Época seca	Época Lluviosa		Época seca	Época Lluviosa	Total, por cultivo
Napier	0.17	0.11	10.23	1.75	1.08	2.83
Swazi	0.16	0.10	10.23	1.67	1.00	2.67
Cubano	0.10	0.04	10.23	1.02	0.41	1.43
Maicillo	0.21	0.08	10.23	2.12	0.81	2.93
Total			40.92	7.73	3.74	11.47

De acuerdo con el cuadro 24 el cultivo del cual se utiliza mayor cantidad de agua durante la época seca es el Maicillo con 2.12 m³, mientras el de menor agua indirecta es el cubano con 1.02 m³, mientras en la época lluviosa el de mayor requerimiento hídrico es el zacate Napier con 1.08 m³, y el de menor requerimiento es el cubano con 0.41 m³. El cultivo de

mayor agua indirecta durante ambas épocas es el Maicillo con 2.93 m³, mientras el de menor fue cubano con 1.43 m³.

El cultivo del cual se utiliza mayor agua indirecta azul durante ambas épocas es el Maicillo con 2.93 m³, mientras el de menor es el cubano con 1.43 m³, de acuerdo con el cuadro 24 la diferencia entre zacate napier y Swazi es de 0.64 m³, y entre Swazi y maicillo es de 1.04 m³, es decir que no existe una diferencia realmente marcada entre estos zacates.

En el cuadro 24 no hay un cambio en la ración alimenticia de ningún cultivo es decir que los resultados obtenidos están directamente influenciados por el agua de cultivo tal y como se muestra en el cuadro 23.

Riego por aspersión.

Cuadro 25. Determinación agua en cultivo, riego por aspersión, El Milagro.

Cultivo	Riego aspersión (m ³ /Ha)			Rendimiento	Agua cultivo (m ³ /kg)	
	Época seca	Época Lluviosa	Riego usado	Materia verde (kg/Ha)	Época seca	Época Lluviosa
Estrella	399	248	133.38	18298.18	0.022	0.014

En hacienda El Milagro solo se tiene un cultivo mediante riego por aspersión el cual durante la época seca utiliza 0.022 m³/kg de agua cultivo y en la época lluviosa 0.014 m³/kg, se puede observar una amplia diferencia de agua de cultivo del cuadro 25 y el cuadro 24, debido al tipo de riego utilizado.

Cuadro 26. Determinación agua indirecta, riego por aspersión, El Milagro.

Cultivo	Agua cultivo (m ³ /kg)		Ración alimenticia	Agua indirecta (m ³)	
	Época seca	Época Lluviosa	Materia seca (kg)	Época seca	Época Lluviosa
Estrella	0.022	0.014	0.007	0.89	0.55

Comparando los resultados con los obtenidos en el cuadro 25 podemos observar que se tiene menor agua de cultivo utilizando riego por aspersión, ya que prácticamente se está proporcionando la misma cantidad de alimento en ambos casos la diferencia es el tipo de materia que se ofrece en este caso la materia verde disminuye el agua de cultivo y el tipo de riego,

De acuerdo con el cuadro 21 durante la época seca se ofrecen 9.65 m³ de agua indirecta, mientras en cuadro 26 se tiene durante la misma época un agua indirecta de 0.89 m³, es decir cambiando el tipo de alimento (materia seca a materia verde) y el tipo de riego se disminuye en m³, el agua indirecta es decir se disminuye hasta 8.76 m³, el agua indirecta utilizando este tipo de alimentación, durante la época lluviosa también se disminuye pasando de 4.48 m³ a 0.55, es decir una diferencia de 3.93 m³ de agua indirecta menos.

Agua en alimento según tipo de riego El Milagro.

Cuadro 27. Determinación del agua en alimento según tipo de riego, El Milagro.

Agua alimento			
Concepto		m ³	Agua en Alimento
Hato		346	(m ³ /día*hato)
Riego por gravedad	Época seca	7.73	2675.32
	Época lluviosa	3.74	1293.89
Riego por aspersión	Época seca	0.89	306.9
	Época lluviosa	0.55	190.8

Tal y como se observa en el cuadro 27 durante la época seca para ambos tipos de riego el agua en alimento fue mayor que en la época lluviosa, sin embargo para el riego por gravedad se tiene una cantidad de agua en alimento mayor que en riego por aspersión (9.8 veces más) esto se debe al tipo de alimento ofrecido y la extensión cultivada de cada uno (cuadro 3), en el riego por gravedad la diferencia de la época seca con la lluviosa es de 1787.52 m³/día*hato, mayor en la época seca, mientras utilizando el riego por aspersión entre épocas la diferencia es de 0.34 m³/día*hato, mayor en la época seca, que en la época lluviosa.

Debido a que en la época lluviosa hay muchas precipitaciones en ese tiempo no es muy necesario el riego por ello existe tanta diferencia entre épocas.

4.3.3. Huella Hídrica Azul “Hacienda El Milagro”

Cuadro 28. Determinación Huella Hídrica Azul El Milagro.

Concepto		Velesa	El Milagro
Microclima		3.696 (m ³ /día)	-----
Agua alimento Gravedad	Época seca	2686.30 (m ³ /día*hato)	2675.32 (m ³ /día*hato)
	Época Lluviosa	280.21 (m ³ /día*hato)	1293.89 (m ³ /día*hato)
Agua alimento Aspersión	Época seca	-----	306.9 (m ³ /día*hato)
	Época Lluviosa	-----	190.8 (m ³ /día*hato)
Consumo directo del hato		4.77 (m ³)	4.01 (m ³)
Manejo de establo		1.5 (m ³)	1.5 (m ³)
Producción kg leche		4313 (kg/día hato)	3200 (kg/día hato)
Huella Hídrica Azul Milagro Seco		0.63 (m ³ /kg)	0.93 (m ³ /kg)
Huella Hídrica Azul Milagro Lluvioso		0.07 (m ³ /kg)	0.47 (m ³ /kg)

Hacienda Velesa tiene una Huella Hídrica Azul de 0.63 m³/kg durante la época seca y 0.07 m³/kg durante la época lluviosa, estos datos están muy relacionados con la cantidad de alimento, el tipo de alimento proporcionado, las horas al día de uso del microclima, el consumo directo de agua de los animales, el manejo al momento de la limpieza y sanitización de los equipos y salas de ordeño y potreros.

La Huella Hídrica Azul para hacienda El Milagro es de 0.93 m³/kg durante la época seca, mientras en la época lluviosa esta disminuye hasta 0.47 m³/kg, este valor está directamente relacionado con la cantidad de leche producida, el tipo de alimento, la cantidad de alimento ofrecida a los animales, consumo directo del hato, cantidad de cabezas en el hato y el manejo de las salas de ordeño y potreros.

4.3.4. Comparativo de Huella Hídrica Azul para Hacienda Velesa y Hacienda El Milagro

Cuadro 29. Comparativo de Huella Hídrica Azul entre haciendas.

Huella Hídrica Azul		
Huella Hídrica Azul	Velesa (m ³ /kg)	El Milagro (m ³ /kg)
época seca	0.63	0.93
época lluviosa	0.07	0.47

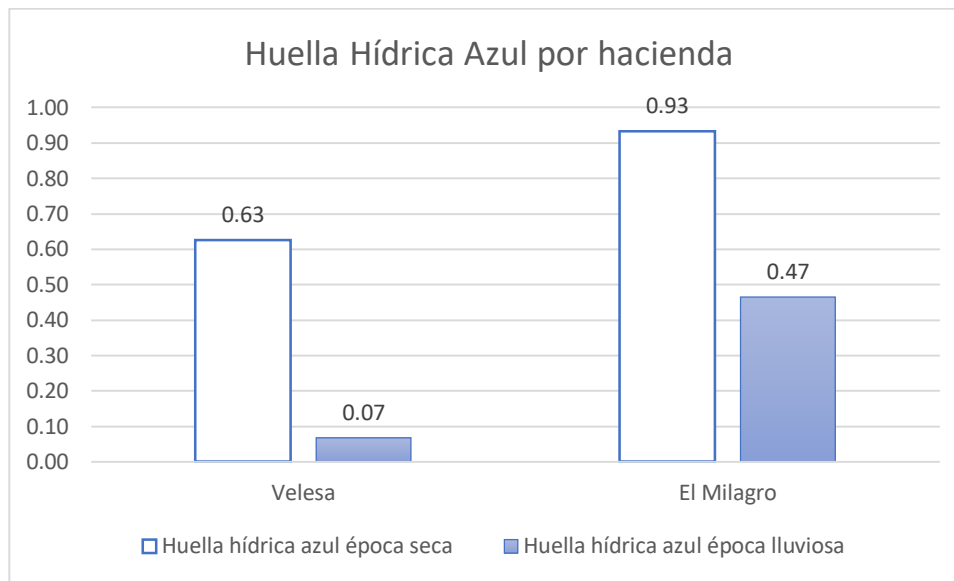


Figura 4. Gráfico comparativo Huella Hídrica Azul.

La Huella Hídrica Azul se ve grandemente afectada por las épocas del año si es época seca el requerimiento hídrico es mayor debido a que no hay precipitaciones, sin embargo, en la época lluviosa el requerimiento es menor debido a que la demanda hídrica puede ser cubierta solamente por las precipitaciones, aunque siempre es necesario aplicar riego, dependiendo de factores agroclimáticos (calculados en Cropwat).

El cálculo de la Huella Hídrica Azul se ve más afectada por los factores tecnológicos, como el tipo de riego, el tiempo de riego semanal y la extensión destinada para el mismo, aunque en ambas haciendas se utiliza el riego por gravedad por inundación en “El Milagro” se está utilizando más agua azul debido a que se tienen 50 manzanas destinadas a cultivos para alimentación de ganado y el riego se realiza durante 5 días continuos, mientras en “Velesa” tienen 32 manzanas destinadas a cultivos para alimentación de ganado y riegan durante 3 días únicamente, el riego por aspersión utiliza menor cantidad de agua que el riego por inundación o gravedad debido a que se utiliza menor cantidad de agua para suplir requerimientos hídricos (cuadro 23 y 25), el agua de microclima, agua consumida directamente y agua de servicios no tienen un impacto muy significativo en la Huella Hídrica azul.

Cuadro 30. Comparativo de valores de Huella Hídrica Azul con otras investigaciones.

Huella Hídrica Azul	Unidades	Investigaciones	H. Velesa		H. Milagro	
			Época seca	Época lluviosa	Época seca	Época lluviosa
INTA	(m ³ /kg)	0.00137	0.63	0.07	0.93	0.47
Corredor Camargo		0.197				
Osorio Ulloa		0.09 (0.0947 m ³ /lb)				

Según INTA (2015) La Huella Hídrica Azul se obtiene del agua consumida en la instalación de ordeño (agua bebida directamente) y el agua incorporada al producto corregida por % de grasa y proteína, los valores de agua azul en este caso fueron de 0.00137 m³ de agua /kg de leche, Corredor Camargo et al. (2017) tiene 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 dependiendo del contenido de grasa en la leche, tipología del terreno, tipo de alimentación, sistemas de riego, áreas destinadas para forraje, mientras Osorio Ulloa (2013), para el cálculo de esta Huella considero el agua bebida por los animales y obtuvo un valor de 0.09 m³/lb de leche. Comparando los valores bibliográficos con los resultados de esta investigación durante la época seca ninguno se encuentra dentro de estos rangos, esto se debe mayormente a la metodología utilizada en cada investigación ya que en ninguna se toma en cuenta el riego y tal como se muestra en el cuadro 29 la mayor cantidad de agua azul es debido a los diferentes tipos de riego utilizados.

4.4. Caracterización de tratamiento de aguas residuales

4.4.1. Resultado de análisis de aguas residuales

Cuadro 31. Resultado de análisis de aguas residuales.

Ubicación	Solidos totales disueltos	Solidos sedimentales	DBO5 (mg/L)	% Saturación
Velesa	677	1	78	3
Entrada "El Milagro"	534	6	369	21.4
Salida "El Milagro"	182.8	0.8	18	24.8

Según la norma salvadoreña de aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor NSO 13.49.01:09 para la producción agropecuaria (cuadro A-5), el parámetro de sólidos suspendidos totales es de 150 (mg/l), con lo cual podemos observar que ninguna de las hacienda cumple con este parámetro, mientras los sólidos sedimentales el valor máximo permitido según la norma es de 150 (mg/l), ambas haciendas cumplen con este límite permitido, el DBO_5 lo máximo permitido es de 800 (mg/L), ambas ganaderías están bajo el límite máximo permitido, luego el porcentaje de saturación para el cual no hay un rango dentro de la normativa, (figura A-10).

4.4.2. Huella Hídrica Gris puntual Hacienda Velesa y Hacienda El Milagro

Cuadro 32. Determinación Huella Hídrica Gris puntual Hacienda Velesa y Hacienda El Milagro.

Concepto	Hacienda Velesa	Hacienda El Milagro
Efl = Flujo efluente (m^3/s) =	0.25	0.12
Cefl = Concentración del contaminante en el efluente (vertido)(mg/l) =	78	18
Afl = Flujo afluente(m^3/s) =	2.1	2.1
Cact = Concentración real del agua de entrada (mg/l) =	1	1
Cmax = Concentración máxima permitida del contaminante en una fuente de agua (NSO)(mg/l) =	800	800
Cnat = Concentración natural del contaminante en el cuerpo de agua receptor (rio)(mg/l) =	5	5
Agua Gris (m^3/kg leche)	0.0002726	0.0000081

Solamente la hacienda “El Milagro” contaba con tratamiento primario de aguas residuales el cual eran 3 lagunas de oxidación, de las cuales solo utilizaban 2 mientras la restante era limpiada, en hacienda “Velesa”, se estaba construyendo un biodigestor al momento de realizar la investigación y no contaban con ningún tratamiento de aguas residuales.

Como resultado de Huella Hídrica Gris puntual, Hacienda “El Milagro” 0.0000081 m^3/kg leche, Hacienda “Velesa” 0.0002726 m^3/kg leche. El volumen de agua de salida en Hacienda “El Milagro” es menor que “Velesa” al igual que su carga de contaminante esto debido principalmente a que en “El Milagro” cuentan con un tratamiento primario el cual reduce la carga contaminante en casi 21 veces, durante el proceso desde la entrada del agua hasta su salida (cuadro 32).

Las características del cuerpo receptor fueron tomadas del informe nacional del estado del medioambiente 2017, según MARN (2018), tomando el río Talnique con una concentración natural (DBO_5) 5 mg/l.

4.5. Huella Hídrica Gris difusa

4.5.1. Huella Hídrica Gris difusa Hacienda Velesa y Hacienda El Milagro

Para llevar a cabo el cálculo se utilizaron datos de fertilizante, aplicación por hectárea y la extensión por cultivo (cuadro A-6 y A-7)

Cuadro 33. Huella Hídrica Gris difusa Hacienda Velesa y Hacienda El Milagro.

Concepto	Velesa	El Milagro
Lixiviación (%)	10	10
Cmax (Kg/m ³)	10	10
Cnat (Kg/m ³)	0	0
Huella hídrica gris difusa	0.0002386 (m ³ /Kg)	0.0003771 (m ³ /Kg)

La importancia de la Huella Hídrica Gris difusa es el indicador que se refiere a la contaminación difusa se proveniente de la infiltración-percolación del resto de retornos de riego hacia las aguas subterráneas (IICA 2016).

Los resultados obtenidos de Huella Hídrica Gris difusa en Hacienda Velesa 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 y con ella a la cantidad de fertilizante aplicado, debido a que en El Milagro se cultivan 1.88 veces más extensión de terreno que en Velesa.

4.5.2. Huella Hídrica Gris

Cuadro 34. Huella Hídrica Gris en haciendas.

Huella Hídrica Gris	Velesa	El Milagro
Huella Hídrica Gris difusa	0.0002386	0.0003771
Huella Hídrica Gris puntual	0.002353	0.001853
Huella Hídrica Gris	0.0026	0.0022

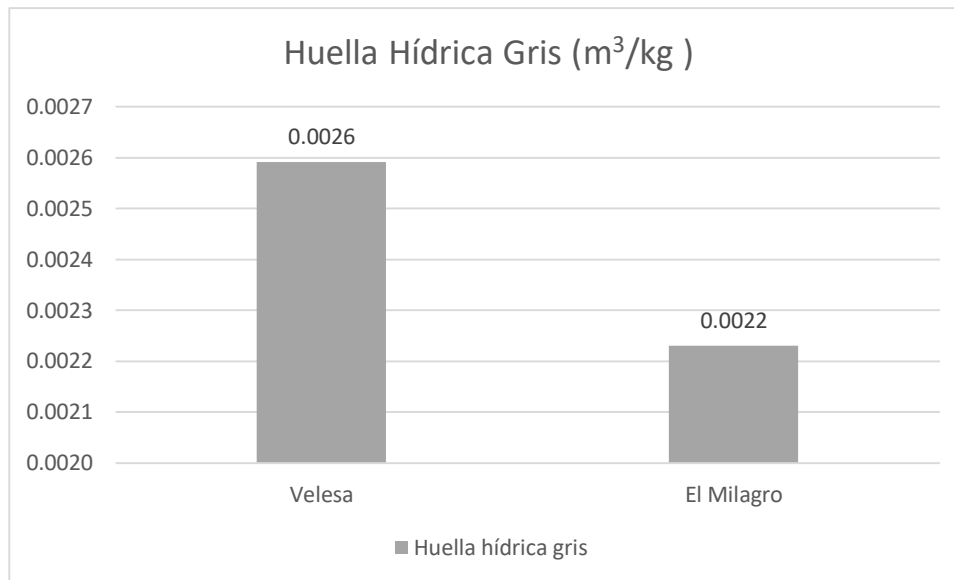


Figura 5. Gráfico de Huella Hídrica Gris difusa.

Los resultados de Huella Hídrica son bastante bajos comparados con las otras huellas, aunque su impacto está más relacionado con la contaminación del recurso hídrico, en cuanto a la Huella Hídrica Gris puntual (cuadro 33 y cuadro 34) observamos que relaciona la calidad con la que el agua sale en la hacienda y la calidad que lleva el afluente donde será recibido, además la Huella Hídrica Gris difusa expresa la contaminación por lixiviación o percolación del nitrógeno aplicado a los diferentes cultivos por hacienda.

Según Corredor Camargo et al, la Huella Hídrica Gris es de 0.196 m³/kg de leche de acuerdo con el nitrógeno lixiviado por los fertilizantes y el nitrógeno lixiviado por excretas, mientras Osorio Ulloa (2013) presenta un valor de 0.082 m³/kg de leche tomando en cuenta únicamente el nitrógeno lixiviado por fertilizantes, ambos valores son menores que los obtenidos por las haciendas El Milagro y Velesa esto puede ser debido al manejo agronómico de los cultivos, tecnologías utilizadas en el manejo de aguas residuales y a las características del suelo

4.6. Huella Hídrica

4.6.1. Huella Hídrica Hacienda Velesa

Cuadro 35. Huella Hídrica Hacienda Velesa.

Hacienda Velesa				
Concepto	Época seca	Porcentaje	Época lluviosa	Porcentaje
	m ³ /kg	%	m ³ /kg	%
Huella Hídrica Verde	0.08	11.68	0.63	89.96
Huella Hídrica Azul	0.63	87.96	0.07	9.66
Huella Hídrica Gris	0.0026	0.62	0.0026	0.67
Huella Hídrica	0.7108	100	0.6970	100

4.6.2. Huella Hídrica Hacienda El Milagro

Cuadro 36. Huella Hídrica Hacienda El Milagro.

Hacienda El Milagro				
Concepto	Época seca	Porcentaje	Época lluviosa	Porcentaje
	m ³ /kg leche	%	m ³ /kg leche	%
Huella Hídrica Verde	0.37	28.31	0.85	65.43
Huella Hídrica Azul	0.93	71.54	0.47	35.47
Huella Hídrica Gris	0.0019	0.15	0.0019	0.13
Huella Hídrica	1.3052	100	1.3144	100

4.6.3. Comparativo Huella Hídrica Hacienda Velesa y Hacienda El Milagro

Cuadro 37. Comparativo de Huella Hídrica entre haciendas.

Concepto	Velesa (m ³ /kg)		El Milagro (m ³ /kg)	
	Época seca	Época lluviosa	Época seca	Época lluviosa
Huella Hídrica verde	0.08	0.63	0.37	0.85
Huella Hídrica Azul	0.63	0.07	0.93	0.47
Huella Hídrica Gris	0.0026	0.0026	0.0019	0.0019
Huella Hídrica	0.7108	0.6970	1.3055	1.3147

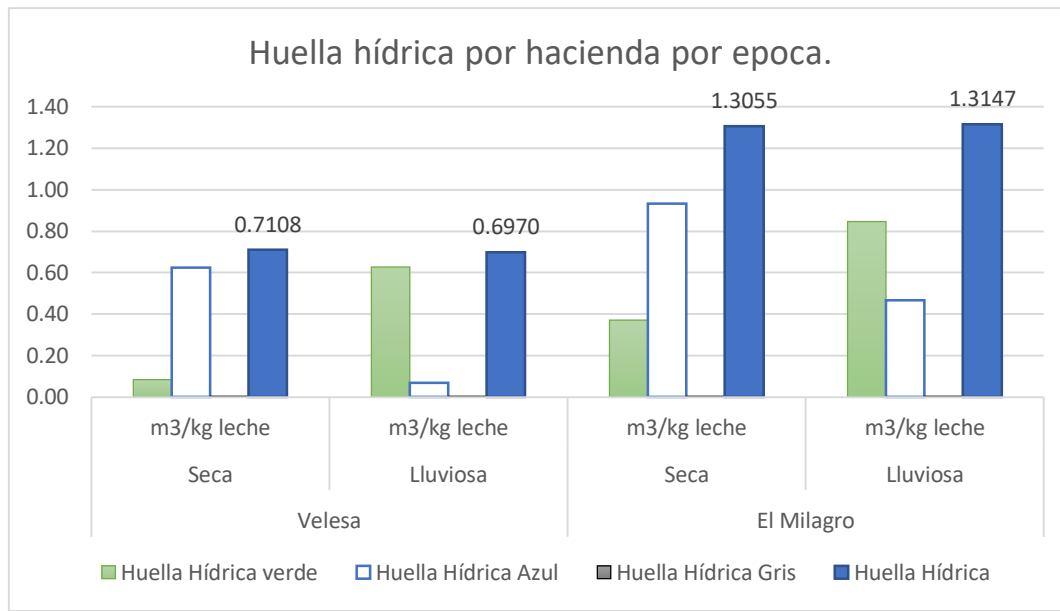


Figura 6. Gráfico comparativo de Huellas Hídricas entre haciendas.

De acuerdo con la figura 6 podemos observar que la Huella Hídrica en hacienda El Milagro es mayor que es Velesa en $0.5947 \text{ m}^3/\text{kg}$ en época seca y $0.6177 \text{ m}^3/\text{kg}$ en época lluviosa, en época seca la Huella Hídrica más representativa es la Huella Hídrica Azul y en época lluviosa la más representativa es la Huella Hídrica Verde por cada hacienda.

De acuerdo con el cuadro 35 por época existe una diferencia de $0.0138 \text{ m}^3/\text{kg}$, en época seca la más representativa es la Huella Hídrica Azul con 82.47% y en época lluviosa la Huella Hídrica Verde con 87.96% , mientras la Huella Hídrica Gris es la de menor representatividad con un 0.62 y 0.67% en época seca y lluviosa respectivamente.

En cuadro 36 podemos observar que la diferencia entre la época seca y lluviosa es de $0.0092 \text{ m}^3/\text{kg}$, en la época seca la de mayor representatividad es la Huella Hídrica Azul con un 71.54% y en época lluviosa es la Huella Hídrica Verde con 65.43% , mientras la Huella Hídrica Gris es la de menor representatividad en cada época con 0.15% durante época seca y 0.13% época lluviosa.

La diferencia entre época seca y lluviosa en hacienda Velesa es de $0.0301 \text{ m}^3/\text{kg}$, mientras en hacienda El Milagro la diferencia es de $0.0519 \text{ m}^3/\text{kg}$ 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 (cuadro 37).

la Huella Hídrica Azul es directamente afectada por factores tecnológicos como: tipo de riego utilizado en ambas haciendas y por la cantidad de alimento proporcionado a los

animales, a su vez la Huella Hídrica Verde también posee un impacto bastante grande y está afectada mayoritariamente por los factores agroclimáticos de la zona, así como también al 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 (cuadro 36).

Según Osorio Ulloa (2013) la Huella Hídrica Verde representa entre el 93% - 95% y el resto para la Huella Hídrica Azul y Huella Hídrica Gris con una Huella Hídrica total de $0.712 \text{ m}^3/\text{kg}$ de leche, solamente en hacienda El Milagro durante la época lluviosa se aleja un poco de este resultado en $0.228 \text{ m}^3/\text{kg}$, sin embargo hacienda Velesa se encuentra por debajo de este valor, sin embargo los valores de Huella Hídrica gris en ambas haciendas son mayores al planteado por este autor ya que en ambos casos superan el 0.4%.

Según Corredor Camargo et. al. (2017) presenta una Huella Hídrica Verde del 99.32% de la Huella Hídrica total, un 0.35% Huella Hídrica Azul y 0.33% Huella Hídrica Gris, con un valor de Huella Hídrica total de $2.008 \text{ m}^3/\text{kg}$ de leche, Tanto en hacienda Velesa como El Milagro los porcentajes de Huella Hídrica Verde son menores a los planteados por este autor, mientras los valores de Huella Hídrica Azul son mayores, al igual que los datos de Huella Hídrica Gris, sin embargo en cuanto al valor de la Huella Hídrica total los valores encontrados en esta investigación son menores a los encontrados por el autor con una Huella Hídrica de 0.417 y 0.3869 durante época lluviosa y seca respectivamente en hacienda Velesa y 1.544 y 1.4921 en época seca y lluviosa respectivamente en hacienda El Milagro.

5. CONCLUSIONES

- Se determino que la Huella Hídrica no presenta diferencia entre épocas.
- La diferencia entre Huella Hídrica por hacienda esta directamente relacionada con la cantidad de alimento ofrecida a los animales, en hacienda El Milagro se ofrece mayor cantidad de alimento.
- El valor de la Huella Hídrica está directamente relacionado con, la extensión destinada a cultivo, rendimiento de los cultivos, ración alimenticia, número de cabezas del hato, vacas en producción, disponibilidad de agua, tipo de riego, sistema de crianza, tipo de ordeño, cantidad de ordeños.
- En hacienda Velesa, en Huella Hídrica Verde el zacate que produce mayor cantidad de materia verde por metros cúbicos de agua utilizada es el Napier y el de menor producción de materia por cantidad de agua utilizada es el zacate cubano.
- En hacienda Velesa, en Huella Hídrica Verde el zacate con menor uso de agua por cantidad de alimento ofrecido es Morera.
- En Huella Hídrica Azul para hacienda Velesa los zacates con mejor producción de materia verde y materia seca por metros cúbicos de agua utilizada son los zacates Napier y Swazi.
- Los cultivos de menor uso de agua con respecto a la cantidad de alimento ofrecido a los animales en Huella Hídrica Azul en hacienda Velesa son Swazi y cubano.
- En hacienda El Milagro Huella Hídrica Verde los zacates de mayor producción de materia verde y materia seca por metro cubico de agua es el zacate Swazi
- En hacienda El Milagro Huella Hídrica Verde el zacate de menor producción de materia verde es el zacate cubano
El zacate de mayor uso de agua por cantidad de alimento ofrecido a los animales en hacienda El Milagro para Huella Hídrica Verde es zacate estrella.
El zacate de menor uso de agua por cantidad de alimento ofrecido a los animales en hacienda El Milagro para Huella Hídrica Verde es zacate Swazi.
- En hacienda El Milagro para Huella Hídrica Azul, los zacates de mayor producción de materia verde y seca por metros cúbicos de agua son Estrella y Swazi.
- Los zacates de menor uso de agua por cantidad de alimento ingerido por los animales en hacienda El Milagro en Huella Hídrica Azul son zacate estrella y Swazi.
- Se utiliza menor cantidad de agua en la producción de materia seca al utilizar riego por aspersión que riego por gravedad durante la época seca, ya que se disminuye hasta 8.76 m³ de agua azul.

- La diferencia de Huella Hídrica Gris puntual entre haciendas se debe al tratamiento que recibe el agua en hacienda El Milagro.
- Debido a la baja cantidad de fertilizante nitrogenados utilizados en ambas haciendas la Huella Hídrica Gris difusa no poseen un efecto muy grande en la determinación de la Huella Hídrica total.
- Los cálculos de Huella Hídrica Gris puntual podrían ser omitidos debido a que no representan un valor significativo en la determinación de la Huella Hídrica en las haciendas.

6. 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
- Racionar el alimento ofrecido a los animales en base a zacate Estrella, Swazi, Mombaza y Morera.
- Implementar riego por aspersion para suplir los requerimientos alimenticios de materia verde.
- Realizar esta investigación en otras haciendas ganaderas con diferentes factores tecnológicos, para obtener un valor representativo del sector.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aamoum, A. 2015.** Water Footprint of cow milk production. Case study of a Finnish farm. Testis Sustainable Coastal Magnament. University of Applied Sciences Raseborg, Finlandia. 43 p.
- AguaLimpia. 2017.** Manual de aplicación de la Huella Hídrica acorde a la norma iso 14046. Santiago de Chile. Chile. 110 p.
- Alcayaga, S; Glaría, J; Guerreo, L. 1999.** Regulaciones de temperatura y potencial de hidrogeno en un biodigestor anaerobio de lecho de lodo granular expandida. Valparaiso. Chile. 32p.
- Aldaya, M. 2004.** Importancia del conocimiento de la Huella Hidrológica para la política española del agua. Encuentros multidisciplinares. vol. 10, no 29, p. 1-12.
- Álvarez, JM; Caneta, L; Moyano, C. 2002.** Biomasa y biogás. Corrientes. Argentina. 15p.
- Alcaide, SD; Santos, PM; Willaarts, B; Moreno HE; Madurga LM. 2008.** Huella Hídrica y Agua virtual en Cartabía. Santander. España. 136p.
- Arboleda, YO y González, LO. 2009.** Fundamento para el diseño de biodigestores: Fundamentos para la tecnología del biogás. Palmira. Colombia. P 4-11.
- Avidán, A. 1999.** Determinación del Régimen de riego de los Cultivos. CINADCO. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Israel. p. 35-37
- Avilés García, LA y Mineros Blanco AM. 2018.** Evaluación de la Huella hídrica y el efecto de los factores tecnológicos de la producción y procesamiento de café oro. Tesis Ing. San Salvador. El Salvador. Universidad de El Salvador. 148 p.
- BANDESAL (Banco de Desarrollo de El Salvador). 2016.** Informe sectorial agropecuario 2012-2016. San Salvador, El Salvador. P 13.
- Benson, T y Samuel, M. 2013.** Livestock development planning in Uganda: Identification of areas of opportunity and challenge. S.I. 139 p
- Britz, J; Van Schalkwyk, C; Hung, YT. 2006.** Waste treatment in the food processing industry: Treatment of dairy processing wastewater. Florida, Estados Unidos. Taylor and Francis group. 2 ed. P 1-28
- 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. 425 p.
- Campos E. 2010. Café orgánico.** In IV seminario de resultados y avances 2010. Nva. Ed. ICAFE, San Jose 86-91 p.
- Charlon, V. 2015.** Huella Hídrica en tambos según diferentes sistemas de producción. Córdoba. Argentina 11p
- Clarke, D. 1998.** Cropwat for Windows versión 4.2. Institute of irrigation and development studies. S.I. 5 p.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2007.** Manual de agua potable alcantarillado y saneamiento. México DF, México. 244p.
- Corace, JJ; Aeberhard, MR; Martina, PA; Ventín, AM; García, S. 2006.** Comparación del tiempo de reacción en el proceso de biodigestión según el tamaño de las partículas de aserrín utilizado como materia orgánica. Corrientes. Argentina. p4.
- CONAMA (Comisión Nacional de Medio Ambiente, Chile). 2014.** Huella Hídrica: La nueva norma internacional ISO 14046:2014 y su implementación. Santiago de Chile. Chile. 10 p.
- 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
- Craggs, RJ; Sukias JP; Tanner CT; Davies-Colley, RJ. 2004.** Advances ponds for dairy farm effluent treatment. Hamilton, New Zeland. New Zeland journal of agricultural research. Vol. 47 449-460p
- Destouni, G. 2008.** Feeding the future world. Securing enough food for 10 billion people. Estocolmo Suecia. p 9-22
- Domecq, JP, 2016.** Ganadería extensiva. (en línea). España. Consultado 15 mayo 2018. Disponible en: <https://www.jamonesjuanpedrodomecq.com/es/wikiberico/ganaderia-extensiva>
- Duarte, E. 1997.** Uso del agua en establecimientos agropecuarios: Sistema de abrevadero (Parte I) ¿Cuánta agua toma una vaca? Montevideo. Uruguay. 7p.
- Escobar Flores, WM; López Gálvez, LL; Rivera Escobar, MO. 2011.** Tratamiento contable y tributario de las operaciones que realiza una cooperativa ganadera. San Salvador. El Salvador. 124p

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Costa Rica). 2009.** Feed requirement for dairy cows. San José. Costa Rica. 2 p
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Costa Rica). 2015.** Manual CROPWAT. San José. Costa Rica. 64 p
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Costa Rica). 2016.** El sector lechero mundial: Datos. San José. Costa Rica. 5p
- Feijoo K. 2017.** Clima y sector agropecuario colombiano adaptación para la sostenibilidad productiva que es la Huella Hídrica Colombia. Tesis Magister. Universidad Pontificia Bolivariana. 184 p.
- FUNDESYRAM (Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental). 2007.** Sistemas de producción animal: la nutrición. Argentina. 4p.
- GTZ (Deutsche Gesellschaft fuer Technische Zusammenarbeit, Alemania). 1987.** Difusión de la tecnología de biogas en Colombia. Cali. Colombia. Ultratextos. 144p.
- González Espinoza, FE; Linares Mancía, LA; Mendoza Vaquerano, EA. 2016.** Evaluación de un sistema de enfriamiento sobre parámetros fisiológicos y productivos en ganado lechero de la zona costera paracentral de El Salvador. Tesis. Lic. El Salvador. Universidad de El Salvador.
- Herd, TH. 2017.** Veterinary manual: Nutritional requirement of dairy cattle. Michigan. Estados Unidos. S.p.
- Hickey, C. W.; Quinn, J. M.; Davies-Colley, R. J. 1989:** Effluent characteristics of dairy shed oxidation ponds and their potential impacts on rivers. NewZealand Journal of Marine and Freshwater Re-search 23: 569-584
- Hoekstra, A; Chapagain, A; Aldaya, M y Mekonnen, M. 2011.** The Water Footprint Assesment Manual: Setting the global standard. Washington DC, Estados Unidos. 228p.
- 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.
- INIA (Instituto de investigaciones agropecuarias, Chile). 2013.** Determinación de la huella del agua y estrategias de manejo de recursos hídricos. La Serena, Chile.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) 2015.** Avances y estado de situación en análisis de ciclo de vida y huellas ambientales en Argentina. Córdoba, Argentina. P 8-14

- Irriquitire. 2013.** Diseño agronómico de riego con Cropwat: Software de diseño de riego cropwat de la FAO (en línea). s.l. consultado 10 nov 2017. Disponible en: <http://www.softwariego.com/disenio-agronomico-de-riego-con-cropwat/>
- JICA (Asociación de Cooperación Internacional de Japón), 2005.** Tipos de ganado bovino. S.l. 10p
- LEAD (Livestock Environment and Development Initiative). 2005.** El impacto de la ganadería en la disponibilidad y calidad del agua: El caso de la ganadería y el agua. S.l. 2p.
- Loughlin, R.J. 2009.** Tablas de requerimiento de nutrientes para cría y engorde de bovinos. Córdoba, Argentina, 9p.
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2012.** Caracterización de la cadena productiva láctea en El Salvador. San Salvador. El Salvador. 126p.
- MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2018.** Informa de Estado Nacional de Medio Ambiente. San Salvador El Salvador. P60-65.
- Martínez Mamian, Ruiz Eraso y Morales Velasco. 2016.** cálculo de la Huella Hídrica de una finca ganadera lechera bajo condiciones agroecológicas del valle de Cauca. Cali. Colombia. 10p.
- Mekonnen, MM y Hoekstra, AY. 2011.** The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Twente, Holanda. 24p.
- Mohamed, FH y Saed, MA. 1995.** Wastewater management in a dairy farm. Dubái, Emiratos Árabes Unidos. Vol. 32, No. 11, p 1-11
- Network, W. F. 2008.** Water Footprint. (en línea). Washintong DC. Estados Unidos de América 228 p. consultado 17 de mar 2017. Disponible en: http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf
- OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico)- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2017.** Perspectivas Agrícolas 2017-2026: Lácteos y sus productos. París. Francia. 12 p.
- Osorio Uilola, 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.
- OSN (Organismo Salvadoreño de Normalización). 2007.** Norma Salvadoreña obligatoria 13.49.01:09. Aguas residuales descargadas a cuerpo receptor. San Salvador. El Salvador. 17p.

- Paredes Días J. 2013.** Importancia del agua. (en línea, sitio web). Consultado 29 octubre. 2018. Disponible en <http://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info86/articulos/importanciaAgua.html>
- Pascual, F. 2013.** ¿Un nuevo modelo rural en Ecuador?:Cambios y permanencias en los espacios rurales en la era de la globalización. Quito, Ecuador. 93 p.
- Ríos, N; Lanuza, E; Gámez, B; Montaya, A; Díaz, A; Sepúlveda, C; Ibrahim, M. 2016.** Cálculo de la Huella Hídrica de la producción de un litro de leche en fincas en Jinotega y Matigúas, Nicaragua. Jinotega, Nicaragua. 5p.
- Rodríguez, J. 2008.** Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades: capitulo IV lagunas de estabilización. Hermosillo, México. 20p.
- Rodríguez, R; Novo, P; Garrido, A. 2009.** La Huella Hídrica de la ganadería en España. Madrid, España. Fundación Marcelino Botín. 44 p.
- Rodríguez y Urbina Bravo. 2005.** Biodigestor ¿Qué son y como construirlos?. S.I. 95p.
- Rolim, S. 2000.** Sistemas de laguna de estabilización como utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío. Bogotá, Colombia. S.p.
- Sabogal, JS. 2015.** Evaluación de la Huella Hídrica para el cultivo de naranja (*Valencia*) en un predio del municipio de puerto López – meta. Tesis ing. Colombia. Universidad de la Salle. 75 p.
- Seguí, A; Trias, R, Bustamante, A; Alles, M. 2004.** El agua potable, principal nutriente de las vacas. Menorca. España. 4p.
- Tolón Becerra, A; Lastra Bravo, X; Fernández Membrive, V. 2013.** Huella Hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos: Aplicación al poniente Almeriense. Estudios previos y medidas de eficiencia. Almería España. 31p.
- Trueba Coronel, S. 1984.** Hidráulica. Ed. Continental. México DF. México.
- Vázquez, R y Buenfil, M. 2012.** Huella Hídrica de América Latina: retos y oportunidades. Aqua-LAC, p 41-48.
- WFP (Water Footprint Network, España). 2009.** Manual de evaluación. Manual para la Evaluación de la Huella Hídrica. Toledo, España. 44p.
- Zuluaga Bernal, CA. 2009.** Implementación de un biodigestor en ganadería de carne en Guadas Cundinamarca. Tesis Lic. Colombia. Universidad de la Salle. 47p

8. ANEXOS

Figura A-1 Muestreo de suelos para prueba de textura



Figura A-2 Pruebas con cilindros infiltrómetros



Figura A-3 Mapa puntos de muestreo ganadería El Milagro y Velesa

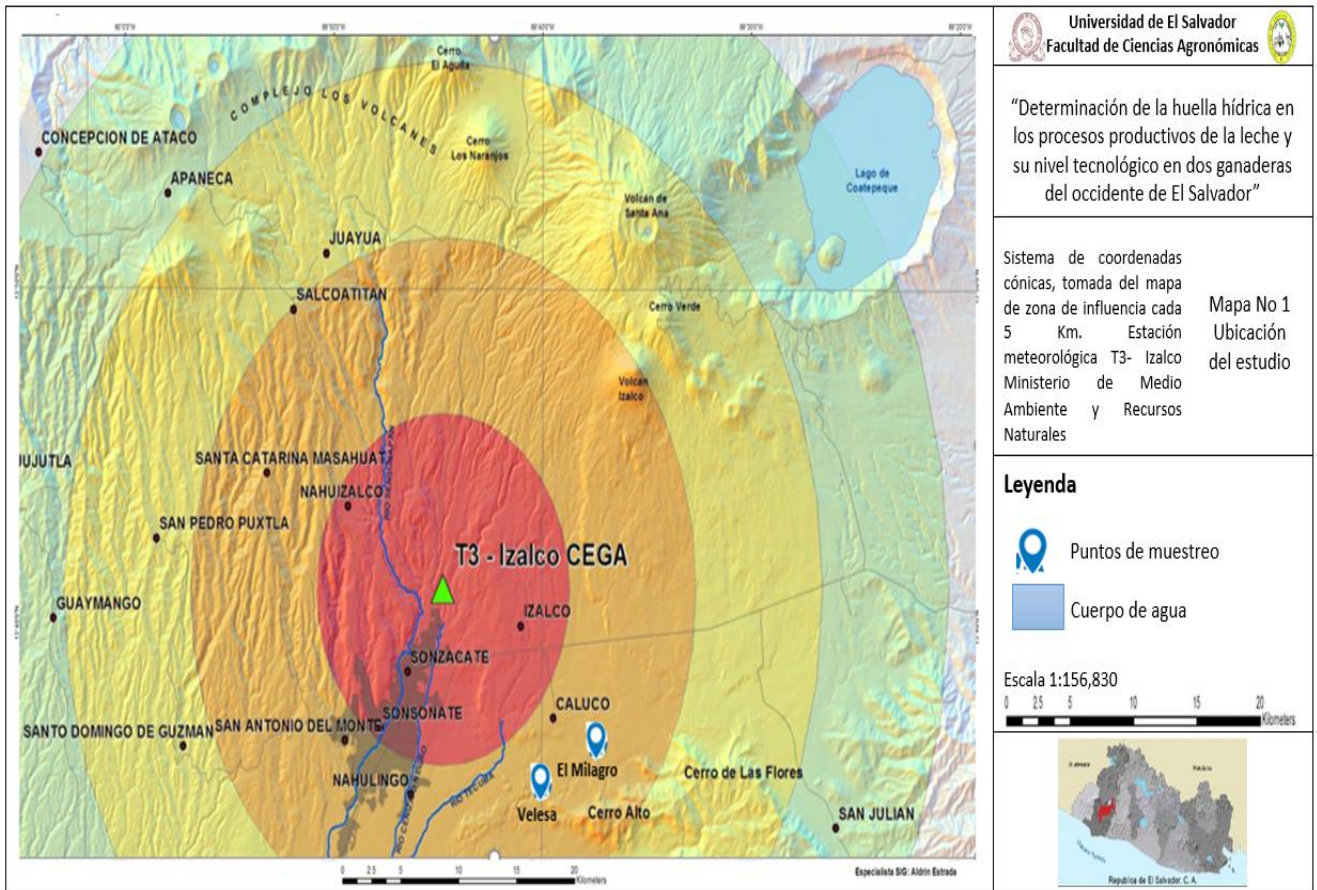


Figura A-4 aforo de micro aspersores.



Figura A-5 Aforo riego por gravedad hacienda Velesa y El Milagro



Figura A-6 Almacenamiento de muestras de aguas residuales



Figura A-7 Pruebas de textura según Bouyoucos



Figura A-8 Determinación de % de humedad a Capacidad de campo y Punto de Marchitez Permanente



Figura A-9 Datos climáticos de estación meteorológica de Izalco Sonsonate.



ESTACION:
INDICE:
DEPARTAMENTO:

IZALCO
T - 3
SONSONATE

LATITUD NORTE: 13° 45.7'
LONGITUD OESTE: 89°42.3'
ELEVACION : 390 msnm

PARAMETROS/MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temperatura Promedio °C	23.3	23.7	24.7	25.4	25.0	24.4	24.6	24.4	23.9	23.9	23.9	23.5
Temperatura Mínima Promedio °C	17.8	18.5	19.7	20.8	21.1	20.7	20.4	20.4	20.5	20.2	19.1	18.2
Temperatura Máxima Promedio °C	33.0	33.3	33.7	33.7	32.8	31.4	32.2	32.2	31.2	31.4	32.4	32.8
Temperatura Máxima Absoluta °C	37.0	39.0	39.0	39.2	39.0	38.3	36.0	36.5	35.8	36.5	37.0	37.0
Temperatura Mínima absoluta °C	11.5	12.5	14.5	16.0	16.0	17.9	18.0	17.6	18.0	15.5	11.9	12.0
Nubosidad en /10	2.6	3.4	4.1	6.2	6.9	7.0	6.5	6.4	7.3	6.3	4.5	2.8
Viento Velocidad Promedio Escala Beaufort	2.3	2.3	2.3	2.2	2.1	2.0	2.2	2.1	1.9	2.0	2.2	2.5
Viento Rumbo Dominante	N	N	N	N	S	S	S	S	S	N	N	N
Humedad Relativa %	70	70	69	73	79	84	81	82	85	84	77	72
Precipitación mm	6.0	3.3	15.5	63.9	238.6	353.0	319.1	346.7	429.8	333.7	53.9	8.2

Cuadro A-1 Ración alimenticia Hacienda Velesa

Hacienda Velesa				
Ración Alimenticia (Kg)				
Cultivo	Vacas		Novillas	Primeriza
	Materia verde	Materia seca	Materia verde	Materia verde
Mombaza	0.00	4.55	0.00	0.00
Cubano	0.00	4.55	0.00	0.00
Swazi	0.00	4.55	0.00	0.00
Napier	15.45	0.00	22.73	27.27
Morera	9.09	0.00	0.00	0.00

Cuadro A-2 Ración alimenticia Hacienda El Milagro

Hacienda El Milagro*		
Cultivo	Ración Alimenticia (kg)	
	Materia verde	Materia seca
Maicillo	0.00	10.23
Swazi	0.00	10.23
Cubano	0.00	10.23
Napier	0.00	10.23
Estrella**	40.68	0.00

*En la Hacienda no se tenían datos sobre la cantidad que se ofrece a cada animal por cultivo sin embargo ellos sabían que se ofrecen 40.92 kilogramos de materia seca, este resultado se dividió entre el número de cultivos para poder calcular el agua de cultivo de cada uno de ellos.

**El cálculo del pasto estrella se realizó tomando en cuenta el peso promedio de los animales a pastorear de 406.8 kilogramos de peso vivo y en base a Loughlin (2009), se tomó un 10% del peso vivo es necesario que los animales consuman para satisfacer la energía neta que requieren los animales para su bienestar obteniendo un total de 40.68 kilogramos

Cuadro A-3 Datos representativos de algunas propiedades físicas del suelo, según textura

Textura del Suelo	Velocidad de Infiltración Básica °)	Volumen Poroso Total	Peso Específico Aparente Pea	Capacidad de Campo HCc	Punto de Marchitez Permanente HPM	Agua Disponible	
	[mm/h]					[P%]	[g/cm3]
						[%v]	[m³/Ha/m]
Arenosa	50 (25-250)	38 (32-42)	1.65 (1.55-1.80)	9 (6-12)	4 (2- 6)	8 (6-10)	800 (700-1000)
Franco-Arenosa	25 (13-76)	43 (40-47)	1.50 (1.40-1.60)	14 (10-18)	6 (4- 8)	12 (9-15)	1200 (500-1500)
Franca	14 (8-20)	46 (43-49)	1.42 (1.34-1.50)	22 (18-26)	10 (8-12)	17 (14-20)	1700 (1400-1900)
Franco-Arcillosa	8.5 (2.5-15)	49 (47-51)	1.35 (1.30-1.40)	27 (23-31)	13 (11-15)	19 (16-22)	1900 (1700-2200)
Arcilloso-Arenosa	4 (3-5)	51 (49-53)	1.30 (1.25-1.35)	31 (27-35)	15 (13-17)	21 (18-23)	2100 (1800-2300)
Arcillosa	0.5 (0.1-1)	53 (51-55)	1.25 (1.20-1.30)	35 (31-39)	17 (15-19)	23 (20-25)	2300 (2000-2500)

*) Los rangos de la velocidad de infiltración básica exceden los datos presentados, y varían con la estructura del suelo y su estabilidad.

Fuente: Avidan, 1999.

Cuadro A-4 consumo de agua por hacienda

	Velesa	El Milagro
Ingesta de Materia Seca (IMS)(kg/día)	30	41
Producción de leche (kg/día)	2931.2	3388
Ingesta de Sodio (g/día)	1350	1366
Temperatura mínima (°C)	17.8	17.8
m³ Ingesta Vacas	2.79	3.41
m³ Ingesta resto del ható*	1.98	0.6
Consumo directo ható	4.77	4.01

Datos obtenidos utilizando la ecuación (1), * m³ Ingesta resto del ható fueron obtenidos en base al cuadro de Duarte 1997.

Cuadro A-5 Valores máximos permisibles de parámetros para verter aguas residuales por la norma NSO 13.49.01:09

Tabla 2. Valores máximos permisibles de parámetros para verter aguas residuales de tipo especial al cuerpo receptor por tipo de actividad

ACTIVIDAD	DQO (mg/l)	DBO _{5,20} (mg/l)	Sólidos sedimentables (ml/l)	Sólidos suspendidos totales (mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)
I. ANIMALES VIVOS Y PRODUCTOS DEL REINO ANIMAL					
1. Producción agropecuaria ¹⁾	800	300	15	150	50
2. Matanza de ganado y preparación y conservación de carnes	400	200	15	125	50
3. Procesamiento de camarón, mariscos en forma congelada	750	250	15	350	130
4. Enlatados de mariscos y fabricación de sus harinas	300	150	15	100	50
5. Productos avícolas	800	300	15	150	50
6. Porcicultura	1800 ²⁾	300	15	150	50
7. Procesamiento del atún y sus derivados	1800	600	15	350	50
II. PRODUCTOS DEL REINO VEGETAL					
1. Productos de molinería	400	200	15	200	50
2. Beneficiado de café	2500 ²⁾	2000 ²⁾	40	1000	30
3. Fabricación de productos de panaderías	250	200	15	70	100
4. Fabricas y refinarias de azúcar	600	400	30	150	30
5. Fabricación de chocolate y artículos de confitería, procesamiento de cacao	400	250	15	150	100
6. Elaboración de alimentos preparados para animales	250	60	15	100	50
7. Industria del tabaco	100	60	15	60	20
III. GRASAS Y ACEITES ANIMALES Y VEGETALES					
1. Extractoras de aceites y grasas	700	400	15	150	200
2. Refinadora de aceites y grasas	300	150	15	100	200
IV. PRODUCTOS DE LAS INDUSTRIAS ALIMENTARIAS, BEBIDAS, LIQUIDOS ALCOHOLICOS, TABACO Y					

Fuente: Organismo Salvadoreño de Normalización, 2007

Figura A-10 Resultado de aguas residuales DBO 5 Ganadería Velesa y El Milagro (Entrada de laguna de oxidación y salida de la laguna de oxidación)



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA**

RESULTADO DE ANÁLISIS

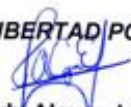
Fecha de Emisión: Ciudad Universitaria, 04 de diciembre de 2018
Fecha de ingreso: 28/ Noviembre / 2018
Tipo de Muestra: Aguas Residuales
Análisis solicitado: Sólidos Totales Disueltos, Solidos Sedimentales, DBO₅
 Oxigeno disuelto de saturación
Usuario: Br. Javier Hernández

Haciendas	No.	Identificación muestra	Sólidos total disueltos	Sólidos sedimentales	DBO ₅ (mg/L)	Oxigeno disuelto (ppm)	% de saturación
Salida de agua residual Velesa	MXP-33	Aguas residuales	677 mg/L	1.0 ml/L	78	0.25	3.00
Entrada aguas residuales hacienda El Milagro	MXP-34	Aguas Residuales	534 mg/L	6.0 ml/L	369	1.04	21.40
Salida aguas residuales hacienda El Milagro	MXP-35	Aguas Residuales	182.8 mg/L	0.8 ml/L	18	1.99	24.80
METODOLOGÍA			Potenciometría	Gravimetría	Potenciometría	Potenciometría	

Analista: Lic. Mario Antonio Hernández Melgar

Atentamente,

"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"


Lic. M.Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada
 Jefe del Departamento de Química Agrícola

Cuadro A-6 Cantidad de fertilizante nitrogenado utilizado en hacienda Velesa.

Cultivo	Cantidad de fertilizante (qq/Ha)				Porcentaje de Nitrógeno por fertilizante (%)				Nitrógeno aplicado por cultivo (qq N)	Área cultivada (Ha)	Cantidad de nitrógeno aplicado por cultivo (qq N)
	urea	16-20-0	Sulfato	Foliar*	urea	16-20-0	Sulfato	Foliar			
Mombaza	3	5	0	0.15	46.00	16.00	21.00	44.50	2.25	7	15.73
Napier	0	5	6	0.1	46.00	16.00	21.00	44.50	2.10	6.4	13.47
Cubano	4	0	6	0.9	46.00	16.00	21.00	44.50	3.50	5.3	18.55
Swazi	0	4	6	0.1	46.00	16.00	21.00	44.50	1.94	4.9	9.53
Morera	0	0	4	1.5	46.00	16.00	21.00	44.50	1.51	8.4	12.66
Total									11.30	32.00	69.94

*Los cálculos para foliar fueron transformados de litros a quintales.

Cuadro A-7 Cantidad de fertilizante nitrogenado utilizado en hacienda El Milagro.

Cultiv-o	Cantidad de fertilizante (qq/Ha)				Porcentaje de Nitrógeno por fertilizante (%)				Nitrógeno aplicado por cultivo (qq N)	Área cultivada (Ha)	Cantidad de nitrógeno aplicado por cultivo (qq N)
	urea	16-20-0	Sulfato	Foliar	urea	16-20-0	Sulfato	Foliar			
Maicillo	3	4	0	0.1	46.00	16.00	21.00	44.50	2.06	9	18.58
Napier	0	5	4	0.15	46.00	16.00	21.00	44.50	1.71	15	25.60
Cubano	4	3	6	0.1	46.00	16.00	21.00	44.50	3.62	15	54.37
Swazi	0	4	5	0.15	46.00	16.00	21.00	44.50	1.76	11	19.32
Estrella	2	0	0	0.15	46.00	16.00	21.00	44.50	0.99	10	9.87
Total									10.14	60	127.74

*Los cálculos para foliar fueron transformados de litros a quintales.