

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLAS

**“DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA
PRODUCCIÓN GANADERA EN LA FINCA LA UNIÓN EN CHEPO,
PANAMÁ”**

PAOLA M. VARGAS B.

8-957-1416

PANAMÁ, PANAMÁ
REPÚBLICA DE PANAMÁ

2022


**"DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA PRODUCCIÓN
GANADERA EN LA FINCA LA UNIÓN EN CHEPO, PANAMÁ"**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDA PARA OPTAR POR
EL TÍTULO DE INGENIERÍA EN MANEJO DE CUENCAS Y
AMBIENTE.**


**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS.**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL
O PARCIAL DEBE SER OBTENIDA DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AGROPECUARIAS**

APROBADO:

DIRECTOR: CARLOS HIM 

MIEMBRO: AARON CONTE 

MIEMBRO: LOURDES RUBATINO 

PANAMÁ, PANAMÁ

REPÚBLICA DE PANAMÁ

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico primeramente a mi madre, por estar conmigo siempre, demostrando su amor incondicional, enseñándome a no rendirme ante nada y siempre amparándome a través de sus sabios consejos, a mi padre por su amor, trabajo y sacrificio las cuales me han permitido llegar a cumplir un sueño más.

A toda mi familia quien directa e indirectamente siempre supo brindarme su apoyo y consejos, para así alentarme a seguir adelante.

Además a mi novio, por apoyarme y acompañarme en todo este periodo, incluso en los momentos más turbulentos, dándome los ánimos para alcanzar esta meta.

Finalmente, pero no menos importante, a todos mis amigos que han estado conmigo en las buenas y malas, durante todo esta trayectoria, y en especial aún compañero y amigo que no se encuentra con nosotros (J.A.C.R), q.e.p.d., su amistad y gran cariño, fueron parte de motivación para culminar mis estudios universitarios.

AGRADECIMIENTO

Le doy gracias a Dios y a la Santísima Virgen María por darme la oportunidad de vivir y no apartarse de mí en cada paso que di, por darme la fuerza y el amor, para llevar a cabo este trabajo de investigación, por iluminar mi mente y poner en mi camino a personas que han sido mi apoyo y compañía durante toda esta etapa.

Mi profundo agradecimientos a todos los profesores de la escuela de Ciencias Agrícolas, que me acompañaron durante la carrera, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos, han sido parte de mi formación profesional.

RESUMEN

Las elevadas demandas del recurso hídrico para la producción ganadera ha generado la necesidad de cuantificar los consumos de este recurso con el fin de establecer medidas de gestión y manejo. Por este motivo, se realizó un estudio para determinar la huella hídrica en la Finca La Unión ubicada en el distrito de Chepo, provincia de Panamá, durante la época seca y parte de la época lluviosa. Para la evaluación se tuvo en cuenta la metodología de medición del consumo directo (agua azul), el requerimiento de agua del pasto (agua verde) por el método Thornthwaite y la cuantificación de excretas, su potencial de contaminación de acuíferos y la aportación de agroquímicos (agua gris). Los resultados mostraron que el consumo directo por parte de los bovinos fue más alto en la época seca que en la lluviosa, que las pasturas de la finca no requieren de un sistema de riego y que el potencial de contaminación de acuíferos es bajo debido a la baja aportación de agroquímicos y la formación geológica de la zona de estudio.

Palabras claves: huella hídrica, agua azul, agua verde, agua gris, consumo de agua, ganadería, excretas.

ABSTRACT

The high demands of water resources for livestock production have generated the need to quantify the consumption of this resource in order to establish management and management measures. Therefore, a study was carried out to determine the water footprint in the La Unión farm located in the district of Chepo, province of Panama, during the dry season and part of the rainy season. For the evaluation, the methodology for measuring direct consumption (blue water), the requirement of pasture water (green water) by the Thornthwaite method and the quantification of excreta and its potential for contaminating aquifers (grey water) were taken into account. The results showed that direct consumption by cattle was higher in the dry season, that the farm's pastures do not require an irrigation system, and that the potential for contamination of aquifers is low due to the low permeability of the aquifer geological formation of the study area.

Keywords: water footprint, blue water, green water, gray water, water consumption, livestock, excrete.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2. ANTECEDENTES	15
1.3. JUSTIFICACIÓN	17
1.4. OBJETIVOS	18
1.4.1 General.....	18
1.4.2 Específicos	18
1.5. HIPÓTESIS DEL TRABAJO	19
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES DE ESTUDIO	19
1.6.1. Alcances.....	19
1.6.2. Limitaciones	19
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	20
2.1. HUELLA HÍDRICA.....	20
2.1.1. HUELLA HÍDRICA GRIS	21

2.1.2	HUELLA HIDRICA AZUL	22
2.1.3	HUELLA HIDRICA VERDE	23
2.1.4	ESTUDIOS DE HUELLA HÍDRICA EN FINCAS GANADERAS.....	23
2.1.5	RECURSO HIDROLÓGICO.....	24
2.1.6	PRECIPITACIÓN CON RELACIÓN A LAS PASTURAS	25
2.1.7	DISPONIBILIDAD Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA	26
2.1.8	ESCASEZ DEL AGUA.....	28
2.1.9	CAMBIO CLIMÁTICO	29
2.1.10	CONSUMO DIRECTO DE AGUA DEL GANADO	29
2.1.11	RELACIÓN ENTRE EL RECURSO HÍDRICO Y EL SISTEMA PRODUCTIVO BOVINO	30
2.1.12	CONSUMO DEL SISTEMA HÍDRICO EN SISTEMAS PECUARIOS ..	31
2.1.13	MÉTODO THORNTHWAITE.....	31
2.1.14	SUELOS.....	32
2.1.15	MATERIA ORGÁNICA.....	33
2.1.16	RELACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y TEXTURA.....	33
2.1.17	CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.....	35
2.1.18	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA	36
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1	SITIO DE ESTUDIO.	37
3.2	RECOLECCIÓN DE LOS DATOS	39
3.3.	PARÁMETROS A EVALUAR.....	39
3.3.1.	CONSUMO DIRECTO DE AGUA.....	39
3.3.2	TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA.	41
3.3.3	REQUERIMIENTO DE AGUA DEL PASTO	42

3.3.4 CUANTIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE EXCRETAS.....	45
3.3.4.2 DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.....	47
3.3.4.3 DETERMINACIÓN DE TEXTURA DEL SUELO.....	48
3.3.5 HUELLA HÍDRICA GRIS DE LA PRODUCCIÓN GANADERA Y SU POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN.....	50
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
4.1 Evaluación de los parámetros a evaluar.	51
4.1.1 CONSUMO DIRECTO DE AGUA (AGUA AZUL).....	51
4.1.3 EVALUACIÓN DE LA CUANTIFICACIÓN DE EXCRETAS.....	60
4.1.4 EVALUACION DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS DE LA PRODUCCIÓN GANADERA Y SU POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN.....	66
CONCLUSIONES.....	70
RECOMENDACIONES	71
Bibliografía.....	72
ANEXOS	77

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO I: Distribución del recurso hídrico a nivel mundial..	27
CUADRO II: Pasturas de la finca La Unión	39
CUADRO III: Cantidad del hato ganadero de la finca	39
CUADRO IV: Categoría y edad de los ejemplares sometidos a estudios.....	40
CUADRO V: Datos históricos promedios mensuales de temperatura.....	45
CUADRO VI: Consumo directo de agua de 4 categorías de bovinos en la época seca	53
CUADRO VII: Consumo directo de agua de 4 categorías de bovinos en la época lluviosa.....	53
CUADRO VIII: Consumo directo de agua de 4 categorías de bovinos en ambas época.....	55
CUADRO IX: Método Thornthwaite	57
CUADRO X: Precipitaciones promedios mensuales y la ETP corregida	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Triangulo textural, sistema americano (U.S.D.A).....	34
Figura 2: Mapa de la ubicación del área de estudio.....	37
Figura 3: Identificación de la Finca Ganadera La Unión	38
Figura 4: Bebederos para medir el consumo directo de agua	40
Figura 5: Medición de temperatura y humedad relativa con el termohigrómetro	41
Figura 6: Lago de la finca	43
Figura 7: Pasturas de la finca	43
Figura 8: Tomas de muestra de suelo	45
Figura 9: Muestras de suelos de la finca en el laboratorio de la FCA	48
Figura 10: Vista aérea de la finca La Unión en Chepo.....	50
Figura 11: Vista general de la determinación del consumo directo de agua azul en época seca	51
Figura 12: Medición de consumo de agua azul en la época lluviosa	53
Figura 13: Comparación del consumo de agua en ambas épocas	54
Figura 14: Parte del hato ganadero de la finca	54
Figura 15: Relación de la PPT-ETP	58
Figura 16: Delimitación del área de estudio en mapa topográfico	60
Figura 17: Porcentaje de materia orgánica de ambos segmentos y el incremento de este.....	61
Figura 18: Área del lago	62
Figura 19: Área de árboles esporádicos	63
Figura 20: Muestra del suelo de la finca	64
Figura 21: Análisis de suelo en el laboratorio	65
Figura 22: Método del baño de aspersión para parásitos externos	66
Figura 23: Mapa hidrogeológico, enfocado en el área de estudio.....	68
Figura 24: Factor de corrección Fe, por duración media de las horas de sol expresada en unidades de 30 días, con 12 horas de sol cada una	78
Figura 25: Mapa hidrogeológico del Istmo de Panamá.....	80
Figura 26: Histórico de lluvia en la Estación de Chepo.....	81

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural, de vital importancia para el desarrollo sostenible tanto para el ser humano, animales y plantas, por lo que nos compete en su conservación y cuidado para las generaciones futuras. La tarea de proveer el recurso hídrico está atravesando por momentos críticos ya que se muestra en los últimos tiempos contaminación y dispendio, lo que conlleva a un uso inadecuado, que a la larga conducen a una problemática como lo es la escasez y el desabastecimiento de este recurso.

La huella hídrica es un indicador del uso del agua dulce que no se centra únicamente en el uso directo del agua por parte de un consumidor o de un productor, sino que se centra también en su uso indirecto. (Y.Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011).

El manejo del agua se calcula en términos de volúmenes de agua consumidos (evaporados o asociadas a un producto) y / o contaminados por unidad de tiempo. Se puede automatizar para un producto en particular, para cualquier grupo bien definido de consumidores (por ejemplo, un individuo, familia, pueblo, ciudad, provincia, estado o nación) o productores (por ejemplo, una organización pública, la empresa privada o un sector económico).

El uso del agua por el ganado, así como la contribución del sector pecuario a las tendencias de agotamiento del recurso, se sitúa en un nivel elevado y en creciente aumento. Se necesitan cada vez mayores volúmenes de agua para satisfacer las necesidades del proceso de producción ganadera considerado en su conjunto: desde la producción de los piensos hasta el suministro del producto. (FAO, 2009)

En algunos estudios se han recomendado estrategias para reducir la huella hídrica en sistemas ganaderos, entre estos destacan: mantener cobertura vegetal en las pasturas para mejorar la oferta forrajera y reducir las pérdidas de agua debido a la evaporación (Benavides, 2011)

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al aumento constante de la población a nivel mundial, la cual nos indica que se da una demanda cada vez más alta del consumo de alimentos al igual que el del recurso hídrico, producto de los problemas ambientales que se presentan hoy día, debido a las malas prácticas y al mal manejo agrario, a la contaminación ambiental, entre otros, unido con el cambio climático. Esto restringe los sistemas productivos actuales, teniendo de manera necesaria que implementar o proyectar alternativas que nos ayuden a llevar a cabo, un mejor manejo a corto y mediano plazo.

El impacto de la ganadería en fincas, tiene una relación directa con el consumo del recurso hídrico, teniendo en cuenta que el consumo de carne hoy día es indispensable para la sociedad, el agua con los sistemas ganaderos están asociados tanto en el consumo directo, que en este caso sería a través del proceso de transformación del producto (carne de res) y el consumo indirecto se lleva desde la cría del ganado hasta su comercialización, llevando a la contaminación que sufre el agua como resultado de la cría de estos animales y todo lo que conlleva sus impactos, incluyendo la degradación de los suelos y emisiones de gases de efecto invernadero, que contribuyen al calentamiento global, entre otros.

Según el “Water Footprint network” La huella hídrica es un indicador que permite identificar las relaciones socio ambientales respecto al agua, explícitamente del volumen total de agua dulce usado para los bienes y servicios producidos por una empresa, o consumidos por un individuo o comunidad. Este indicador muestra los volúmenes de uso específicos y la contaminación del agua.

El interés por la huella hídrica se origina en el reconocimiento de los impactos de las actividades antrópicas sobre los sistemas hídricos. “La comprensión de las afectaciones a los recursos hídricos facilita la gestión para prevenir y mitigar la problemática” (Hoekstra A., 2008).

En cualquier parte de nuestro planeta tierra, en especial las zonas con escasez de agua, el cálculo de la huella hídrica y su análisis, trascienden de manera útil las mejoras de la eficiencia del uso sobre el recurso hídrico y así se fomenta una comunicación entre los gobernantes ligado con el sector pecuario para llegar a propuestas del uso racional de este recurso que es muy indispensable para todos.

1.2. ANTECEDENTES

El concepto de huella hídrica nació en el año 2002 de la mano del profesor Arjen Hoekstra de la universidad de Twente (Holanda). Desde entonces han surgido diferentes iniciativas, tales como la del Wáter Footprint network (WFN) o la de la ISO 140746 entre otros.

La huella hídrica puede considerarse un indicador integral de la apropiación de los recursos hídricos frente a la medida tradicional y restrictiva de la extracción de agua. Es el volumen de agua dulce usado para elaborar el producto, medido a lo largo de la cadena de suministro completo (Y.Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011)

Este concepto fue introducido por Hoekstra (2002) con el fin de tener un indicador, basado en el consumo del agua, que permitiera tener información para la toma de decisiones en cuanto a políticas en el uso del agua, ya que la información que se tenía hasta ese momento no le daba la importancia a la cantidad de agua consumida. Sin embargo, el consumo de agua no es solo el volumen de agua que una persona o un país utiliza, sino que hay agua contenida en productos importados de otros países. Por lo tanto, si no se tiene en cuenta ese volumen de agua se está subestimando el volumen total de agua utilizado (Chapagain y Hoekstra, 2004).

Según (Cardona & Ochoa, 2013) Las primeras evaluaciones de HH fueron realizadas en 2002 y 2003 por Hoekstra y Hung. En estas se cuantificaron los flujos de agua virtual entre naciones y, en especial, los flujos de agua virtual en la ganadería y sus productos. Sin embargo, el concepto de agua virtual ya había sido desarrollado por Allan en 1994, con el fin de evaluar las posibilidades de importar agua para solucionar los problemas de escases del recurso en el Medio Oriente.

Analizar el agua virtual y la huella hídrica hace explícita la cantidad de agua que se requiere para producir diferentes bienes y servicios. Por lo tanto, cuantificar

Estos dos índices permitirán obtener información que permite promover el uso eficiente del agua y la adopción de nuevas tecnologías. (Cardona & Ochoa, 2013)

En el año 1948, la Declaración Universal de los Derechos Humanos declaraba el derecho de todos a una alimentación adecuada; sin embargo, el acceso a alimento adecuado en las zonas rurales de muchos países en vías de desarrollo depende de forma sustancial del acceso a los recursos naturales, incluido el agua, necesarios para su producción. El 28 de julio de 2010, la Asamblea General de Naciones Unidas declaró el acceso seguro al agua potable y al saneamiento como un derecho humano. El derecho al agua dentro del contexto del derecho a alimento es una cuestión compleja: mientras el agua de beber y el agua para cocinar sí se verían protegidas, no se verían cubiertos los niveles mínimos de agua necesarios para la producción de alimentos en las zonas áridas. (ONU & DAES, 2014)

Hay suficiente agua disponible para las necesidades futuras globales, pero este escenario esconde enormes áreas de absoluta escasez de agua que afecta a miles de millones de personas, muchas de las cuales son pobres y desfavorecidas. Los cambios fundamentales en la gestión y las políticas a lo largo de toda la cadena de producción agrícola son necesarios para garantizar el mejor uso posible de los recursos hídricos y responder así a la creciente demanda de alimentos y de otros productos agrícolas. (ONU & DAES, 2014)

1.3. JUSTIFICACIÓN

El recurso hídrico es uno de los elementos principales para el desarrollo y mantenimiento de los seres vivos, la producción agropecuaria en los últimos tiempos se ha caracterizado por implementar nuevas tecnologías capaces de desarrollar tareas dentro del área, siendo utilizadas como indicativos de la viabilidad de la producción, además de poder medir si el sistema que se está utilizando es el correcto.

Al cuantificar la huella hídrica se determina la cantidad de este recurso ya sea consumido o desechado; tomando en cuenta esto, podemos manifestar un mejor manejo en su uso, con la determinación de prevenir impactos referentes a la disponibilidad del agua, al igual que prevenir la posible crisis de escasez mundial de este recurso que es vital para todo ser vivo.

Panamá es uno de los países en el que abunda el agua, acompañada de uno de los niveles más bajos en estrés hídrico; sin embargo, presenta una creciente crisis hídrica. De tal forma, es necesario tomar medidas tales como afianzar en lo que respecta a la aplicación de un indicador de la huella hídrica. Se debe recalcar que nuestro país está muy ligado a la producción ganadera, identificando los sectores que tienen mayor consumo, para poder así crear medidas de uso racional y resaltar aquellos aspectos en el que se deban hacer correcciones frente a los impactos de la calidad del agua que se genera dentro de este sector.

Con este estudio se busca tributar información de interés, ya que los estudios dirigidos a una valuación de los efectos que generan al recurso hídrico, como es el caso del indicador de la huella hídrica, que nos facilita datos precisos y concisos para la mitigación del mismo, de tal manera que nos permite conocer, analizar, plantear y proponer soluciones prácticas, en el enfoque del sector ganadero, ya que no solo se deben considerar los aspectos económicos y productivos sino también los recursos hídricos requeridos y su uso sostenible.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 General

- Determinar la huella hídrica en la producción ganadera dentro de la Finca la Unión en Chepo, Panamá.

1.4.2 Específicos

- Definir el consumo promedio de agua diario en los bovinos de diferentes categorías (adultos, terneros y lactantes) durante la estación seca y lluviosa.
- Evaluar el requerimiento de agua en el pasto a través del cálculo de la evapotranspiración (Thornthwaite).
- Cuantificar la cantidad de excretas diarias de un grupo de bovinos en un área representativa de la finca.
- Evaluar la huella hídrica gris en la producción ganadera y su potencial de contaminación sobre las aguas subterráneas.

1.5. HIPÓTESIS DEL TRABAJO

Se puede establecer la huella hídrica de la producción pecuaria extensiva en el área de Panamá Este como un indicador importante del impacto en el ambiente.

1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES DE ESTUDIO

1.6.1. Alcances

Cuantificar la huella hídrica azul, verde y gris, en una finca de La Unión en Chepo, tanto en la época seca y lluviosa, teniendo en cuenta los procesos que tienen contribución con este indicador, como lo es el consumo de agua directo, el requerimiento de agua que necesita el pasto, la cantidad de excretas y la contaminación de los acuíferos, para poder disminuir el consumo del recurso hídrico, ya que con este cálculo se puede llegar a relacionar el consumo diario de agua, contaminación y la distribución, para poder implementar mejoras en la gestión del recurso hídrico y un mejor manejo a nivel de la producción pecuaria en área este del país.

1.6.2. Limitaciones

Entre las limitaciones del estudio podemos mencionar la falta de información específica sobre los datos climáticos y lo relacionado a los estudios sobre la huella hídrica en Panamá.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. HUELLA HÍDRICA

Según Hoekstra y otros (2011) la huella hídrica es un indicador multidimensional que muestra los volúmenes de consumo por origen y los volúmenes de contaminación por tipo de contaminación; todos los componentes de agua dulce total están geográfica y temporalmente especificados. (Y.Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011)

La huella hídrica azul se refiere al consumo de los recursos de agua azul (aguas superficiales y subterráneas) a lo largo de la cadena de suministro de un producto. El consumo se refiere a una pérdida de agua de una masa de agua disponible en una zona de captación o cuenca hidrográfica. Las pérdidas ocurren cuando el agua se evapora, regresa a otra cuenca hidrográfica o al mar, o se incorpora a un producto. Asimismo, la huella hídrica verde se refiere al consumo de los recursos de agua verde, el agua de lluvia en la medida en que no se convierte en escorrentía; por último, la huella hídrica gris se refiere a la contaminación y se define como el volumen de agua dulce requerida para asimilar la carga de contaminantes dadas las concentraciones naturales de fondo y las normas de calidad ambiental (Y.Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011)

De acuerdo con el “Manual de Evaluación de la Huella Hídrica” del proyecto Huella de Ciudades, esta puede ser calculada desde diferentes enfoques así:

- Un producto
- Un proceso
- Un consumidor
- Un grupo de consumidores
- Una cuenca hidrográfica
- Un área geográfica delimitada

Esta huella consiste principalmente en dos componentes, la HH operativa (directa) que es el volumen de agua consumida o contaminada debido a las operaciones

y la HH de la cadena de suministro (indirecta) que es el volumen de agua dulce utilizada para producir los bienes y servicios que forman parte de los insumos de producción (Y.Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011)

La evaluación de la huella hídrica es una herramienta analítica que puede ayudar a comprender como las actividades y los productos se relacionan con la escasez y la contaminación del agua, aunado al impacto derivados de las mismas, así como se puede hacer para asegurarse de que las actividades y productos no contribuyan a un uso insostenible del agua dulce. Como herramienta, la evaluación de la huella hídrica aporta comprensión, no dice lo que hay que hacer; más bien ayuda a entender lo que se puede hacer.

2.1.1. HUELLA HÍDRICA GRIS

Según (Arévalo, Lozano, & Sabogal, 2011) es el volumen de agua necesaria para que el cuerpo receptor reciba el vertido contaminante asociado a la cadena de producción y/o suministro sin que la calidad del agua supere los límites permitidos por la legislación vigente. Se calcula como el volumen de agua adicional teórica necesaria en el cuerpo receptor, por lo que no se refiere a generar un nuevo consumo, sino a reducir el volumen de contaminante.

La Huella Gris hace referencia a impactos localizados en sectores productivos y en algunos productos, pero con resultados orientados a identificar el impacto y así generar una reducción en el factor de contaminación potencial del cuerpo de agua receptor de efluentes. También al identificar factores de contaminación se introducen los conceptos de potencial escasez de agua no contaminada, competencia y potenciales conflictos por uso de agua (Arévalo, Lozano, & Sabogal, 2011)

El uso inapropiado de la tierra puede disminuir la oferta hídrica cuando se reduce la infiltración, se aumenta la escorrentía y se limita la recarga natural de los recursos acuíferos subterráneos y el mantenimiento adecuado de los caudales especialmente durante la estación seca. El uso inapropiado de la tierra puede

disminuir la oferta hídrica cuando se reduce la infiltración, se aumenta la escorrentía y se limita la recarga natural de los recursos acuíferos subterráneos y el mantenimiento adecuado de los caudales especialmente durante la estación seca. (FAO, 2009)

La mayor parte del agua usada por el ganado vuelve al ambiente. Una parte puede volver a utilizarse en la misma cuenca, mientras que otra se agota, bien por la contaminación, bien por la evapotranspiración. El agua contaminada por la producción pecuaria, la producción de piensos y la elaboración de productos de origen animal provoca una pérdida del valor del agua para el suministro y contribuye al agotamiento del recurso.

La mayor parte del agua potable y del agua de servicios del ganado retorna al ambiente en forma de estiércol o de aguas residuales. Las excretas del ganado contienen cantidades considerables de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio), residuos de medicamentos, metales pesados y patógenos. Si estos llegan al agua o se acumulan en el suelo transformándose en una grave amenaza para el medio ambiente (FAO, 2009)

2.1.2 HUELLA HÍDRICA AZUL

EL agua azul hace énfasis a la que se encuentra en los cuerpos de agua superficiales; ya sea en los ríos, lagos, embalses, esteros, nacientes y subterráneos. La Huella Hídrica Azul de un proceso involucra el agua que se evapora, el agua que se incorpora al producto, el agua que no retorna a la misma zona de influencia y que es devuelta a otra zona de captación, al igual que aquella agua que no vuelve en el mismo período de tiempo. Si el agua utilizada regresa intacta al mismo lugar del que se tomó dentro de un tiempo transitorio, no se toma en cuenta como Huella Hídrica.

2.1.3 HUELLA HÍDRICA VERDE

Se considera agua verde a la que se logra producto de la evaporación que se experimenta durante los procesos, el volumen de agua evaporada y transpirada desde los recursos globales de agua verde (principalmente agua de lluvia almacenada en el suelo agrícola en forma de humedad durante el período de crecimiento de los cultivos).(Malca, 2018)

La huella hídrica verde es un indicador del uso que hacen los seres humanos de la llamada agua verde, que se refiere a las precipitaciones terrestres que no se transforman en escorrentía ni en aguas subterráneas, sino que se almacenan en el suelo o se quedan de forma temporal en la superficie del suelo o de la vegetación. Con el tiempo, esta parte de la precipitación se evapora o transpira a través de las plantas. El agua verde puede ser productiva para el crecimiento de los cultivos, (sin embargo, no toda el agua verde puede ser asimilada por ellos, puesto que siempre habrá evaporación del suelo y porque no todos los períodos del año o zonas son adecuados para el crecimiento del cultivo). (Y.Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011)

2.1.4 ESTUDIOS DE HUELLA HÍDRICA EN FINCAS GANADERAS

La cuantificación de las huellas hídricas de consumo y producción es un tema relativamente nuevo y en constante evolución (LLamas, 2005). No existen muchos estudios relacionados a la huella hídrica en la ganadería en lo que respecta a los sistemas de producción tropical; generalmente, las investigaciones hacen referencias a estudios realizados de forma global sobre agua requeridos para producción de leche y carne (Aldaya, Niemeyer, & Zarate, 2011).

La demanda de agua en la ganadería corresponde al consumo de agua de una cabeza de ganado durante un día, que depende del tipo de ganado y se mide en litros por cabeza - día o en litros por unidad ganadera - día. El contenido de agua

virtual de un animal al final de su vida se define como el volumen total de agua que se utilizó para cultivar y procesar su alimentación, aquella usada para su consumo directo y para limpiar sus instalaciones. (Rodríguez y otros, 2011).

La huella de agua de un animal puede calcularse con base en la huella de agua del alimento consumido y el agua que consume de forma directa. El consumo de productos animales contribuye a más de una cuarta parte de la huella hídrica de la humanidad. El agua necesaria para producir alimento es el principal factor detrás de la huella hídrica de los productos animales. Revisar la composición del alimento y el origen de los ingredientes del alimento es esencial para encontrar formas de reducir la huella hídrica de la carne y de los productos lácteos. (Hoekstra,2012)

La cadena de suministro de un producto animal empieza con el cultivo de cultivos forrajeros y termina con el consumidor. En cada paso de la cadena se encuentra una huella hídrica directa que hace referencia al consumo de agua en ese paso, pero también una huella hídrica indirecta, que hace referencia al consumo de agua en los pasos anteriores. Con mucho, la mayor contribución a la huella hídrica total de todos los productos animales finales proviene del primer paso: hacer desarrollar el alimento. (Hoekstra, 2012)

2.1.5 RECURSO HIDROLÓGICO

El agua es un elemento indispensable para el desarrollo de la vida sobre la tierra. El hombre siempre se ha preocupado por ella para satisfacer tanto sus necesidades básicas y secundarias, como otras que se iban generando a medida que con la evolución, sus prioridades se modificaron y vio en el agua un medio

para satisfacer las demandas de consumo que crecían cada vez más, a diferenciarse los recursos hidrológicos que eran permanentes. Esta situación dio lugar a la creación de la hidrología como ciencia, con objeto de estudiar el agua en sus diversos aspectos y lograr su mejor aprovechamiento. (Rascon & Jiménez , 2005)

De acuerdo con (Rascon & Jiménez, 2005) la hidrología tiene como objeto de estudio toda el agua de la tierra; sin embargo, por razones prácticas, su campo ha sido limitado en varios aspectos. Por ejemplo, la reserva más grande con que se cuenta es el océano, contiene la mayor parte del agua que abastece la tierra, teniendo la oceanografía como la ciencia que lo estudia; la misma no está incluida en la hidrología ya que se enfoca solo a los aspectos relacionados con las aguas continentales.

2.1.6 PRECIPITACIÓN CON RELACIÓN A LAS PASTURAS

En la producción de pastos según (Álvarez, Herrera, Díaz , & Noda, 2013) influyen las condiciones naturales del entorno donde se lleva a cabo esta actividad. El clima es un componente esencial del sistema. Es de vital importancia tener en cuenta el efecto que este ejerce en los procesos fisiológicos que dan lugar al crecimiento y desarrollo de las plantas.

La producción de los forrajes tropicales depende, primordialmente, del suministro de algunos nutrientes del agua producto del suelo en el cual se cultiva y de los factores climáticos a los cuales está expuesto; de manera que la producción de pasturas es una respuesta integral a las variables que actúan sobre ella. Por esta razón es importante considerar la relación que existe entre la cantidad de agua almacenada por el suelo a diferentes profundidades del argílico y su efecto sobre el desarrollo de la pastura. (Martínez, Clavero, & Casanova, 1996)

La evapotranspiración producida por las tierras de pastos cultivados y naturales usados para el pastoreo representa un gran porcentaje de esta agua.

El término evapotranspiración potencial fue introducido por Thornthwaite y se define como la pérdida total de agua, que ocurría a pesar de que en ningún momento existiera deficiencia de agua en el suelo durante el uso de la vegetación.

La evapotranspiración está constituida por las pérdidas totales, es decir evaporación de la superficie (del suelo y agua) más transpiración de las plantas.

Se define como el uso consuntivo, la suma de evapotranspiración y el agua utilizada directamente para construir los tejidos de las plantas. (Villón, Bejar, 2002)

2.1.7 DISPONIBILIDAD Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA

La disposición del agua es muy cambiante en nuestro planeta, ya que en algunos lugares escasea y en otros es todo lo contrario. Según la (FAO, 2017) se estima que en el mundo existen unos 1 400 millones de km³ de agua, de los cuales 35 millones (2,5 por ciento) son de agua dulce. Gran cantidad de agua dulce proveniente de las capas polares, glaciares y acuíferos profundos no es utilizable. El agua dulce que puede ser usada procede esencialmente de la escorrentía superficial del aguade lluvia, generada en el ciclo hidrológico. El agua se recicla continuamente por laevaporación causada por la energía solar. El ciclo hidrológico consume diariamente más energía que la utilizada en toda la historia de la humanidad.

En el (CUADRO I) se puede observar la distribución de los recursos hídricos a nivel mundial.

CUADRO I: Distribución Del Recurso Hídrico A Nivel Mundial

Distribución De Los Recursos Hídricos Mundiales			
	Volumen de agua (millones km3)	Porcentaje de agua dulce	Porcentaje del total del agua
Agua total	1 386		100,00
Agua dulce	35	100,0	2,53
Glaciares y capas polares	24,4	69,7	1,76
Agua subterránea	10,5	30,0	0,76
Lagos, ríos y atmósfera	0,1	0,3	0,01
Agua salina	1 351		97,47

Fuente: (FAO, 2017)

El promedio anual de precipitación sobre la tierra alcanza 119 000 km³, de los cuales alrededor de 74 000 km³ se evaporan en la atmósfera. Los 45 000 km³ restantes fluyen hacia lagos, embalses y cursos de agua o se infiltran en el suelo alimentando a los acuíferos. Este volumen de agua se denomina convencionalmente «recursos hídricos». No todos estos recursos son utilizables, porque parte del agua fluye hacia ríos remotos y parte durante inundaciones periódicas. Se estima que de 9 000 a 14 000 km³ son económicamente utilizables por el hombre, nada en comparación con la cantidad total de agua en la tierra. Las extracciones anuales de agua para uso humano ascienden a alrededor de 3 600 km³. Parte del caudal de agua superficial debe seguir su curso natural para asegurar la dilución de efluentes y para asegurar la conservación de los ecosistemas acuáticos. (FAO, 2017)

La calidad del agua es un factor que influye de manera significativa sobre la salud y la producción. Para los seres humanos y para los rumiantes, los criterios que definen la calidad del agua son similares y los principales parámetros son: características organolépticas (olor y sabor), características físico-químicas

(PH, sales totales, dureza), presencia de sustancias químicas (nitratos, sulfatos, sodio, minerales en general), de minerales en exceso, de compuestos tóxicos (arsénico, fosforados, etc.) y de microorganismos (bacterias, parásitos). (Malca, 2018)

Según (Malca, 2018) el consumo de agua de mala calidad lleva a una disminución en el consumo de alimentos, a problemas digestivos, a una menor performance productiva, a una pérdida de estado y a una alteración de la reproducción. Sin embargo, los límites determinan que la calidad del agua es relativa y están asociadas a la categoría, a su estado productivo y al grado de acostumbramiento.

2.1.8 ESCASEZ DEL AGUA

La escasez de agua no necesariamente significa pobreza, como se deduce de un análisis de áreas geográficas. Hay países relativamente ricos con escasos recursos hídricos y países pobres con abundancia de agua dulce. La sociedad humana desarrollada dispone de recursos científicos, técnicos, económicos, institucionales, políticos para adecuar la disponibilidad de agua a la demanda y viceversa, de un modo tendiente a la sustentabilidad, siempre y cuando las actividades económicas se modifiquen convenientemente y esa sustentabilidad sea un objetivo social deseado y participado. (Custodio, 2002)

Globalmente, las cifras de recursos hídricos muestran que la situación es delicada, teniendo en cuenta las proyecciones demográficas y las demandas de agua. La situación ya es crítica en varios países y regiones, pues tanto la población como los recursos están distribuidos irregularmente. La escasez de agua dulce y la competencia entre los usuarios está aumentando en cada vez mayor número de zonas del mundo. (FAO, 2017)

2.1.9 CAMBIO CLIMÁTICO

De acuerdo con el informe de la FAO (2006), la producción pecuaria es una de las principales causas de problemas ambientales, incluyendo el calentamiento del planeta del que se estima el ganado es responsable del 18% de las emisiones 15 de gases que producen el efecto invernadero, además de su influencia en el cambio de uso de suelos y la contaminación de las fuentes hídricas. Lo anterior ha llevado al desarrollo de herramientas, técnicas o indicadores tendientes a medir el impacto de las actividades desarrolladas por el ser humano y su influencia en el medio ambiente. Una de esas técnicas de medición está constituida por la Huella Hídrica (HH), indicador que promueve el análisis del uso eficaz y la productividad del recurso hídrico. Esta medida es multisectorial, geográfica y temporalmente explícita, incluyendo en la estimación tanto el uso de agua directa como indirecta, pudiendo ser calculada para un proceso, producto, consumo y grupo de consumidores o productores.

2.1.10 CONSUMO DIRECTO DE AGUA DEL GANADO

El agua es el nutriente más importante para el ganado, las vacas tienen entre el 55% y el 81% de agua, según el momento de su ciclo productivo y la pérdida del 20% son fatales. Vale la pena señalar, que a pesar de que nunca hayamos visto morir una vaca de sed por falta de agua, sí se puede decir que su escasez produce grandes pérdidas, originadas tanto por un descenso de la producción como por el incremento de las enfermedades. El agua está implícita en todas las funciones del organismo: la digestión de los alimentos, el metabolismo de los nutrientes que estos contienen y su transporte, como también en el oxígeno, en la sangre y en el resto de los tejidos, la excreción de los desechos por la orina y las heces, el control de la temperatura a través de la evaporación, la amortiguación del cerebro, las articulaciones o el feto y por supuesto en la producción de leche. La leche es en un 87% agua. (González, 2018)

Un 97% del agua necesaria se adquiere bebiendo, pero también comiendo e incluso a través de las reacciones metabólicas como las de oxidación; eso sí, esta última en mucho menor cantidad. Igualmente, se pierde agua por la orina, las heces, en las distintas maneras de evaporación y en nuestras vacas, por la leche.

Según (Araujo-Febres, 2005) el consumo de agua en ganado bovino en condiciones tropicales está condicionado por la temperatura ambiente, humedad relativa y el consumo de materia seca; también, señala que el ganado europeo consume mayor cantidad de agua que el ganado cebú.

2.1.11 RELACIÓN ENTRE EL RECURSO HÍDRICO Y EL SISTEMA PRODUCTIVO BOVINO

El agua es una sustancia esencial para la vida, su carencia puede afectar negativamente el organismo e inclusive, llegar a ser fatal; premisa que aplica también a las especies bovinas, cuyo peso corporal está constituido entre 55 y 81% por este fluido vital. De modo que, su insuficiencia afecta negativamente la función digestiva, reproducción, metabolismo, niveles de oxígeno en la sangre y tejidos, regulación de temperatura, excreción, articulaciones. En consecuencia, influye directamente sobre la salud animal y la producción ganadera (González, 2018)

La escasez de agua, su mala calidad y una sanitización inadecuada son factores que ya amenazan la seguridad alimentaria de las familias pobres de todo el mundo mermando los sistemas de vida y las perspectivas educacionales. Igualmente, el cambio climático está exacerbando la escasez de agua en algunas regiones, mientras que otras observarán un incremento o incluso serán víctimas de excesos hídricos. Se prevé que eventos tales como sequías e inundaciones se multipliquen tanto en frecuencia como en intensidad, profundizando el hambre y la mala nutrición en algunos de los países más pobres del mundo. (FAO, 2018)

Para cubrir la creciente demanda de productos animales, el sector ganadero la intensifica el uso del agua para sufragar la demanda y al hacerlo aumenta la competencia con otros usuarios y servicios ambientales. Además de la escasez de agua, uno de los desafíos centrales que enfrenta el sector ganadero es el manejo y disposición de los residuos, dado que las heces y la orina pueden ser peligrosas para el ambiente. (FAO, 2018)

2.1.12 CONSUMO DEL SISTEMA HÍDRICO EN SISTEMAS PECUARIOS

Según Charlón (2005) el animal se abastece de agua a través de: el agua de bebida, la contenida en la dieta y la metabólica. La que mayor aporta al agua total del agua consumida es la de bebida. Por otro lado, existen factores que intervienen en la necesidad del consumo de agua como lo son: la raza, el estado fisiológico, la producción láctea, la temperatura, la dieta y la disponibilidad y concentración de sales en el agua.

De igual forma, la temperatura ambiente es un elemento fundamental que interviene en el consumo de agua. En la época seca siempre hay un mayor consumo, pero también hay mayor evaporación en represas o estanques. Otro de los factores responsables del consumo de agua de bebida en los bovinos es el tipo de alimentación que reciben los animales. Como regla general todos los forrajes secos y/o concentrados demandan mayor cantidad de agua de bebida, que los forrajes verdes, aunque estos últimos contiene mayor cantidad de agua

2.1.13 MÉTODO THORNTWHAITE

Thornthwaite en 1948 propuso una clasificación climática cuya principal característica era la utilización de la evapotranspiración potencial como parámetro fundamental para la delimitación de los distintos tipos climáticos.

Una ventaja evidente de utilizar dichas variables es que son fácilmente medibles; sin embargo, según opinión de Thornthwaite, el empleo de cifras directas de temperatura y precipitación para definir las fronteras entre tipos climáticos era un procedimiento excesivamente rudimentario y los valores de temperatura y precipitación observados en los límites de vegetación de una región difícilmente

Coincidían con los valores correspondientes en regiones distantes. Thornthwaite consideró necesario emplear variables más complejas, que permitieran resumir la acción recíproca entre la vegetación y la atmósfera. (Thornthwaite, 1948)

Sistema de Thornthwaite

Se basa en el concepto de evapotranspiración potencial y en el balance de vapor de agua, este contiene cuatro criterios básicos: **índice global de humedad, variación estacional de la humedad efectiva, índice de eficiencia térmica, y concentración estival de la eficacia térmica.**

La evapotranspiración potencial (ETP) se determina a partir de la temperatura media mensual, corregida según la duración del día. El método de Thornthwaite para el cálculo de evapotranspiración potencial fue desarrollado en los Estados Unidos en experimentos realizados entre las latitudes 29° a 43° Norte, en tanques de 4 m² y nivel freático constante a medio metro de profundidad.

2.1.14 SUELOS

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, diminutos organismos vegetales y animales, aire y agua. Las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo son descompuestos por los microorganismos, transformados en materia orgánica y mezclados con el suelo. El tamaño de las partículas minerales que forman el suelo determina sus propiedades físicas textura, estructura, porosidad y el color. (FAO, 1999)

Según su textura podemos distinguir tres tipos de suelos: arena, arcilla y limo. La arena es la que existe en los diversos ríos. Los suelos arenosos, como son más sueltos, son fáciles de trabajar, pero tienen pocas reservas de nutrientes aprovechables por las plantas.

La arcilla son partículas muy finas y forman barro cuando están saturadas de agua. Los suelos arcillosos son pesados, no drenan ni se desecan fácilmente y

Contienen buenas reservas de nutrientes. Son fértiles, pero difíciles de trabajar cuando están muy secos. Suelos franco-arcillosos: manchan la mano y se pueden moldear. (FAO, 1999)

El ganado tiene influencia sobre el ciclo del agua a través de los mecanismos de infiltración y retención. Este impacto depende del tipo de uso de la tierra; por consiguiente, sufre modificaciones derivadas de los cambios en el uso de la tierra. (FAO, 2009)

2.1.15 MATERIA ORGÁNICA.

La materia orgánica contribuye al crecimiento de las plantas a través de sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La **Función Nutricional** es la que sirve como una fuente de N, P y S para el crecimiento de las plantas, una **Función Biológica** que afecta profundamente la actividad de la microflora y la microfauna; por último, la **Función Física** en lo que promueve una buena estructura, con lo cual mejora las labores de labranza, aireación y la retención de humedad. (Silva, 1998)

En cuanto a ganadería, (Botero, 2013) afirma que el oxígeno es esencial para permitir la descomposición de la materia orgánica del suelo y la mineralización de los elementos que nutren a las plantas. La compactación de la superficie del suelo reduce la aireación, limita el espacio de suelo que puede ser ocupado y explorado por las raíces y disminuye la cantidad de agua disponible, dificultando en las plantas su capacidad de nutrirse apropiadamente.

2.1.16 RELACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y TEXTURA.

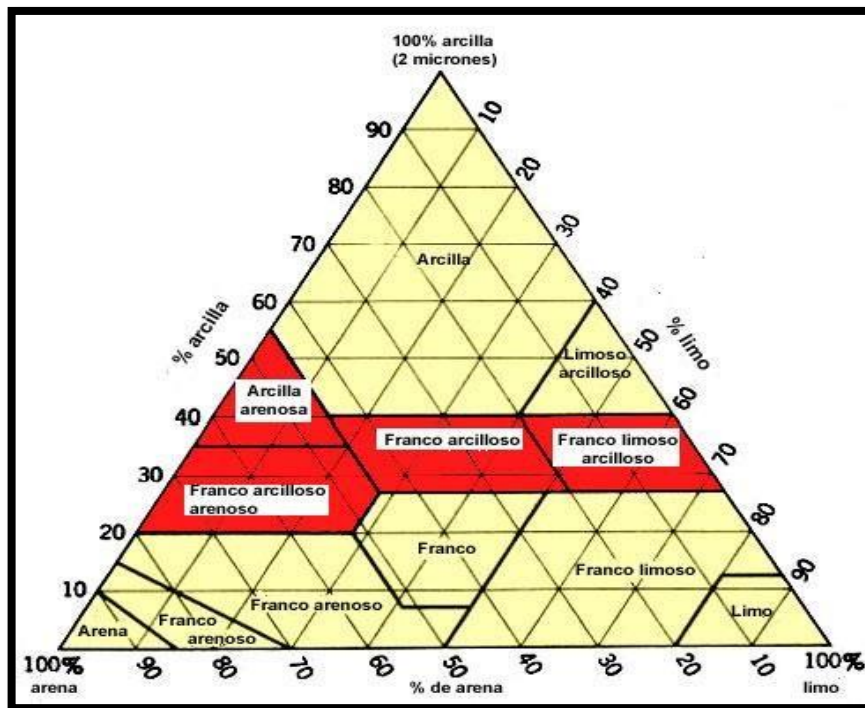
La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con

que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que se retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa (FAO, 2020)

El método del triángulo textural se basa en el **sistema que aplica el USDA según el tamaño de las partículas**, en el que se emplea la clasificación siguiente:

- **Limo**, todas las partículas cuyo tamaño varía de 0,002 a 0,05 mm;
- **Arcilla**, todas las partículas de menos de 0,002 mm.

Figura 1 : Triangulo Textural, Sistema Americano (U.S.D.A)



Fuente: (FAO, 2020)

Según (Matus & Maire , 2000) todo suelo tiene una capacidad limitada para proteger física y químicamente la materia orgánica de la biodegradación en sus partículas de arcilla y limo. Por lo tanto, las tasas a las que el carbono (C) y el nitrógeno (N) se mineralizan en el suelo deben estar relacionadas con el grado de saturación de C en esas partículas. La acumulación de MOS estaría directamente vinculada con la textura del suelo y por la cantidad (calidad constante) del material

orgánico aportado al suelo. La máxima retención de MOS se lograría cuando la tasa de incorporación iguala a la tasa de mineralización (equilibrio). En equilibrio, la tasa de mineralización del suelo no se vería afectada ni por la textura ni por el nivel de MOS.

El conjunto de arenas, limos y arcillas constituyen el componente sólido del suelo, por lo que se denomina "TEXTURA DEL SUELO". En función de su composición los suelos poseen diferentes capacidades de retención de humedad, esto depende también del contenido de la materia orgánica presente, aspectos fundamentales que son básicos para la técnica y buenas prácticas del riego. En realidad, los suelos agrícolas son mezclas de distinto tamaño de partículas estratificadas en capas, es decir arcillas con limo, con arenas finas o gruesas e inclusive con gravas. (Ciancaglini, 2011)

El análisis textural o granulométrico es el conjunto de operaciones útiles para determinar las proporciones cuantitativas de cada fracción granulométrica que presenta un suelo. Existen diversas técnicas para determinación de texturas. Dentro del laboratorio la más común es la que se determina por el volumen de sedimentación, por el método de la pipeta y por el método Bouyucos. (Ciancaglini, 2011).

2.1.17 CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

La mayor parte de la contaminación es de carácter orgánico y bacteriológico, procedente del vertido de residuos animales o de su aplicación, como lo son los abonos. Se produce un incremento en agua y suelo de la concentración de nitratos y otros elementos como lo son el cobre, hierro, cromo, cadmio; al igual que metales como el fósforo y el potasio (Alonso, 1997), sin olvidar los microorganismos patógenos. Su poder contaminante estriba en el desequilibrio con que el medio recibe la introducción de materias orgánicas, inorgánicas y microorganismos (Navarrete, 1990).

La ganadería, principalmente la intensiva, genera un gran volumen de residuos animales que pueden constituir un foco contaminante para el medio ambiente y las aguas subterráneas. Esta contaminación se ve favorecida, a su vez, por la falta o insuficiencia de la impermeabilización de las instalaciones, aplicación en terrenos permeables, que favorecen su infiltración, aplicación continuada sobre un mismo terreno y su aplicación en grandes volúmenes sobre pequeñas superficies. (Martinez Parra, 2007)

2.1.18 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

La conductividad hidráulica es el caudal que pasa o atraviesa una sección vertical unitaria acuífera, bajo la influencia de un gradiente unitario, que está ligada directamente a la porosidad eficaz del terreno, a la interconexión de poros y al tamaño de los poros. También depende del fluido, de su densidad y de su viscosidad. (AGUILAR, 2020)

El conocimiento de la conductividad hidráulica (K), tanto saturada como no saturada, es necesario como dato inicial en modelos numéricos para predecir el comportamiento del flujo del agua o fluidos a través del suelo (Rojas et al, 2008) la cual depende de las características de la matriz y del fluido contenido en el suelo.

El conocer el valor de la conductividad hidráulica es importante en acciones como la explotación y gestión de agua potable y riego, así como en la definición de perímetros de protección de las captaciones, en modelos de simulación y de gestión orientados a plantear regulaciones de los sistemas de explotación y monitoreo de las aguas subterráneas. Es de gran relevancia en la realización de modelado numérico (problema directo e inverso) de flujo y transporte. Además, se puede destacar su empleo en estudios tanto de calidad como de contaminación de las aguas subterráneas, estudios de contaminación ya sea puntual o difusa, almacenamiento de residuos y descontaminación de acuíferos entre otras. (Donado Garzón, 2004)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 SITIO DE ESTUDIO.

El estudio se llevó a cabo en la Finca la Unión, que se ubica en el distrito de Chepo, provincia de Panamá, La ubicación geográfica corresponde a los 09°10' Latitud Norte y 79°06' Longitud Oeste. Con una elevación de la región de 15 metros sobre el nivel del mar.

Según el (Atlas Ambiental 2010), tomando en cuenta nuestra área de estudio, la precipitación promedio anual oscila entre 1,801-2,100 mm, una temperatura media anual dentro de un rango de 26.6 -27°C y el clima según la clasificación de A.Mckay es el climatropical con estación seca prolongada.

Figura 2: Mapa de la ubicación del área de estudio.



Fuente: Google Earth.

Figura 3: Identificación de la Finca Ganadera La Unión



Fuente: Elaboración propia

CUADRO II: Pasturas de la Finca La Unión

PASTURAS DE LA FINCA:
• (<i>Brachiaria Brizantha</i> Marandú),
• (Táner <i>Brachiaria Radicans</i>),
• (Ratana <i>Ischaemun Indicum</i>)

Fuente: Elaboración propia.

CUADRO III: Cantidad Del Hato Ganadero De La Finca

ANIMALES DE LA FINCA	CANTIDAD
Toro	3
Vacas	64
Novillas	14
terneras	13
Terneros	10
Totales	104

Fuente: Elaboración propia

3.2 RECOLECCIÓN DE LOS DATOS.

Para el desarrollo de la investigación, se realizó recorridos por toda la finca tanto en época seca como lluviosa, para seleccionar las áreas representativas de escorrentía superficial dentro del área con la ayuda del mapa topográfico del Instituto Geográfico Nacional INGT 1:25000. Inicialmente, se recolectaron los estudios, mapas y otras informaciones existentes que se aplican al área de estudio. Seguidamente se realizó un análisis de la topografía y suelos de la finca para definir si se puede sectorizar en áreas con propiedades similares.

3.3. PARÁMETROS A EVALUAR

3.3.1. CONSUMO DIRECTO DE AGUA

En cuanto al consumo directo de agua por animal se utilizaron cuatro bovinos de tipo carne de diferentes categorías (CUADRO II); mediante un control por un período de 24 horas realizando mediciones tanto en época seca como en lluviosa, utilizando un bebedero estable previamente marcado, con un intervalo de cada cinco galones dando como resultado un volumen total de 20 galones. La cantidad de agua en los bebederos se midió en dependencia del tipo de bebedero; se utilizaron cintas métricas y recipientes con capacidad de cinco y 20 galones.

CUADRO IV: Categoría y edad de los ejemplares sometidos a estudio

Categoría	Edad
Semental	3 años
Vaca	5 años
Novilla	30 meses
Becerro	7 meses

Fuente: Elaboración propia

El método consistió en medir el volumen de agua ofrecido a los animales al inicio del día (06:00 h) y el volumen de agua residual al final del día (24:00 h) y por diferencia de volúmenes se calculó el consumo directo de agua total para el hato (Meyer et al. 2006, Ríos et al. 2013).

Figura 4: Bebedero para medir el consumo directo de agua



Fuente: elaboración propia.

Figura 5: Envases para medir el consumo de agua



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA.

Para contemplar el consumo de agua directa de los animales fue necesario medir la temperatura y la humedad relativa del sitio en donde se confinaron los bovinos por un período de 24 horas. Esta medición se hizo con el dispositivo llamado termohigrómetro.

La temperatura ambiente elevada, aumenta los requerimientos de agua en los animales. El aumento puede ser entre un 30 y un 60% en meses calurosos. Así, un animal para carne (450Kg), puede consumir 28, 41 o 66 litros de agua según la temperatura ambiente que se presente, que va entre 4, 21 o 32" °C, respectivamente. (Eliseche, 2007). La humedad relativa es la relación que existe entre la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y la máxima cantidad de vapor de agua que el aire sería capaz de contener a una temperatura determinada, medida en porcentaje. Esto está directamente relacionado con la capacidad y eficiencia del animal para la disipación de calor mediante transpiración y respiración, lo cual está negativamente relacionada con el consumo de agua. Una elevada humedad relativa reduce el potencial de disipación de calor de la piel y mediante la respiración. (Pérez García,2020)

Figura 6: Medición de temperatura y humedad relativa con el termohigrómetro



Fuente: Elaboración propia

3.3.3 REQUERIMIENTO DE AGUA DEL PASTO.

Para la determinación de la evapotranspiración potencial en el área se utilizó el método Thornthwaite, basado en los datos de la temperatura promedio mensual del área de estudio, se analizó la cantidad de agua que hay en el lugar mediante la precipitación anual determinando de esta manera la necesidad del uso de agua azul para regar el pasto en ambas épocas del año

La fórmula de Thornthwaite está basada en el índice calor anual I y la temperatura promedio mensual T, según la ecuación

$$ETP = 1.6 [10^* (T/I) \text{ (1)}]$$

Dónde:

e= evapotranspiración mensual en mm/mes de 30 días y 12 horas de duración.

t = temperatura media diaria del mes en cuestión (°C) en la zona de estudio. Calculada a partir de las medias diarias.

I=∑i I: índice térmico anual, que es la suma de los índices de calor mensual i

$$i = (T/5)^{1.514} \text{ (2)}$$

i: índice térmico mensual.

a = coeficiente experimental de ajuste.

$$a = (675 \cdot 10^{-9}) I^3 - (771 \cdot 10^{-7}) I^2 - (1972 \cdot 10^{-5}) I + 0,4924. \text{ (3)}$$

Una vez obtenido ETP hay que corregir su valor para la latitud y n° de horas de sol diarias reales de la zona de estudio. Para ello hay que multiplicarlo por el coeficiente de corrección F, llamado índice de iluminación mensual, que varía con la latitud (n° de horas de sol) y con el mes (n° de días del mes).

Figura 4: Pasturas de la finca



Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Lago de la finca



Fuente: Elaboración propia

CUADRO V: Datos históricos promedios mensuales de temperatura

MES DEL AÑO	TEMPERATURA PROMEDIO
Enero	26.4
Febrero	27.3
Marzo	27.4
Abril	28.1
Mayo	27.7
Junio	27.5
Julio	27.2
Agosto	26.9
Septiembre	26.6
Octubre	26.6
Noviembre	26.6
Diciembre	26.5
Anual	27.1

Fuente: Hidrometeorología ETESA

Los datos históricos promedios mensuales de temperatura se obtuvieron de la estación meteorológica de Filipillo, dada que es la estación más cercana a la finca donde se desarrolló el trabajo de investigación.

3.3.4 CUANTIFICACIÓN DE LA CANTIDAD DE EXCRETAS

En la cuantificación de excretas se utilizaron dos segmentos de la finca, la cuales se dividen en:

- Segmento uno: área de árboles esporádicos
- Segmento dos: área del lago

Determinada estas dos áreas se observaron cuántas excretas se localizaban en las mismas, para tener una estimación de los aportes en lo que respecta la cantidad de aguas grises que llegan a las corrientes de aguas (huella hídrica gris).

3.3.4.1 TOMAS DE MUESTRAS DE SUELOS

Se tomaron muestras de suelos de cada una de las áreas segmentadas (uno) y (dos), a una profundidad de 18 cm, el suelo fue conservado en bolsas plásticas, secado al sol; fue trasladado al laboratorio de suelos de la facultad de ciencias agropecuarias para la determinación de materia orgánica y textura.

Figura 6: Tomas de muestra de suelo





Fuente: elaboración propia

3.3.4.2 DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.

- Pesar 0.5 g de suelo tamizado a través de malla 80 (0.2g de suelo si tiene alto contenido de materia orgánica y hasta 2g si tiene menos de 1%)
- Transferirlas para un matraz Erlenmeyer de 500ml y añadir mediante pipeta 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ de concentración 1N, mezclando el suelo con movimientos del matraz.
- Añadir 20 ml de H_2SO_4 concentrado y agitar durante un minuto, evitando que partículas del suelo queden averiadas a las paredes del matraz fuera del contacto de los reactivos.
- Dejar reposar la mezcla durante 30 minutos
- Simultáneamente se realizó un ensayo en blanco (sin suelo) de la misma forma.
- Agregar 200 ml de agua destilada, 10 ml de H_3PO_4 y 20 gotas de indicador difenilamina, agitar.
- Titular con soluciones ferrosas hasta la obtención de un punto final verde brillante, obteniéndose el viraje bruscamente con una gota en exceso del titulante.

Figura 7: Muestras de suelos de la finca en el laboratorio de la FCA



Fuente: Elaboración propia.

3.3.4.3 DETERMINACIÓN DE TEXTURA DEL SUELO

- Tomamos el suelo a analizar, lo colocamos en una cápsula de aluminio.
- Pesamos la capsula sola, agregamos 10g de suelo y lo colocamos en el horno por dos horas.
- Calibramos el hidrómetro con el blanco.
- En una copa de dispersión colocamos 40g de suelo. Le añadimos 100 ML de dispersante y 100 ML de agua destilada.
- Dejamos reposar por 10 min y luego se agita en la licuadora durante cinco min.
- Transferimos el suelo ya licuado al cilindro de 1000 ML. Sacando todos, los sedimentos del suelo que estaban al fondo de la copa con una botella lavadora con agua destilada.
- Llenamos el cilindro de 1000ML con agua destilada.

- Agitamos con el embolo para dispersar la suspensión.
- Sacando el embolo tomamos los primeros 40s y anotamos los resultados
P
ara el sistema USAD.
- Sin detener el cronometro a los 4min tomamos la lectura para el sistema SICS.
- Con ayuda del termómetro y el hidrómetro tomamos los datos que es temperatura y G/L.
- Sin detener el tiempo esperamos 2 horas y tomamos la segunda (igual para los dos métodos).

3.3.5 HUELLA HÍDRICA GRIS DE LA PRODUCCIÓN GANADERA Y SU POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN

En el hato ganadero de la finca del área de investigación, se realizan baños garrapaticidas a través del método de aspersión manual. Esta actividad no tiene un gran impacto negativo al medio ambiente, ya que el producto se le aplica directamente al animal y es poco lo que afecta al entorno del sitio. En la finca se realizan en promedio dos baños garrapaticidas por año, por la técnica de bomba de aspersión manual, se calculan que con 20 litros se bañan cinco bovinos.

Para evaluar el flujo de aguas grises a través del perfil del suelo y su potencial de contaminación de agua subterránea de la finca, se tomó como referencia la geología existente, consultando el Atlas Ambiental, específicamente, en el mapa hidrogeológico de Panamá (anexo).

El mapa hidrogeológico de Panamá se origina de la recopilación exhaustiva de información de fenómenos o características de las aguas subterráneas estos fenómenos pueden ser estáticos, tal como los datos geológicos, topográficos, hidrológicos, cartográficos o dinámicos, como la profundidad del nivel de agua, caudales extraídos y calidad del agua la cual ha sido analizada y plasmada en el mapa a una escala 1:1, 000,000 (Atlas Ambiental, 2010)

Este mapa tiene como objetivo presentar algunas características de las diferentes formaciones geológicas de Panamá, así como indicar información de carácter local, en este caso la del Área Este de la provincia de Panamá, donde se ubica el área de estudio.

Figura 8: Vista aérea de la finca La Unión en Chepo



Fuente: Elaboración propia

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Evaluación de los parámetros a evaluar.

4.1.1 CONSUMO DIRECTO DE AGUA (AGUA AZUL)

En el CUADRO IV se presentan los datos obtenidos de las diferentes categorías de bovinos; es decir, el consumo de agua que utilizan los sementales, vacas, novillas y terneros en un período de 24 horas durante la época seca, representados en litros; tomando en cuenta la temperatura y la humedad relativa en la Finca la Unión en Chepo.

Figura 9: Vista general de la determinación del consumo directo de agua azul en época seca



Fuente: Elaboración propia.

CUADRO VI: Datos del consumo directo de agua de 4 categorías de bovinos, época seca.

Categoría	Consumo de agua diario (Lt/día)	Temperatura °C	Humedad relativa %	Época
Semental	56.775	26	76	Seca
Vaca	30.28	26	76	Seca
Novilla	22.71	26	76	Seca
Ternero	15.14	26	76	Seca

Fuente: Elaboración propia

El CUADRO V presenta los datos obtenidos del consumo directo de agua, dados en litros, basados en un período de 24 horas, de las diferentes categorías de bovinos, con la diferencia de que estos datos se obtuvieron durante la época lluviosa, de igual forma con la temperatura y humedad relativa de la finca.

CUADRO VII: Datos del consumo directo de agua de 4 categorías de bovinos durante la época lluviosa.

Categoría	Consumo de agua diario (Lt/día)	Temperatura °C	Humedad relativa %	Época
Semental	37.85	24.0	74	Lluviosa
Vaca	24.60	24.0	74	Lluviosa
Novilla	15.14	24.0	74	Lluviosa
Ternero	5.67	24.0	74	Lluviosa

Fuente: Elaboración propia

El CUADRO VI presenta los datos obtenidos del consumo directo de agua, representados en litros para ambas épocas, observando el incremento de consumo basados en porcentajes que se pueden observar claramente en la figura 11 la diferencia del CDA, que durante la época seca el consumo directo de agua incluyendo las diferentes categorías de bovinos fue mayor que la época lluviosa.

Según Palma et al. (2011), el CDA está relacionado al peso vivo, condición corporal, estado fisiológico y raza del ganado. Por otro lado, Arias et al. (2008), explica que los factores ambientales como temperatura, humedad relativa y la precipitación influyen en el CDA, ratifica lo reportado por Arias et al. (2008), quienes indican que en la estación seca el consumo directo de agua se duplica con relación a la estación lluviosa por factores antes mencionados.

Figura 10: Medición de consumo de agua azul en la época lluviosa



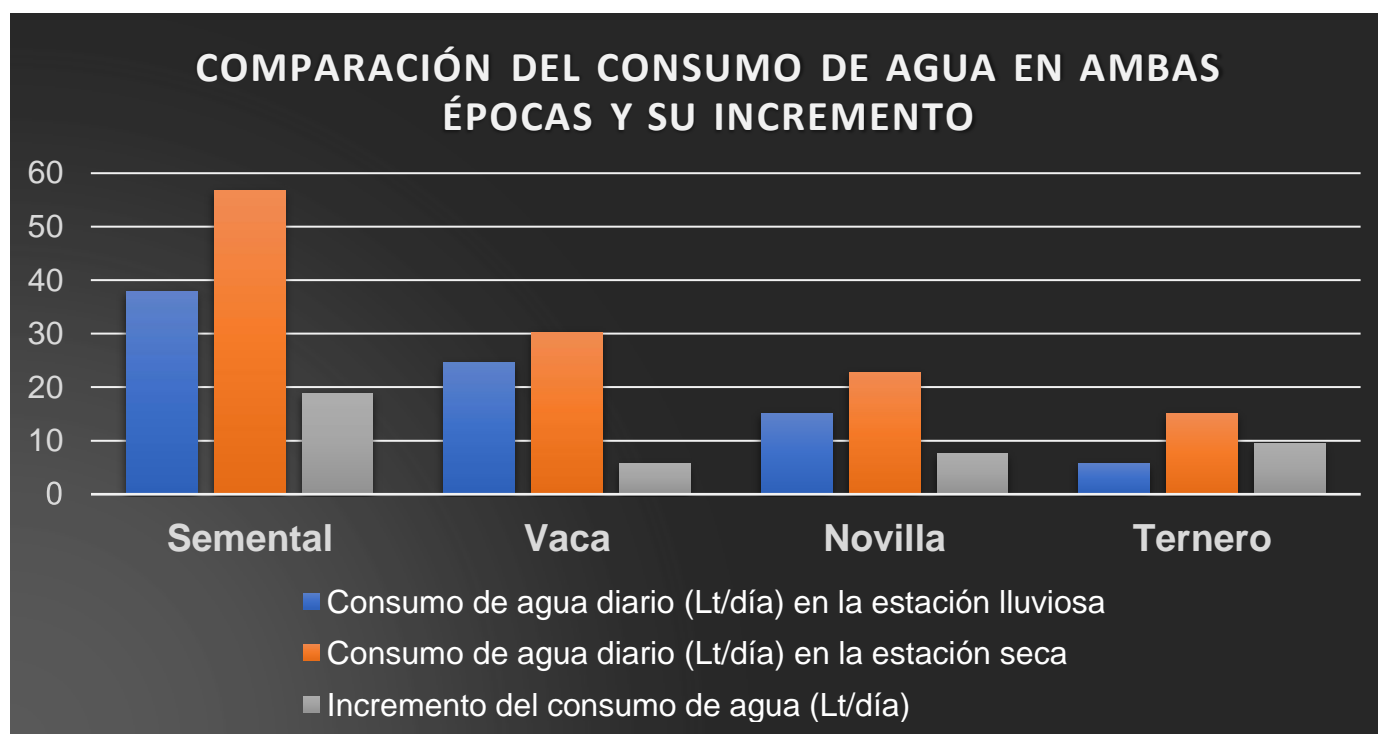
Fuente: Elaboración propia

CUADRO VIII: Consumo directo de agua de 4 categorías de bovinos en ambas épocas

Categoría	Consumo de agua diario (Lt/día) en la estación lluviosa	Consumo de agua diario (Lt/día) en la estación seca	Incremento del consumo de agua (Lt/día), Reflejados en %
Semental	37.85	56.775	18.925 +50 %
Vaca	24.60	30.28	5.68 +23.1%
Novilla	15.14	22.71	7.57 +50 %
Ternero	5.67	15.14	9.47 +16.67 %

Fuente: Elaboración propia

Figura 11: Comparación del consumo de agua en ambas épocas



Fuente: Elaboración propia

Figura 12: Parte del hato ganadero de la finca



Fuente: Elaboración propia

4.1.2 REQUERIMIENTO DE AGUA DEL PASTO

CUADRO IX: Método Thornthwaite

Mes	T (°C) 2	Índice i 3	ETP 4	ETP corregida 5	Días/ Mes 6	PPT-ETP
Enero	26.4	12	130	127.60	31	-100.4
Febrero	27.3	13	148	135.16	28	-125.86
Marzo	27.4	13	150	154.62	31	-137.92
Abril	28.1	14	166	170.42	30	-88.12
Mayo	27.7	13	157	168.68	31	81.72
Junio	27.5	13	152	160.66	30	85.04
Julio	27.2	13	146	157.06	31	44.24
Agosto	26.9	13	140	148.98	31	101.92
Septiembre	26.6	13	134	136.11	30	162.05
Octubre	26.6	13	134	136.55	31	257.15
Noviembre	26.6	13	134	131.21	30	161.99
Diciembre	26.5	12	132	131.04	31	-23.64
Anual	324.8	Índice térmico anual 155		1758.07mm		
a= 3.92						

Fuente: Elaboración propia

T (°C): temperatura

ETP: evapotranspiración potencial

Los cálculos que se muestran en el cuadro, siendo cada una de las columnas como se indica:

2ª C: la temperatura promedio mensual en °C.

3ª C: índice térmico mensual, calculado con la ecuación (ilustración cuatro), siendo además $I = \sum i = 155$.

4ª C: la evapotranspiración mensual en milímetros, sin corregir calculado con la ecuación (ilustración 3), donde el valor de "a" se calculó con la ecuación "a = $(675 \cdot 10^{-9}) I^3 - (771 \cdot 10^{-7}) I^2 - (1972 \cdot 10^{-5}) I + 0,4924$." siendo su valor a **3.92**.

5ª C: es la evapotranspiración corregida con la ecuación

6ª C: son los números de días que tiene el mes.

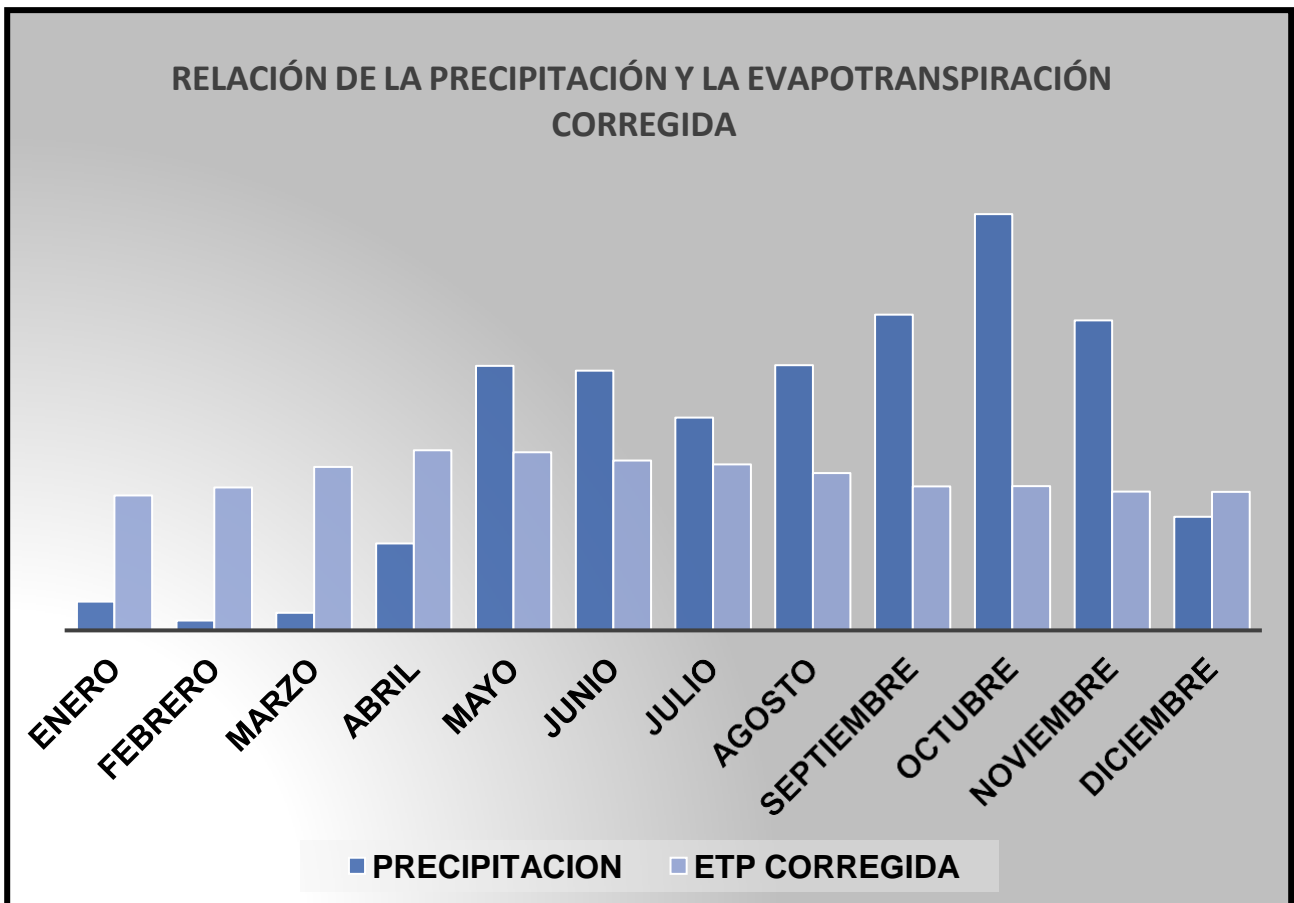
CUADRO X: Precipitaciones promedio mensuales y la ETP corregida (mm)

MES	PRECIPITACIÓN PROMEDIO	ETP CORREGIDA
Enero	27.2	127.60
Febrero	9.3	135.16
Marzo	16.7	154.62
Abril	82.3	170.42
Mayo	250.4	168.68
Junio	245.7	160.66
Julio	201.3	157.06
Agosto	250.9	148.98

Septiembre	298.6	136.11
Octubre	393.7	136.55
Noviembre	293.2	131.21
Diciembre	107.4	131.04
Anual	2,176.7 mm	1758.07 mm

Fuente: Elaboración propia

Figura 13: Relación de la PPT-ETP



Fuente: Elaboración propia.

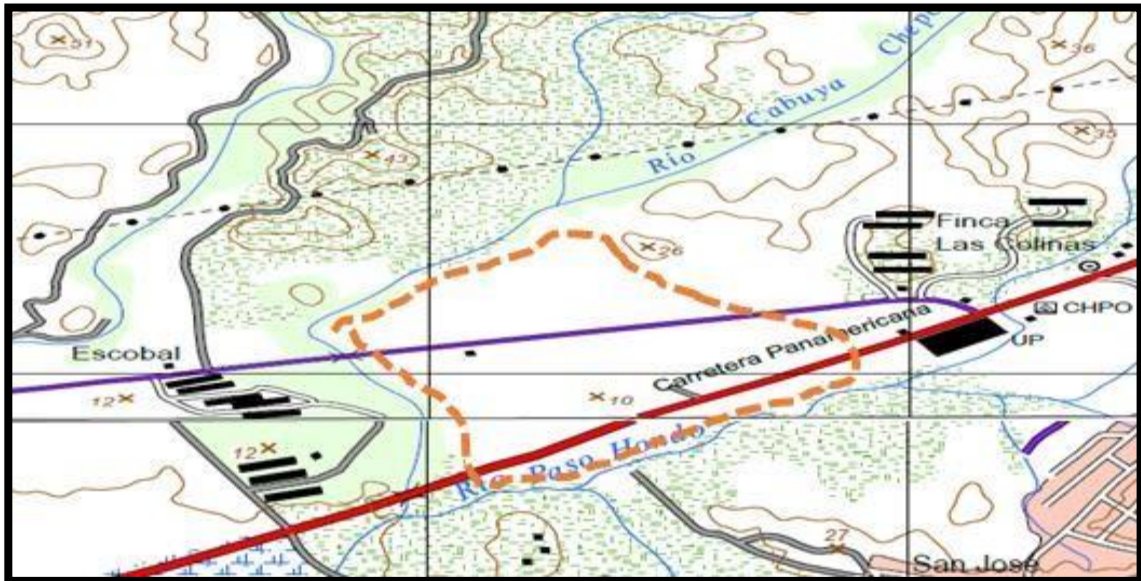
La huella hídrica verde del área de estudio son los 1758.07 mm, en la figura 15, se puede observar la relación que tiene la precipitación con la evapotranspiración en la zona de estudio de una forma más clara, teniendo las mayores precipitaciones en los meses de mayo hasta noviembre y en los meses de enero, febrero, marzo, abril, y diciembre se presenta una variación de menor precipitación; en estos meses donde la precipitación es menor, el hato ganadero se abastece del lago y de ciertas redes de drenajes naturales de la finca.

La relación de evapotranspiración con la precipitación, que se muestra en el CUADRO VIII es positiva (0.8) con respecto a los resultados obtenidos, lo que quiere decir que hay más precipitación pluvial que provee al pasto la cantidad de agua necesaria para realizar el rebrote de manera exitosa ofreciéndole al animal la cantidad de biomasa necesaria por pastoreo; por lo tanto no se hace la actividad de riego, ya que solamente le bastan las precipitaciones que caen durante el año.

4.1.3 EVALUACIÓN DE LA CUANTIFICACIÓN DE EXCRETAS.

El área de estudio es relativamente plana como se puede observar en la figura seis, referente a esto, muy poca agua se escurre hacia la red de drenaje natural que se encuentra dentro de la finca.

Figura 14: Delimitación del área de estudio en mapa topográfico



Fuente: Instituto Geográfico Nacional Tommy guardia 1:25000

Resultados de laboratorio

Determinación de materia orgánica: área de árboles esporádicos

(segmento uno)

Formula de % M.O = $(1-T/S) F$

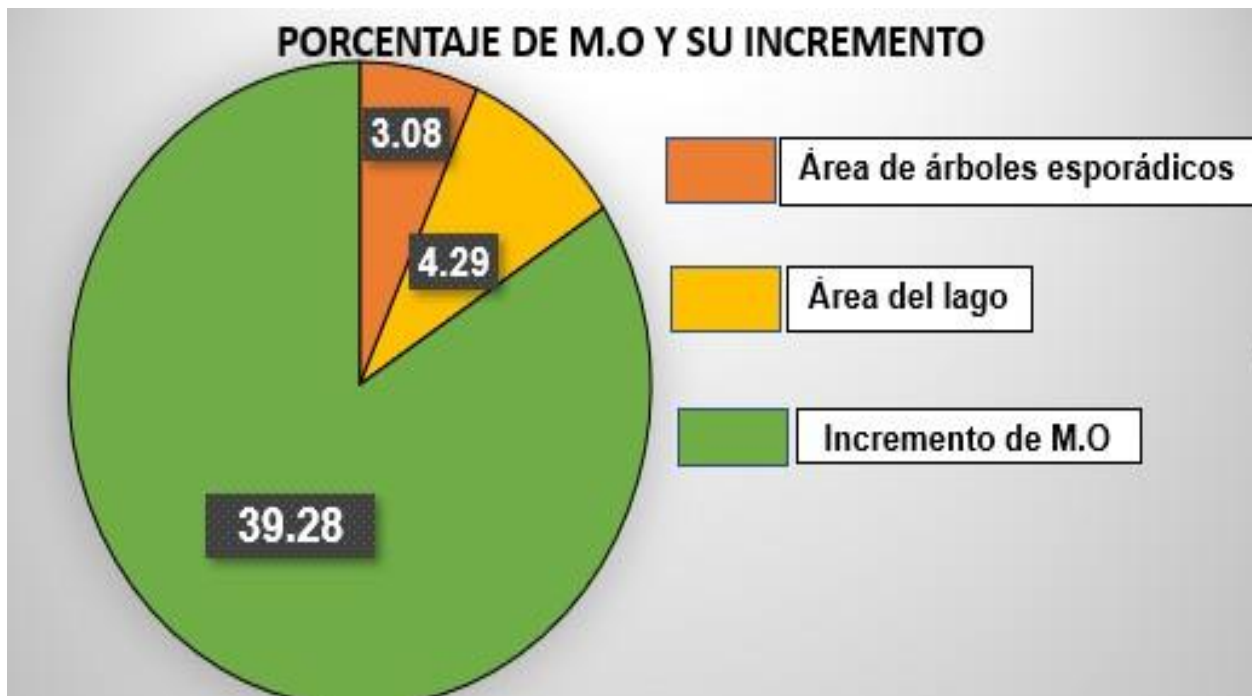
- ✓ S= valoración en blanco, ml de solución ferrosa
- ✓ T= valoración de la muestra, ml de solución ferrosa
- ✓ F= Factor (1.34 para 0.5g de suelo, 0.67 para 1g y 3.35 para 0.2g)
- ✓ Blanco= 11.3
- ✓ Volumen inicial= 11.3
- ✓ Volumen final = 20
- ✓ Factor= 0.5g --- (1.34)

- ✓ % M.O= $10(1-8.70/11.3) 1.34$
- ✓ % M.O= $10(1-0.77)1.34$
- ✓ % M.O= $10(0.23)1.34$
- ✓ % M.O= **3.08.**

Área del lago (segmento dos)

- ✓ Blanco= 11.3
- ✓ Volumen inicial= 20
- ✓ Volumen final = 27.7
- ✓ Factor= 0.5g --- (1.34)
- ✓ % M.O= $10(1-7.70/11.3) 1.34$
- ✓ % M.O= $10(1-0.68)1.34$
- ✓ % M.O= $10(0.32)1.34$
- ✓ % M.O= **4.29**

Figura 15: Porcentaje de materia orgánica de ambos segmentos y el incremento de este.



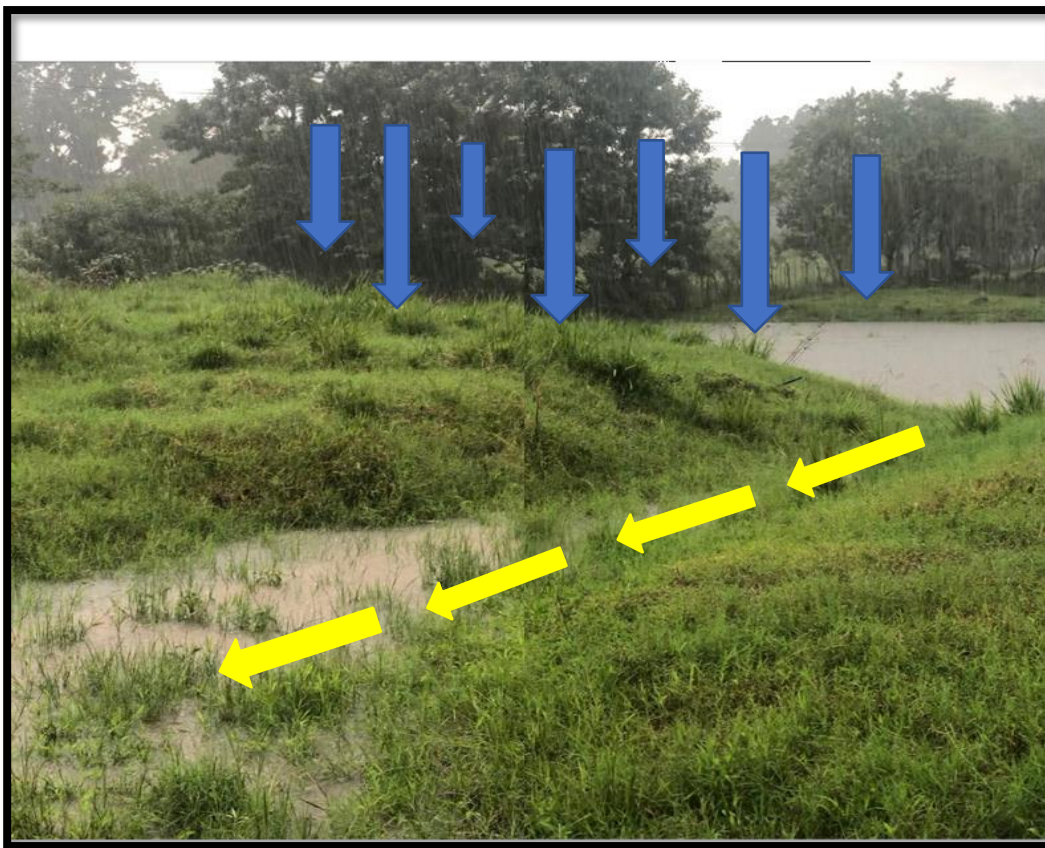
Fuente: Elaboración propia

M.O: materia orgánica

Teniendo en cuenta que el terreno es bastante plano (menos de 1% de pendiente), vale la pena señalar que durante el año de estudio se dio el evento

correspondiente a “La Niña”. Se hicieron las muestras de suelos de dos zonas ya antes mencionado segmento uno y dos, en donde el área de árboles esporádicos presento menor porcentaje de materia orgánica en comparación al segmento dos (área del lago), teniendo un incremento de 39.28% más de materia orgánica, esto es debido a que cuando cae la precipitación en esta zona, las excretas de los bovinos se escurren de manera superficial llegando al lago y al desahogo del mismo donde se deposita gran parte de los sedimentos a través de la escorrentía superficial y la otra se queda infiltrada en el suelo como se puede observar en la figura 16

Figura 16: Área del lago



Fuente: Elaboración propia

Las flechas observadas tienen una representación las cuales significan lo siguiente:

- **Flechas celestes:** precipitación
- **Flechas amarillas:** escorrentía superficial

En esta área las excretas de los bovinos más bien se incorporan o se infiltran al suelo lo que brinda un mayor beneficio a la calidad de este, aportándole materia orgánica. De tal forma, los afluentes colindantes a la finca no tienen un gran porcentaje de contaminación debido a que gran parte de los sedimentos se infiltran en las zonas aledañas al lago, debido a que el terreno no posee grandes pendientes ni depresiones pronunciadas que faciliten la llegada de los sedimentos a las corrientes naturales.

Figura 17: Área con árboles esporádicos



Fuente: elaboración propia

Determinación de textura área de esporádicos árboles (segmento uno)

% arena = 38.62.

% limo = 25.11

% arcilla = 36.27

La clase textural del suelo del sistema USDA en el área colindante al bosque de galería es **FRANCO ARCILLOSO**

Determinación de textura área del lago (segmento dos)

% arena = 26.22

% limo = 17.03

% arcilla = 56.75

La clase textural del suelo del sistema USDA en el área del lago es de **ARCILLA**

Figura 18: Muestra del suelo de la finca



Fuente: elaboración propia

Figura 19: Análisis de suelo en el laboratorio



Fuente: Elaboración propia

Según Martínez (2008) el mejorar y conservar las condiciones físicas, químicas y biológicas de un suelo constituyen la base de su productividad agrícola, la cual depende en gran parte de la presencia o no de MO. La descomposición de la MO del suelo consiste en un proceso de digestión enzimática por parte de los microorganismos. De ésta MO se desprende los nutrientes fácilmente asimilables por los cultivos.

4.1.4 EVALUACION DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS Y SU POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN

La aplicación de productos químicos en este caso, el uso de garrapaticidas para el control de parásitos externos es una práctica extendida y recomendada para el manejo de la sanidad animal en la producción de ganado, siempre y cuando exista la problemática parasitaria.

Al momento de realizar el tratamiento al hato ganadero de la finca de investigación, se utilizan 18 bombas de 20 litros aproximadamente y una de 16 litros, las cuales se usan para realizar el control de parásitos externos; cabe destacar que estos controles de parásitos se deben efectuar cuando hay presencia de los mismo y en su defecto se emplea una bomba con la dosis recomendada de la casa comercial que distribuye el producto a manipular. En tal caso, por lo general se utiliza un total de 376 litros de agua en una aplicación de baños garrapaticidas

Con respecto al promedio se utilizan 752 litros de agua al año (dos aplicaciones).

Figura 20: Método del baño de aspersión para parásitos externos



Fuente: Contexto ganadero, 2020

El agua es contaminada por excretas ganaderas directamente a través de escurrimientos, infiltraciones y percolación profunda e indirectamente por escorrentías y flujos superficiales desde zonas de pastoreo y tierras de cultivo. Cuando el animal recibe exceso de minerales en su comida y éstos no son retenidos, los mismos se eliminan en la defecación y así pueden llegar a los cuerpos de agua. Las masas de agua se ven afectadas por los nitratos que llegan por medio de filtraciones o escurrimientos, aunque el nitrógeno puede llegar también por precipitación del amonio (generado en el estiércol) y para poder ser usado por los cultivos debe ser oxidado a ion de nitrato por bacterias nitrificadoras (Guevara & Martínez, 2017).

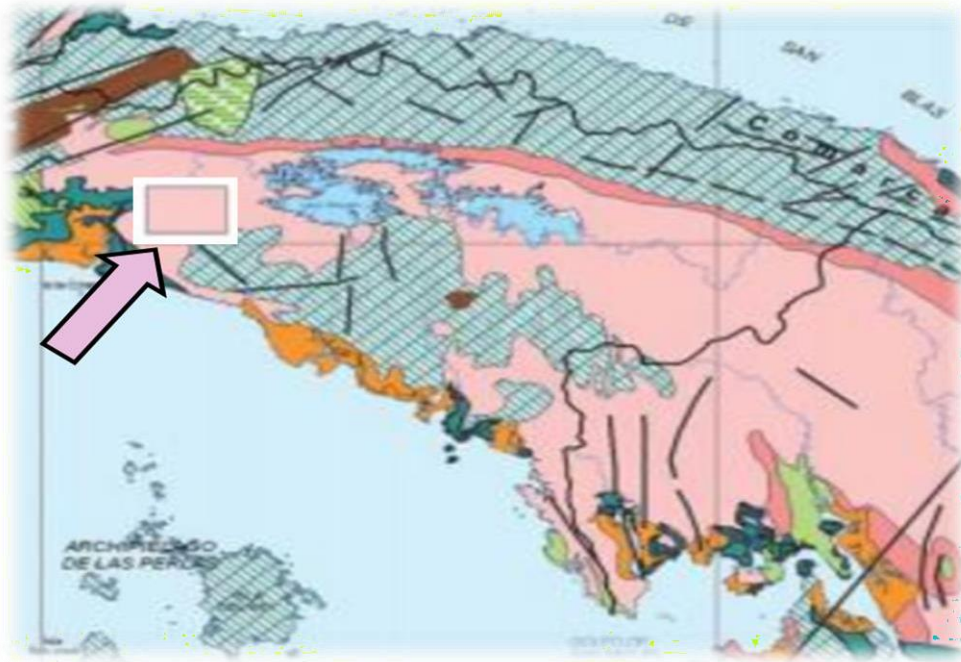
La topografía de la finca es relativamente plana con menos de un por ciento de pendientes, debido a esto la estimación de los aportes de excretas que llegan por medio de escorrentías a las corrientes de agua natural son alrededor del 20 %.

En relación con el potencial de contaminación de aguas subterráneas analizamos la geología del sitio que se compone de una formación Topaliza (TOM-TZ) que incluye:

- Calizas
- Limolitas
- Lutitas
- Areniscas
- Tobáceas
- Tobas

Referente a la Figura 23, la misma presenta áreas con potenciales acuíferos locales (intergranulares o fisurados) de productividad limitada o poco significativa, dentro del área de estudio se presentan acuíferos de baja producción ($Q = 1-3 \text{ m}^3/\text{h}$) (Atlas Ambiental, 2010)

Figura 21: Mapa hidrogeológico, enfocado en el área de estudio



Fuente: Atlas ambiental de Panamá, 2010

Referente a la formación geológica de la zona de estudio, el potencial de contaminación por acuífero es bajo, ya que esta área posee una baja, es más diríamos, muy baja permeabilidad.

La Finca La Unión, ubicada en el distrito de Chepo, dedicada a la ganadería extensiva y posee un aproximado de 109 hectáreas con un hato ganadero de 104 bovinos de tipo carne, es una finca con una topografía relativamente plana (con menos del 1% de pendiente).

Posee un 70% de pasturas mejoradas y alrededor de un 30% de pastos naturales; además, cuenta con la presencia de un lago que tiene a disposición agua durante la época seca, también posee quebradas colindantes a la finca que sirven para abastecer la demanda de agua de los animales.

La huella hídrica de la finca con las condiciones antes mencionadas, en el caso de la huella hídrica azul (aguas superficiales y subterráneas). El consumo directo de agua de los bovinos de diferentes categorías fue más alto en la época seca que en la lluviosa, debido a que las condiciones climáticas exigen una mayor demanda de agua; ya que la temperatura y humedad relativa alcanzan índices altos, teniendo como resultado en el semental un incremento de más del 50%, la vaca de 23.1 %, novillas de 50 % y terneros de 16.6%.

La HH verde se refiere al consumo de los recursos de agua verde, el agua de lluvia en la medida en que no se convierte en escorrentía; dando como resultado 1758.07 mm, manifestando que la precipitación de la zona estudiada cumple con las necesidades de agua para que las mismas cumplan con su ciclo normal de rebrote que garantiza la alimentación adecuada de los bovinos sin tener la necesidad de establecer un sistema de riego.

Por último, la huella hídrica gris se refiere a la contaminación y se define como el volumen de agua dulce requerida para asimilar la carga de contaminantes dadas las concentraciones naturales de fondo y las normas de calidad ambiental; en efecto, el impacto que genera el uso de baños garrapaticidas es mínimo y gracias a la baja permeabilidad de la zona, el agua que cae en el suelo no tiene grandes consecuencias, ya que por tratamientos solo se pierde el 10% por goteo. El Impacto de la Fermentación entérica del Hato Ganadero fue minimizado al propiciarse la incorporación de éstas a la materia orgánica del suelo (+39%).

CONCLUSIONES

- La huella hídrica es un indicador que contempla el uso de agua directo e indirecto, contabilizado en toda su cadena de valor; puesto que permite conocer el consumo de agua real para la producción de un bien o servicio. EL agua azul hace énfasis a aquella que se encuentra en los cuerpos de agua superficial, como lo son: los ríos, lagos, embalses, esteros y nacientes subterráneas. La HH verde se refiere a la evaporación que se experimenta durante los procesos, el volumen de agua evaporada y transpirada, desde los recursos globales de agua verde (principalmente agua de lluvia almacenada en el suelo agrícola en forma de humedad durante el período de crecimiento de los cultivos). El agua gris es el volumen de agua necesaria para que el cuerpo receptor reciba el vertido contaminante asociado a la cadena de producción y/o suministro sin que la calidad del agua supere los límites permitidos por la legislación vigente.
- La época del año es un factor determinante en el comportamiento de la huella hídrica en lo que respecta a la ganadería, este estudio demuestra que el consumo de agua azul por parte de los bovinos fue más alto en la época seca que en la lluviosa, debido a que en esta temporada la temperatura, humedad y otros factores influyen en el consumo hídrico del ganado.
- Las excretas de los bovinos se incorporan a la materia orgánica presente en el suelo, por esta razón se cuantificó la cantidad de heces de dos zonas, donde la zona con mayor presencia de estas fue el segmento uno (área del lago), debido al acumulamiento de sedimentos y escorrentía superficial.
- El potencial de contaminación de acuíferos de la zona de estudio es bajo, debido a la poca filtración de agroquímicos; la formación geológica predominante en el área también favorecen la no contaminación.

RECOMENDACIONES

- Implementar buenas prácticas en el uso y gestión del agua, incluyendo bebederos adecuados que faciliten la ingesta del agua por parte de los bovinos, evitando el desperdicio de este.
- Ofrecer pasturas con mayor porcentaje de retención de agua que suplan las necesidades nutricionales de los bovinos
- Adoptar la práctica de potreros arbolados como una opción para un uso eficaz del recurso hídrico en los pastos y por ende una alternativa para disminuir la huella hídrica en fincas ganaderas. Los sistemas pecuarios con estas características permiten acrecentar la oferta forrajera de las pasturas que optimizan la producción, ya sea de leche o de carne que mejoran el peso del hato, además contribuye a reducir el estrés calórico y ahorro de agua en el consumo directo de los animales.
- Efectuar estudios de la huella hídrica en otros sistemas especializados de la ganadería y en otras áreas del este de la provincia de Panamá, para conocer y obtener la demanda del agua utilizada; de tal forma, llevar un control del desarrollo ganadero en relación con la disponibilidad del recurso hídrico.

Bibliografía

- AGUILAR, W. H. (2020). ESTIMACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN ROCAS. Arequipa.
- Aldaya, M., Niemeyer, I., & Zarate, E. (2011). Agua y Globalización: Retos y oportunidades para una mejor gestión de los recursos hídricos. Madrid.
- Alonso, A. (1997). Generación de purines y contaminación de las aguas. Revista Técnica del Medio Ambiente (mayo-junio). 33-42. Audiencia Provincial de Barcelona (2005). Sentencia de la Audiencia
- Álvarez, A., Herrera, S., Díaz, L., & Noda, A. (2013). Influencia de las precipitaciones y la temperatura en la producción de biomasa de clones de Pennisetum purpureum. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 413-417.
- Araujo-Febres, O. (2005). Factores que afectan el consumo voluntario en bovinos a pastoreo en condiciones tropicales. IX Seminario de Pastos y Forrajes .
- Arévalo, D., Lozano, J., & Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola. Sostenibilidad, Tecnología y humanismo,101-126.
- Arias, R; Maderb, T; Escobara, P. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. Universidad Católica de Temuco, Chile. 16 p.
- Atlas Ambiental, A. (2010). Atlas Ambiental de la República de Panamá. Panamá.
- Benavides, M. (2011). Sostenibilidad de los sistemas ganaderos localizados en el parque nacional natural de las hermosas y su zona de influencia. Tesis Mag.Sc. Palmira. Universidad Nacional de Colombia, 1-135.

- Botero, R. (21 de enero de 2013). Renovación de pasturas degradadas en suelos ácidos de América Tropical. Obtenido de <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/renovacion-pasturas-degradadas-suelos-t29932.htm>
- Botero, R. (2014). Renovación de Pasturas degradadas en suelos ácidos de América Tropical. Costa Rica. Recuperado a partir de http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/PASTURAS_DEGRADADAS_EN_SUELOS_ÁCIDOS.pdf
- Cardona, C. M., & Ochoa, B. C. (2013). La huella hídrica un indicador de impacto en el uso del agua. Bogotá, Colombia: Creative Commons - 4.0 Colombia License.
- Ciancaglini, N. (2011). Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico. San Juan.
- Custodio, E. (2002). ¿Cómo convivir con la escasez de agua? El caso de las Islas Canaria. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Donado Garzón, L. (2004). MODELO DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN SUELOS. Bogotá.
- Eliseche, E. (2007). El agua en la producción bovina. XXXV Jornadas Uruguayas de Buiatría.
- FAO. (NOVIEMBRE de 1999). EL SUELO, DIFERENCIAS SEGÚN SU ASPECTO FÍSICO Y QUÍMICO. Obtenido de EDUCACIÓN AMBIENTAL PARA:
<https://www.fao.org/3/ah645s/AH645S04.htm#:~:text=Los%20suelos%20arillosos%20son%20pesados, trabajar%20cuando%20est%C3%A1n%20muy%20secos.>
- FAO. (2009). La larga sombra del ganado. Roma.
- FAO. (5 de marzo de 2017). Recursos Hídricos Mundiales. Obtenido de <https://www.fao.org/3/Y3918S/y3918s02.htm>

- FAO. (2018). GANADERÍA Y MANEJO SUSTENTABLE DEL AGUA. La Industria Cárnica Latinoamericana.
- FAO. (15 de agosto de 2020). Obtenido de https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm
- González, J. V. (2018). ¿Cuánta agua necesitan mis vacas? Frisona Española, 96-98.
- Hídricos, P. N. (2011). Plan Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Panamá: Novo Art, S.A. en Panamá.
- Hoekstra, A. Y. (2012). El uso oculto de los recursos hídricos detrás de la carne y los lácteos. Animal Frontiers, 3-8.
- Llamas, M. (2005). LOS COLORES DEL AGUA, EL AGUA VIRTUAL Y LOS CONFLICTOS HÍDRICOS. Madrid.
- Malca, M. (2018). Determinación de la huella hídrica en la ganadería lechera en el Fundo Cristo Rey. Cajamarca. Perú.
- Martínez, J., Clavero, T., & Casanova, A. (1996). La producción de los forrajes tropicales depende primordialmente del suministro de algunos nutrimentos, del agua del suelo en el cual se cultiva y de los factores climáticos a los cuales está expuesto, de manera que la producción de pasturas, es una respuesta. REVISTA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA UNIVERSIDAD DE ZULIA, 327-340.
- Martínez, H. E.; Fuentes, E. J. P. y Acevedo, H. E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. J. Soil Sc. Plant Nutr. 8(1):68-96
- MARTÍNEZ PARRA, M. (2007). LA CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA POR PRÁCTICAS GANADERAS. 16.
- Matus, F., & Maire, C. (2000). RELACIÓN ENTRE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO, TEXTURA DEL SUELO Y TASAS DE

MINERALIZACIÓN DE CARBONO Y NITRÓGENO. Talca: Agricultura Técnica, 60(2), 112-126.

- Meyer, U; Stahl, W; Flachowsky, G. 2006. Investigations on the water intake of growing bulls. *Livestock Science* 103(1-2):186-191.
- Navarrete, P. (1990). Incidencia de las prácticas agrícolas en la calidad del agua. Fertilizantes. Ganadería. Tema 5ª del Área VII "Contaminación del agua". XXIII Curso Internacional de Hidrogeología Aplicada. ITGE-ETSIM. Madrid.
- ONU, & DAES. (22 de octubre de 2014). El agua fuente de vida. Obtenido de https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/food_security.shtml
- Palma, E; Cruz, J; Martínez, A; Aguilar, A; Nieuwenhuyse, A. 2011. ¿Cómo construir mejores aguadas para el suministro de agua al ganado? *Turrialba, Costa Rica* 101:62. 62 p
- Pérez García, L. R. (09 de JUNIO de 2020). GANADERIA.COM. Obtenido de Estrés calórico en ganado lechero I: sus componentes y sus efectos: <https://www.ganaderia.com/destacado/Estr%C3%A9s-cal%C3%B3rico-en-ganado-lechero-I:-sus-componentes-y-sus-efectos>
- Pineda Contreras, N., Arellano Godoy, R., Becerra Sánchez, L., Aular Villegas, M. V., Azuaje Valera, M., Pimentel Mendoza, J., & Contreras, E. J. (2011). Caracterización climática de la cuenca del Río Monaquito, subcuenca del Río Motatán-Carache. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*.
- Rascon, L. E., & Jiménez, A. (2005). Principios de Hidrografía. Estudio del ciclo hidrológico. México: Serie Textos Universitarios.
- Ríos, N; Lanuza, E; Gámez, B; Montoya, A; Díaz, A; Sepúlveda, C; Ibrahim, M. 2013. Cálculo de la huella hídrica para producir un litro de leche en fincas ganaderas en Jinotega y Matiguás, Nicaragua. VII Congreso Latinoamericano de Sistemas Agroforestal para Producción Pecuaria Sustentable. Turrialba, Costa Rica. p. 1-5.

- Rodríguez , F., Sotelo , A., Cantos , J., Alfredo , T., García , J., Lastra , X., Sotelo, I. (2011). HUELLA HÍDRICA, DESARROLLO Y SOSTENIBILIDAD EN ESPAÑA. Madrid: FUNDACIÓN MAPFRE.
- Rojas, L. M., Rojas-Palacio, H., Menjívar Flórez, J. C. 2008. Estimación de la conductividad hidráulica saturada in situ en un suelo tratado con vinaza. Acta Agron (Palmira). 57 (2): 125-128.
- Silva, A. (1998). LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO. Montevideo: Facultad De Agronomía.
- Thornthwaite. (1948). DEB consulting.
- Villón, Bejar, M. (2002). Hidrología. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico De Costa Rica.
- Y.Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard. Madrid: AENOR.

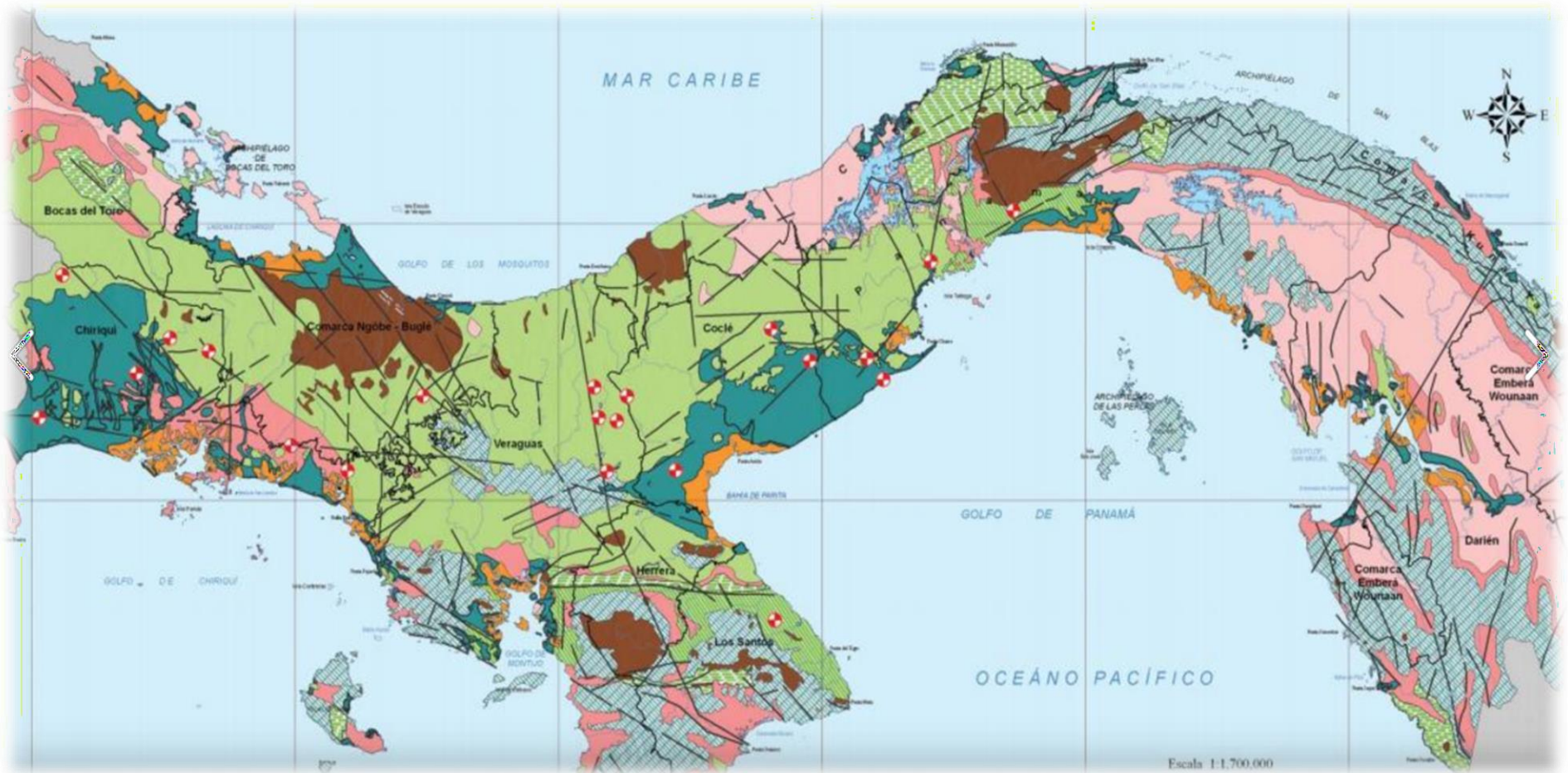
ANEXOS

Figura 22: Factor de corrección Fe, por duración media de las horas de sol expresada en unidades de 30 días, con 12 horas de sol cada una

Latitud	E	F	M	A	M	J _N	J _L	A	S	O	N	D	
Norte	50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70
	45	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
	40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
	35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
	30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
	25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.71	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
	20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
	15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
	10	0.98	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
	5	1.00	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
0	1.02	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	
Sur	5	1.04	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
	10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
	15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
	20	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1.00	1.08	1.09	1.15
	25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
	30	1.20	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.90	0.96	1.00	1.12	1.14	1.21
	35	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.17	1.25
	40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1.00	1.15	1.20	1.29
	45	1.31	1.10	1.07	0.91	0.81	0.71	0.78	0.90	0.99	1.17	1.26	1.36
	50	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41

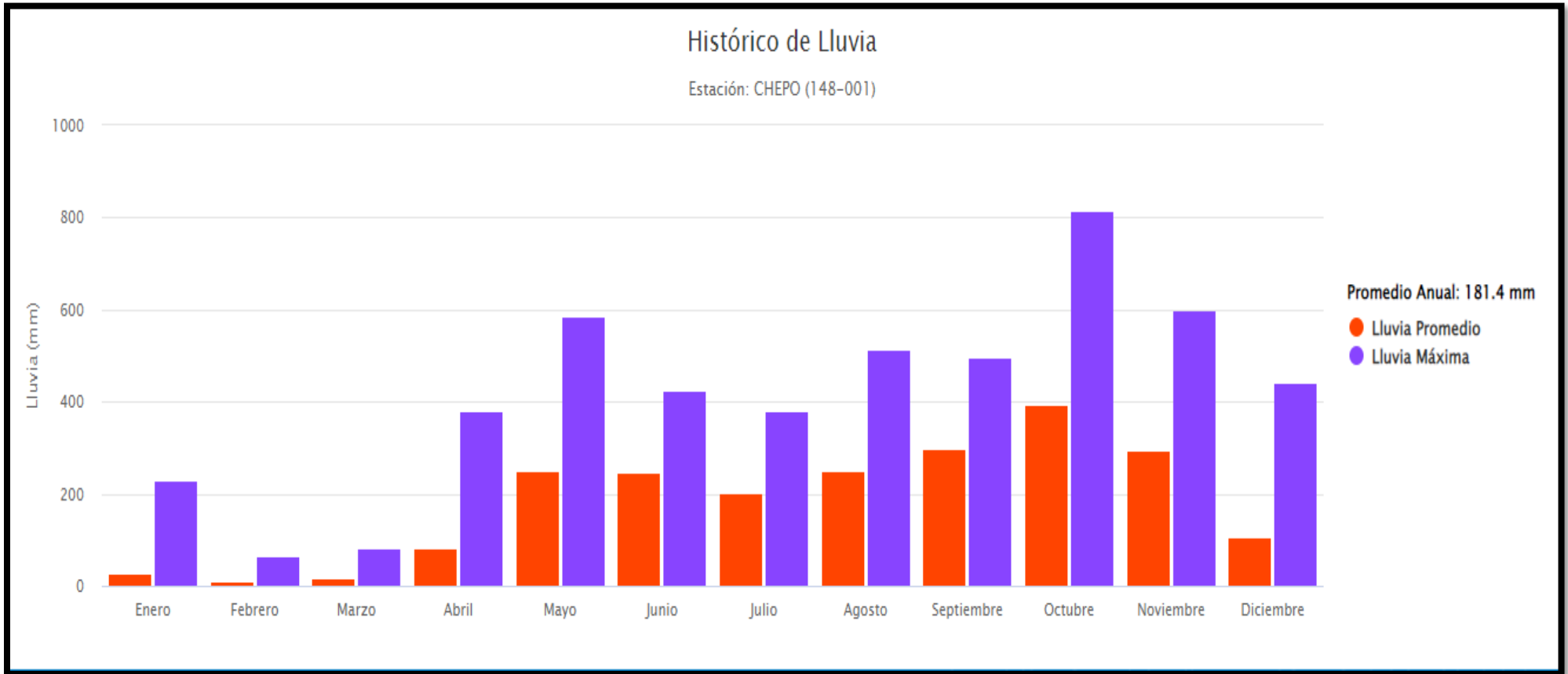
Fuente: (Villón, Bejar , 2002)

Figura 23: Mapa Hidrogeológico Del Istmo De Panamá



Fuente: Atlas Ambiental de Panamá

Figura 24: Histórico De Lluvia En La Estación De Chepo.



Fuente: Hidrometeorología ETESA

