

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CAMPUS TECNOLÓGICO LOCAL SAN CARLOS
ESCUELA DE AGRONOMÍA**

**DISPONIBILIDAD DE AGUA Y SU ASOCIACIÓN CON
PARÁMETROS SANGUÍNEOS DE IONES SODIO, CLORO Y
POTASIO EN VACAS LACTANTES EN FINCAS DE VENECIA Y
AGUAS ZARCAS, SAN CARLOS, COSTA RICA**

Proyecto de graduación presentado como requisito parcial para
optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía

RANDAL GUERRERO SALAS

SAN CARLOS, 2025

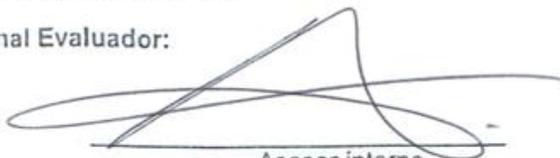
DISPONIBILIDAD DE AGUA Y SU ASOCIACIÓN CON
PARÁMETROS SANGUÍNEOS DE IONES SODIO, CLORO Y
POTASIO EN VACAS LACTANTES EN FINCAS DE VENECIA Y
AGUAS ZARCAS, SAN CARLOS, COSTA RICA © 2025 by Randal
Guerrero Salas is licensed under CC BY-NC-SA 4.0. To view a copy of
this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

DISPONIBILIDAD DE AGUA Y SU ASOCIACIÓN CON
PARÁMETROS SANGUÍNEOS DE IONES SODIO, CLORO Y
POTASIO EN VACAS LACTANTES EN FINCAS DE VENECIA Y
AGUAS ZARCAS, SAN CARLOS, COSTA RICA

RANDAL GUERRERO SALAS

Aprobado por los miembros del Tribunal Evaluador:

Ing. Carlos Orozco Corrales, MBA.



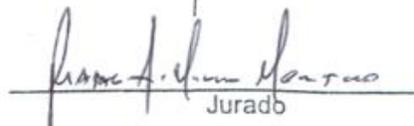
Asesor interno

Ing. Agr. Zoot. Mauricio Barrantes Jiménez, Lic.



Asesor externo

M.V. Rafael Molina Montero, M.Sc.



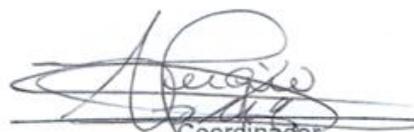
Jurado

Ing. Agr. Zoot. Mónica Madrigal Valverde, M.Sc.



Jurado

Ing. Agr. Sergio Torres Portuguez, M.Sc.



Coordinador
Trabajos Finales de Graduación

Ing. Agr. Sergio Torres Portuguez, M.Sc.



Director
Escuela de Agronomía

DEDICATORIA

Dedico este triunfo a mi Dios Todopoderoso (YHWH), por acompañarme en cada paso y darme la fortaleza necesaria para culminar esta etapa profesional. También lo dedico a mi madre, Matilde de Jesús Salas Salazar, cuyo amor y apoyo incondicional me han permitido alcanzar esta meta, evitando que, en los momentos difíciles, abandonara mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer profundamente a mi asesor, Ing. Agr. Zoot. Mauricio Barrantes Jiménez, Lic., por su constante apoyo y dedicación, desde la formulación del proyecto hasta su presentación. Agradezco especialmente que me haya abierto las puertas de su casa y que haya sido él quien me acompañó y me llevó a las visitas a campo para la toma de datos.

A la Ing. Agr. Zoot. Mónica Madrigal Valverde, M.Sc., por su orientación en el trabajo escrito y su persistente ayuda con las correcciones.

A la Ing. Forest. Ana Marlen Camacho Calvo, M.Sc. por su ayuda desinteresada con el análisis estadístico del proyecto.

También agradezco al Ing. Agr. Juan Carlos Kopper por su amistad y respaldo a lo largo de todos estos años de carrera, a pesar de que nuestra relación comenzó en circunstancias no muy ideales.

Agradezco a la Ing. Agr. Fiorella Villalobos y al Ing. Agr. Ignacio Araya por despejar mis dudas durante la realización del proyecto.

Finalmente, agradezco a mi papá, Heriberto de Jesús Guerrero Sánchez, por siempre estar pendiente de mí, por su constante motivación y por su amor incondicional.

NOMENCLATURA

SIGLAS	DEFINICIÓN
SENASA	Servicio Nacional de Salud Animal
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
CORFOGA	Corporación de Fomento Ganadero
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
OIE	Organización Mundial de Sanidad Animal
AWA	Ley Federal de Bienestar Animal
USDA	United States Department of Agriculture
NRC	National Research Council
NASEM	National Academies of Sciences, Engineering and Medicine
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
CNCPS	Cornell Net Carbohydrate and Protein System
CPM	Cornell-Penn-Miner
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
ENA	Encuesta Nacional Agropecuaria
Na	Sodio ⁺
Cl	Cloro ⁻¹
K	Potasio ⁺
MM	Millones
L	Litro
mmol	Milimol
mm	Milímetro
TMR	Ración Mixta Total
MS	Materia seca
CMS	Consumo de materia seca
ITH	Índice de Temperatura y Humedad
DCAB	Balance catión-anión dietético
DCAD	Diferencia de cationes y aniones de la dieta
MUN	Nitrógeno ureico en la leche
UUN	Nitrógeno ureico en la orina
SARA	Acidosis subaguda ruminal
NaCl	Cloruro de sodio

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
NOMENCLATURA.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Objetivo general.....	16
1.2 Objetivos específicos.....	16
REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
2.1 Sector lechero en Costa Rica.....	17
2.2 Bienestar animal.....	18
2.3 Alimentación y nutrición de vacas lecheras.....	19
2.4 Consumo de materia seca (CMS).....	22
2.5 Ingesta de agua en vacas lecheras.....	23
2.6 Iones sodio, cloro y potasio en sangre de vacas lecheras.....	24
MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1 Ubicación.....	26
3.2 Periodo de estudio.....	27
3.3 Caracterización de fincas.....	27

3.4	Variables de medición	27
3.4.1	Disponibilidad de agua	27
3.4.2	Iones sodio, potasio y cloro en sangre	27
3.4.3	Porcentaje de sodio, potasio y cloro en dieta	29
3.4.4	Índice de temperatura y humedad (ITH).....	30
3.4.5	Correlación de variables de medición.....	30
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1	Caracterización de fincas	31
4.2	Disponibilidad de agua en las fincas	34
4.3	Iones sodio, potasio y cloro en sangre	35
4.4	Porcentaje de sodio, potasio y cloro en dieta	38
4.5	ITH.....	42
4.6	Correlación de variables.....	43
	CONCLUSIONES	50
	RECOMENDACIONES	51
	LITERATURA CITADA	52
	ANEXOS	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Comparación de los requisitos NRC en 2001, FIM en 2004, INRA en 2019, CPM Dairy, versión 3.09 en 2006, para una vaca en lactación de 600 kg que produce 35 kg de leche, con 4% de grasa por litro, sin cambio de peso.	22
2	Distrito, coordenadas, temperatura promedio en grados Celsius (°C), porcentaje de humedad relativa promedio (HR %) y zona de vida de las fincas en estudio.	27
3	Parámetros productivos y reproductivos de las razas lecheras de las fincas de ambos distritos.	33
4	Descripción de la dieta y su composición promedio de los iones por finca.	39
5	Correlaciones de Pearson entre variables de medición en ambos distritos.	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Proceso de extracción de sangre: colocación del adaptador, aguja y tubo para la extracción de sangre. Foto por Mauricio Barrantes.	29
2	Centrifugadora modelo 800B utilizada para la separación del suero y coágulo sanguíneo. Fotos por Randal Guerrero.	30
3	Estación meteorológica de la Dos Pinos. Foto por Mauricio Barrantes.	31
4	Caracterización de los sistemas de las fincas. A) Repastos de Tanner, B) Razas utilizadas por productores, C) y D) Ordeños con máquinas. Fotos por Randal Guerrero.	34
5	Instalaciones de fincas con abanicos, camas y aspersores. Foto por Randal Guerrero.	34
6	Tipos de bebederos en las fincas. A) Medio estañón en las instalaciones, B) y D) Tinas de cemento en las instalaciones, C) Comederos, E) Alcantarilla y F) Medio estañón en repastos. Fotos por Mauricio Barrantes.	36
7	Valores promedio de los iones Na, Cl y K en mmol/L en sangre en el ordeño de la mañana (am) en las fincas de ambos distritos.	37
8	Valores promedio de los iones Na, Cl y K en mmol/L en sangre en el ordeño de la tarde (pm) en las fincas de ambos distritos.	37
9	Valores promedio del ITH en el momento de extracción (ordeño am y pm) de las muestras de sangre en las fincas de ambos distritos.	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo	Título	Página
1	Correlaciones de Pearson entre variables de medición en las fincas del distrito de Aguas Zarcas.	61
2	Correlaciones de Pearson entre variables de medición en las fincas del distrito de Venecia.	62

RESUMEN

La salud y el bienestar animal son fundamentales en los hatos lecheros, ya que el cumplimiento de las libertades animales impacta positivamente en la producción. Este estudio evaluó la disponibilidad de agua en sistemas de producción de bovinos de leche y su relación con parámetros sanguíneos de iones sodio (Na^+), cloro (Cl^-) y potasio (K^+), así como con el porcentaje de materia seca (MS) de estos minerales en la dieta y el índice de temperatura y humedad (ITH). Se caracterizaron 14 fincas lecheras asociadas a la Cooperativa Dos Pinos R.L., ubicadas en los distritos de Venecia y Aguas Zarcas, San Carlos. Se midieron variables como disponibilidad de agua en corrales y repastos, tipos y estado de bebederos, contenido de MS en la dieta, ITH y concentraciones de Na, Cl y K en sangre de vacas seleccionadas aleatoriamente. También se estimaron correlaciones lineales de Pearson entre variables. El 85% de las fincas de Aguas Zarcas manejaban sistemas semiestabulados y el 15% en pastoreo; en Venecia, el 100% eran semiestabuladas. El promedio de vacas en ordeño fue de 77 en Aguas Zarcas y 52 en Venecia, con una producción media de 17 litros/vaca/día, 3 partos promedio, 6,9 meses en producción y 83 días de preñez. Las concentraciones sanguíneas de Na, Cl y K estuvieron entre 124-128, 90-107 y 4.1-11.6 mmol/L, respectivamente, y los porcentajes de MS de estos minerales en la dieta fueron 0.17%, 0.73% y 2.26%. El ITH osciló entre 65 y 85. Se encontraron correlaciones significativas entre Na y Cl en suero ($r=0,66$), longitud de bebederos/vaca en repasto y diferencia de MS ($r=0,67$), y entre los porcentajes de Cl y K en la dieta ($r=0,73$). Se concluye que mejoras en infraestructura y capacitación en manejo hídrico y mineral benefician la eficiencia, el bienestar y la productividad lechera.

Palabras clave: bienestar animal, semiestabulado, materia seca, minerales, índice de temperatura y humedad (ITH).

ABSTRACT

Animal health and welfare are essential in dairy herds, as ensuring compliance with animal freedoms enhances both productivity and well-being. This study assessed water availability in dairy cattle production systems and its association with blood levels of sodium (Na^+), chlorine (Cl^-), and potassium (K^+), as well as the dry matter (DM) content of these minerals in the diet and the temperature-humidity index (THI). The research was conducted on 14 farms affiliated with the Dos Pinos R.L. Milk Producers Cooperative, located in Venecia and Aguas Zarcas, San Carlos. The farms were characterized based on management systems, water availability in corrals and pastures (type and condition of water troughs), DM percentage in the diet, THI, and blood ion concentrations from a random sample of cows. Pearson correlations were calculated among the evaluated parameters. Results showed that 85% of farms in Aguas Zarcas used semi-stabled systems and 15% used grazing, while 100% of farms in Venecia were semi-stabled. The average number of milking cows was 77 in Aguas Zarcas and 52 in Venecia, with an average production of 17 liters/cow/day, 3 calvings per cow, 6.9 months in production, and 83 days of pregnancy. Blood ion ranges were 124–128 mmol/L (Na^+), 90–107 mmol/L (Cl^-), and 4.1–11.6 mmol/L (K^+). The dietary DM content for Na, Cl, and K was 0.17%, 0.73%, and 2.26%, respectively. THI ranged from 65 to 85. Significant positive correlations ($p < 0.05$) were found between blood Na and Cl ($r = 0.66$), trough length per cow and DM difference ($r = 0.67$), and dietary Cl and K content ($r = 0.73$). These findings suggest that infrastructure improvements—such as extended water troughs and automatic cleaning systems—combined with producer training on water and mineral management, can enhance water use efficiency, animal welfare, and dairy productivity.

Keywords: animal welfare, semi-confined systems, dry matter, minerals, temperature-humidity index (THI).

INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, el ganado vacuno es la principal actividad de las fincas agropecuarias, representando el 28,5% del total de las actividades principales realizadas en el país, seguida por el cultivo del café y caña de azúcar (24,3%) y un 21,7% que engloba aves de corral, palma aceitera, entre otras (INEC, 2015b).

El sector ganadero del país se caracteriza por la búsqueda de la reducción de riesgos que puedan afectar a los animales o a los productos derivados, y por consecuencia a los consumidores, esto mediante guías o manuales de buenas prácticas pecuarias en la producción de ganado bovino (leche y carne) elaboradas por instituciones como el SENASA, MAG, CORFOGA, la Cámara Nacional de Productores de Leche, Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L. y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) (IICA, 2018). Dentro de dichas prácticas pecuarias se encuentra la disponibilidad del agua y alimento para los animales, en donde, se hace hincapié en asegurar el acceso al agua limpia y al suministro de alimentos de acuerdo a las legislaciones nacionales e internacionales (en caso de exportaciones) para satisfacer las necesidades de los animales (CORFOGA, 2023; IICA, 2018, 2022).

La salud y bienestar animal son aspectos considerados en la inocuidad de la leche y los productos lácteos (IICA, 2022), por ejemplo, la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L. que se caracteriza por asegurar la salud y bienestar de los animales de sus pequeños y medianos asociados productores, utilizando las mejores y más modernas prácticas de ordeño automatizado para alcanzar una producción de leche de calidad e inocua (Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L., 2023). Al satisfacer las necesidades básicas de los animales expuestos a algún tipo de explotación, su producción aumenta y su bienestar mejora, dichas necesidades están asociadas a las Cinco Libertades animales, dentro de ellas la Libertad de hambre y sed. En el caso de la alimentación, se debe proporcionar una dieta completa (minerales, carbohidratos, proteínas, vitaminas y suplementos) y en la sed, se debe mantener hidratados los animales para mantener un adecuado equilibrio de líquidos (UTN, 2016).

No obstante, al ser el hambre y la sed dos necesidades indispensables a satisfacer en los animales, han existido inconvenientes como la intoxicación hídrica, la cual puede surgir por la privación prolongada del acceso al agua y estrés calórico excesivo, ocurre una deshidratación y ocasiona un desequilibrio electrolítico en los animales, con una concentración elevada de sodio en sangre, luego, gracias al consumo abrupto del agua por parte de los animales para corregir el desequilibrio, se produce una desconcentración a nivel de sangre, ocasionando una hiperhidratación y finalmente una intoxicación que puede terminar en la muerte de animales (Barrantes et al., 2023).

Dada la importancia del recurso agua y la nutrición en animales productivos, el presente trabajo tiene como fin determinar la disponibilidad de agua en los sistemas productivos y su asociación con parámetros sanguíneos de ion sodio, cloro y potasio en vacas lactantes de fincas asociadas a la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L. de los distritos de Venecia y Aguas Zarcas.

1.1 Objetivo general

Determinar la disponibilidad de agua y su asociación con parámetros sanguíneos de iones sodio (Na^+), cloro (Cl^-) y potasio (K^+) en vacas lactantes en los distritos de Venecia y Aguas Zarcas, San Carlos, Costa Rica

1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la disponibilidad del agua y el sistema productivo de las fincas de los distritos de Venecia y Aguas Zarcas.
- Relacionar los niveles de electrolitos sodio, potasio y cloro en la sangre de vacas lactantes con la disponibilidad de agua en las fincas lecheras en estudio.
- Evaluar la suplementación de sodio, cloro y potasio en la dieta de las vacas lactantes y su relación con la disponibilidad de agua y los parámetros sanguíneos.
- Analizar la influencia del Índice de Temperatura y Humedad sobre los niveles de sodio, cloro y potasio en sangre.

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Sector lechero en Costa Rica

En Costa Rica, según el último informe emitido por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) del 2022, el ganado lechero representa el 15,8% del total de ganado vacuno a nivel nacional (238 368 cabezas de un total de 1 509 011 animales), este número por detrás del ganado destinado a la producción de carne (61,7%) y ganado doble propósito (22,4%) (INEC, 2023).

A nivel nacional, la zona norte del país es donde se concentra un mayor número de fincas con ganado vacuno, con alrededor de un 44% del total de fincas en Costa Rica (27,8% en la región Huetar Norte y un 16,2% en Chorotega). En esta zona la provincia de Alajuela abarca alrededor del 52,3% del ganado de leche del país, siendo los cantones de San Carlos, Zarcero y Upala los que presentan un mayor número de cabezas de ganado destinados a producción lechera, con una proporción de 54,1%, 11,6% y 6,9%, respectivamente (INEC, 2015a). Las fincas con ganado de leche utilizan el pastoreo como el principal sistema de producción (71,5%), seguido del semiestabulado (26%) y estabulado (2,5%). Asimismo, los principales sistemas de alimentación se basan en pasturas mejoradas (51,9%), pastura natural (36,2%), pasto de corte (7,7) y alimento balanceado (2,6%) (INEC, 2023).

Las razas lecheras predominantes en el país son el grupo racial Jersey, Holstein, Guernsey, Pardo Suizo, cruces entre sí, entre otras (González & WingChing, 2018). Dichas razas destacan por su sobresaliente producción y calidad de la leche y por su adaptabilidad al trópico, no obstante, se debe tener en cuenta que razas como la Holstein presenta menor rusticidad comparado con la raza Jersey y Pardo Suizo que se adaptan a varios climas (Viguera et al., 2018).

En cuanto a la industrialización de la leche, la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L es la empresa que lidera la industria láctea en el país y la producción de leche bovina (Benavides & Hughes, 2024), con alrededor de 1275 asociados (el 68,23% lo representa Alajuela), 1528 fincas productoras y cerca de 1,3 MM (millones) de litros de leche de calidad premium. Dos Pinos R.L se

caracteriza por la excelencia en la calidad de los productos, por su compromiso con el medio ambiente y por asegurar la salud y bienestar animal (Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L, 2023).

2.2 Bienestar animal

El bienestar animal es un término complejo, pues involucra desde teorías que consisten en diferentes bienes subjetivos u objetivos (Browning, 2022) y factores como los antecedentes culturales, científicos, religiosos y políticos (Lawlis & Allen, 2014). Sin embargo, Sejian et al. (2011), define científicamente el bienestar animal como “la capacidad de un animal para afrontar fisiológica, conductual, cognitiva y emocionalmente su entorno de vida fisicoquímico y social, incluida la experiencia subjetiva del animal de su condición”.

Actualmente, se han descrito Cinco Libertades animales reconocidas internacionalmente y las cuales han sido de referencia como las principales características del bienestar animal en diferentes declaraciones políticas de los países, tratados autorizados y audiencias no especializadas (Mellor, 2016), por ejemplo, en el marco de los derechos de los animales proclamada en 1978 en la sede de la UNESCO (Huber, 2024; UNESCO, 1978).

La primera Libertad animal es la de sed, hambre y desnutrición la cual demanda un fácil acceso a agua potable y a una dieta que mantenga plena salud y vigor. La segunda Libertad es la de incomodidad en la cual se debe proporcionar un entorno adecuado que incluya un lugar seguro (refugio) y de descanso cómodo. La tercera Libertad es la de dolor, lesiones y enfermedades en donde se le debe dar prioridad a la prevención de éstas o al diagnóstico y tratamiento rápido y efectivo. La cuarta Libertad es la de expresar un comportamiento normal adecuando el espacio suficiente, con instalaciones apropiadas y compañía de animales de su misma especie y la quinta Libertad es la del miedo y angustia en la que se garantiza las condiciones que eviten sufrimiento mental al animal (Webster, 2001).

El bienestar animal al incluir rasgos físicos y componentes psicológicos, estos se pueden y deben medir mediante el comportamiento cotidiano del animal (Beaver, 2019), un ejemplo de mediciones es mediante protocolos estandarizadas para ganado vacuno como el proyecto Welfare Quality® (Thomsen & Houe, 2018), que

busca evaluar el bienestar animal integrando la mayor de cantidad de categorías posibles (Welfare Quality®, 2009).

A nivel internacional, la Unión Europea se reconoce como promotora del bienestar animal (Pastorino & de Almeida, 2023), en donde desde 1960 la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA) elabora recomendaciones, directrices y normas como el Código Sanitario para los Animales Terrestres que detalla las medidas sanitarias y las salvaguardias que las autoridades veterinarias (de los países miembros de la OMSA) deben adoptar en temas relacionados con las importaciones y exportaciones (comercio) de animales y sus productos (Scudamore, 2007). En el caso de Estados Unidos, existe la Ley Federal de Bienestar Animal (AWA)(Brown & Winnicker, 2015) la cual regula el trato de los animales usados para investigación, enseñanza, experimentación, exhibición, transporte y comercio, además, es aplicada por medio del programa de Cuidado Animal del Servicio de Inspección Sanitaria de Animales y Plantas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2024).

A nivel nacional, las regulaciones del trato animal rigen bajo la Ley N°7451, Ley de Bienestar de los animales (Ley N° 7451, Ley de Bienestar de Los Animales, 2017). El Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) es el encargado de las competencias de salud animal, salud pública veterinaria y ambiental, el cual debe de cubrir la producción, transformación y distribución de productos de origen animal (SENASA, 2017).

2.3 Alimentación y nutrición de vacas lecheras

En las vacas lecheras lactantes, promover una adecuada ingesta de alimento es clave para optimizar la producción de leche, la salud y la condición corporal del animal (Grant & Albright, 1995), ya que la alimentación es un factor determinante en este proceso.

La alimentación se refiere a la acción de comer y a todos los elementos que la engloban, es decir, formas, métodos, manipulación, almacenamiento, procesamiento, formulación, consumo, calidad de nutrientes y el comportamiento alimenticio de este grupo de animales (National Research Council, 2001). Varios autores sugieren que es común la alimentación con raciones mixtas totales (TMR)

(mezcla de forrajes y concentrados) en vacas lecheras, ya que proporciona los nutrientes equilibrados necesarios, no obstante, se debe tener cuidado con la cantidad y tamaño de partículas, esto porque el ganado tiende a seleccionar su ración, usualmente selecciona las partículas cortas o pequeñas en un intento de consumir los componentes altamente palatables (que se encuentran principalmente en la fracción de las partículas cortas), lo que desequilibra los nutrientes y reduce el valor nutritivo de la ración original, por lo que una TMR debe tener las proporciones y tamaños adecuados de carbohidratos y fibras, ya que un mal balance puede aumentar el riesgo de un pH ruminal deprimido y una acidosis ruminal subaguda (DeVries et al., 2007; DeVries & Von Keyserlingk, 2009; Greter & DeVries, 2011; Miller-Cushon & DeVries, 2009, 2017).

Las dietas pueden ser ofrecidas *ad libitum* (a libre demanda, a voluntad) o con restricciones de cantidad y acceso. Cremilleux et al. (2022) encontraron que, en vacas lecheras estabuladas con comederos individuales, el acceso restringido al alimento reduce el consumo de materia seca (en un 16%) sin afectar significativamente la producción de leche y tiende a aumentar la eficiencia alimentaria debido a una mejor utilización del forraje. La restricción de cantidad de alimento disminuye la síntesis de sólidos de la leche movilizand las reservas corporales y la restricción de tiempo afecta disminuyendo la caseína, la relación caseína/proteína de suero y la lactosa de la leche. En el caso del alimento *ad libitum*, el alimento debe estar disponible cuando las vacas deseen comer, por ejemplo, al amanecer o después del ordeño (Grant & Albright, 2000), además, es importante la accesibilidad del alimento ya que puede existir competencia, comportamientos de desperdicio, pérdida de valor nutricional y la palatabilidad con el pasar del tiempo, entre otros factores (Albright, 1993).

Para Grant & Albright (2000) los factores o componentes clave que determinan el comportamiento alimentario son la jerarquía social, la competencia por el alimento, el agua, el espacio y la disponibilidad del alimento dentro de un grupo de animales. No obstante, DeVries et al. (2003) propone que algunas medidas de comportamiento de alimentación son altamente repetibles dentro de las vacas, pero variables entre vacas y en todas las etapas de lactancia.

En cuanto a la nutrición, son todos los procesos biológicos, fisiológicos y metabólicos que ocurren dentro del organismo después de la alimentación, incluyen la digestión, absorción y el metabolismo de nutrientes. Los nutrientes que requieren las vacas lecheras incluyen el agua, proteínas (aminoácidos), carbohidratos, grasas, minerales y vitaminas (Erickson & Kalscheur, 2019). Actualmente, existen varios sistemas de alimentación que describen los requerimientos nutricionales de las vacas lecheras, dentro de ellos: National Research Council (NRC), Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS), Cornell-Penn-Miner (CPM), entre otros (Lapierre et al., 2018). El Cuadro 1 resume los requerimientos de algunos sistemas de alimentación.

Cuadro 1. Comparación de los requisitos NRC en 2001, FIM en 2004, INRA en 2019, CPM Dairy, versión 3.09 en 2006, para una vaca en lactación de 600 kg que produce 35 kg de leche, con 4% de grasa por litro, sin cambio de peso.

	NRC (2001)	FIM (2004)	CPM Dairy	INRA (2019)	CNCPS 6.5
Ingesta de energía					
UFL				20.9	20.9
Consumo de NEL/día	37.1	37.1	34.5	37.2	37.1
Consumo de ME/día	60.8	60.8	56.4	60.1	57.7
Proteína					
% de PC en dieta en MS	-	-			16.0
MP (g/d)	2450	2208	2496		
PDSI (g/d)				2267	2282
Fibra		RFS 67			
% de NDF en dieta en MS	25	-	-		
CNE g/Kg mínimo	-	-			
% de EE en dieta en MS	-	-	-		
% de Ca en dieta en MS	0.56	Na	62 ^a	57 ^a	62 ^a
% de P en dieta en MS	0,27	Na	56 ^a	45 ^a	52 ^a
% de Mg en dieta en MS	0.13	Na	7 ^a	11.5 ^a	7.05 ^a
% de K en dieta en MS	0.35	Na	219 ^a	143 ^b	191 ^a
% de Na en dieta en MS	0.21	Na	45 ^a	30 ^b	45 ^a
% de Cl en dieta en MS	0.26	Na	54 ^a	61 ^b	54 ^a
% de S en dieta en MS	0.20	Na	47 ^a	32 ^b	40 ^a
ppm* de Fe en dieta MS		Na	15 ^a		40
ppm* de Co en dieta MS	0.11	Na	0.11	0.3	0.09
ppm* de Cu en dieta MS	11	Na	11	10	8.09
ppm de Mn en dieta MS	14	Na	14	50	32.3
ppm Zn en dieta MS	48	Na	48	50	32.3
ppm de I en dieta MS	0.6	Na	0.6	0.8	0.20
ppm de Se en dieta MS	0.3	Na	0.3	0.2	0.24
Vit A IU/Kg en dieta MS	3169	Na	3169	4200 o 6600	
Vit D IU/Kg en dieta MS	864	Na	864	1000	
Vit E IU/Kg en dieta MS	23	Na	23	15 o 40	

Donde: UFL= Unidad de energía neta de lactancia/Kg de MS; NEL= Energía neta en megacalorías; ME= Energía metabolizable en megacalorías; PC= Proteína cruda; MP= Proteína metabolizable; g/d= gramos/días; PDSI= Proteínas digeribles en el intestino delgado; RFS 67= Factor de estabilidad ruminal 67; NDF= Fibra detergente neutro; CNE= Carbohidratos no estructurales; EE= Extracto etéreo; ppm*= partes por millón (mg/Kg); Vit= Vitamina.

^a Cantidades absorbidas (gramos/día).

^b Ingesta (gramos/día).

Fuente: Lean (2021).

Un sistema de alimentación exitoso es aquel que proporciona los nutrientes necesarios a cada vaca para satisfacer sus requerimientos de la manera más económica posible, en las vacas lecheras son cuatro los factores que pueden afectar dichos requerimientos: la curva de producción de leche, curva de grasa y proteína de la leche, curva de pérdida y aumento de peso corporal y la curva de ingesta o consumo de materia seca (Hutjens, 2011).

2.4 Consumo de materia seca (CMS)

La materia seca (MS) es la fracción restante del contenido de la materia prima usada en la alimentación animal (pastos, concentrados, ensilaje, entre otros) una vez removida el agua, es decir, es la porción no acuosa de un alimento donde la suma del contenido de humedad y la MS en un porcentaje del total siempre será igual al 100%. El contenido de MS se determina sometiendo el alimento a altas temperaturas (55°C) en un horno de secado por convección por un tiempo de 24 a 48 horas y el resultado se expresa como una relación con el peso de la muestra original (humedad+MS) o se convierte en porcentaje (Van Saun & Herdt, 2014).

El consumo de materia seca (CMS) es importante porque establece la cantidad de nutrientes del alimento del que dispone un animal para su salud y producción (National Research Council, 2001; Van Saun & Herdt, 2014). El CMS se predice en función del tamaño del animal (peso), la producción y composición de la leche, el crecimiento y la preñez, en algunos modelos o sistemas de alimentación, también se ajusta en función del entorno (Boston et al., 2002).

Aumentar la ingesta de materia seca puede minimizar los trastornos metabólicos, la pérdida de peso y mejorar el rendimiento reproductivo. Cuando la MS es inferior a la prevista, se debe aumentar la concentración de nutrientes para satisfacer las necesidades nutricionales de la vaca (Hutjens, 2011). No obstante, no

se debe caer en los extremos (subalimentación o sobrealimentación de nutrientes) para no provocar afectaciones en la salud animal, un aumento en los costos de alimentación y excreciones excesivas de nutrientes al medio ambiente (National Research Council, 2001).

El ganado lechero alimentado con una ración mixta consume entre 3 a 5 h/día el total de materia seca diario, repartido entre 7 a 12 comidas por día (DeVries et al., 2003). Según (DeVries, 2019), para que una vaca consuma mayores cantidades de materia seca, se necesita ajustar algún aspecto de su comportamiento alimentario, por ejemplo: cómo, cuándo y qué comen las vacas del alimento que se les proporciona, asimismo, el implementar estrategias óptimas del manejo y los patrones de alimentación en las vacas lecheras, mejora la productividad, la salud y bienestar de estas (Johnston & DeVries, 2018).

2.5 Ingesta de agua en vacas lecheras

El agua se considera como el nutriente más importante en vacas lecheras, en donde un suministro de agua limpia (calidad) y cantidad suficiente es esencial en la salud, rendimiento y bienestar animal (Meyer et al., 2004), ya que, se necesita principalmente para el mantenimiento, productividad y termorregulación de las vacas lecheras (VanderZaag et al., 2018).

Para que el agua se considere de calidad, se debe tener en cuenta criterios como las propiedades organolépticas (olor y sabor), propiedades fisicoquímicas (pH, sólidos y oxígeno disueltos totales y dureza), presencia de compuestos tóxicos, presencia de minerales y compuestos en exceso y presencia de bacterias (National Research Council, 2001).

Las vacas lecheras o lactantes consumen grandes cantidades de agua, Appuhamy et al. (2016) con un consumo promedio estimado de $78,4 \pm 2,6$ L de agua por día, aunque esto puede incrementar en las vacas con alto rendimiento hasta 100 L/día (Jensen & Vestergaard, 2021), e incluso, hasta los 189 L de agua diarios, también relacionado a factores como la etapa de lactancia, entre otros (Fraley et al., 2015). Los requerimientos de agua se satisfacen u obtienen de la ingesta de agua libre, el agua contenida en el alimento (forrajes, concentrados, ensilaje, entre otros) y, en menor cantidad, por el agua producida por el metabolismo de nutrientes del

cuerpo (Jensen & Vestergaard, 2021; National Research Council, 2001). Los picos de consumo suelen ser en los horarios de alimentación y ordeño, en donde se ha registrado que más de una cuarta parte de la ingesta de agua libre es durante las 2 horas posteriores a cada ordeño (en el caso de lecherías de dos ordeños al día) en establos de estabulación libre (Cardot et al., 2008). En el caso de sistemas con dietas ricas en forrajes, el consumo o requerimientos de agua suelen aumentar dado a la pérdida de agua en las heces y orina (Dahlborn et al., 1998).

Existen muchos factores influyentes en el consumo de agua voluntaria por parte de las vacas lactantes, modelos predictivos de varios autores concluyen en que la ingesta de materia seca, producción de leche, la naturaleza de la dieta y la temperatura ambiente son los factores más relevantes (Appuhamy et al., 2016; Cardot et al., 2008; National Research Council, 2001; Torres et al., 2019) y en menor medida por la ingesta de sodio y el peso corporal (Meyer et al., 2004).

Estándares oficiales indican que con un bebedero por cada 10 vacas o que el 10% de las vacas de un rebaño puedan beber al mismo tiempo son suficientes para satisfacer el consumo de agua de esta cantidad de animales (National Research Council, 2001; Welfare Quality®, 2009). No obstante, factores como las jerarquías de dominancia social ocasionan que las vacas dominantes monopolicen el acceso al agua y beban más agua que las vacas subordinadas, lo que obliga a que las directrices técnicas revisen los estándares para que se ajusten en vistas de una garantía del bienestar animal (Nizzi et al., 2024). Asimismo, el comportamiento de bebida de las vacas está relacionado con otros factores además de las jerarquías sociales y la cantidad de bebederos, entre ellos se encuentra el suministro de agua en donde según el tipo o diseño de bebederos y la limpieza de los mismos difieren en la conducta de bebida (Burkhardt et al., 2022). En caso de no proporcionar agua a libre demanda puede ocasionar o detonar la muerte de animales (Barrantes et al., 2023).

2.6 Iones sodio, cloro y potasio en sangre de vacas lecheras

El potasio (K) es fundamental para el funcionamiento celular pues interviene en la regulación de la presión osmótica, la transducción de señales, la regulación ácido-base, la transmisión del impulso nervioso y la contracción muscular. El sodio

(Na) es fundamental para la absorción de nutrientes, la regulación de la presión osmótica y la función renal y el cloro (Cl) interviene en la regulación osmótica y es el principal anión en las secreciones gástricas para la digestión de proteínas. Los requerimientos óptimos en términos de materia seca son, 0,15 a 0,25% de Na, 1,0 a 1,5% de K y 0,25 a 0,35% de Cl (National Research Council, 2001). El sodio, cloro y potasio funcionan juntos para mantener el equilibrio hídrico y osmótico y el equilibrio ácido-base (Sánchez et al., 1994).

Actualmente, existen diferentes maneras biológicas para determinar las concentraciones de minerales en ganado bovino tal como pelo, orina, heces, muestras de plasma recolectadas con heparina de litio o ácido etilendiaminotetraacético y, la más común, mediante el suero. El muestreo de sangre o suero se considera como una medida directa del estado mineral o de la nutrición de los animales (Herdt et al., 2000; Hussein et al., 2022). En bovinos se suele recolectar muestras de sangre de la vena yugular, mamaria y coccígea (PANAFTOSA - OPS/OMS, 2017)

Se han estudiado asociaciones de metabolitos sanguíneos con diferentes rasgos, los cuales han demostrado fuertes asociaciones con los de productividad de la leche, porcentaje de lactosa y urea en la leche versus asociaciones insignificantes con los rasgos tecnológicos de la leche (Giannuzzi et al., 2024). En cuanto a los iones de Na, K y Cl y el agua, Shalit et al. (1991) estudiaron los balances de agua, Na, K, Cl, la composición del plasma sanguíneo y las producciones urinarias y fecales en vacas de alta producción de leche en donde encontraron que la secreción de leche aumenta la producción de electrolitos que se compensó parcialmente con un aumento de ingesta de los mismos, asimismo, que al inicio de la lactancia (con ingesta de materia seca limitado) las recomendaciones de electrolitos no satisfacen las necesidades.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación

El proyecto se desarrolló en 14 fincas lecheras asociadas a la Cooperativa Dos Pinos R.L en los distritos de Venecia y Aguas Zarcas del cantón San Carlos. El Cuadro 2 resume la información de las fincas.

Cuadro 2. Distrito, coordenadas, temperatura promedio en grados Celsius (°C), porcentaje de humedad relativa promedio (HR %) y zona de vida de las fincas en estudio.

Distrito	Finca	Coordenadas (CRTM05)	T (°C)	HR (%)	Zona de vida
Aguas Zarcas	1	X: -84,36665 Y:10,49197	24,13	92,22	Basal
	2	X: -84,37316 Y:10,47372	24,13	92,22	Basal
	3	X: -84,34012 Y:10,410427	26,20	84,75	Basal
	4	X: -84,37808 Y:10,38931	26,78	74,94	Basal
	5	X: -84,33758 Y:10,42063	26,51	84,81	Basal
	6	X: -84,38098 Y:10,36024	26,51	84,81	Premontano
	7	X: -84,33273 Y:10,384908	23,79	99,98	Premontano bajo
Venecia	8	X: -84,24545 Y:10,30315	23,20	87,56	Premontano
	9	X: -84,24935 Y:10,27929	23,41	88,83	Premontano
	10	X: -84,30633 Y:10,35083	24,57	75,17	Premontano
	11	X: -84,3099 Y:10,35074	24,57	75,17	Premontano
	12	X: -84,30163 Y:10,37724	24,47	85,98	Premontano bajo
	13	X: -84,22478 Y:10,36581	24,47	85,98	Basal
	14	X: -84,40590 Y:10,59068	23,79	99,98	Basal

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Periodo de estudio

La toma de datos en todas las fincas lecheras inició desde el mes de marzo del 2024 y se extendió hasta mayo del 2024.

3.3 Caracterización de fincas

Se caracterizó 14 fincas lecheras asociadas a la Cooperativa Dos Pinos R.L pertenecientes a los distritos de Venecia y Aguas Zarcas del cantón de San Carlos, dentro de la caracterización de los sistemas se encuentran el tipo de sistema de manejo de las fincas, instalaciones, cantidad de animales en ordeño. Se registró información de las 14 fincas lecheras con ayuda del software VAMMP Bovino y mediante visitas periódicas sobre la cantidad de animales en ordeño, promedio de producción, razas, meses en producción, números de partos, días de preñez, tiempos de ordeño, sistema de manejo (pastoreo, estabulación o semi-estabulación) y metros cuadrados disponibles por animal en las instalaciones del corral de alimentación o de echaderos, presencia de camas, ventiladores y aspersores de ambos distritos.

3.4 Variables de medición

A continuación, se muestra una descripción detallada de las variables de medición en las fincas lecheras

3.4.1 Disponibilidad de agua

En cada finca se registró la cantidad de bebederos en las instalaciones de ordeño y en repastos, se determinó el tipo de bebedero (material), la medición de la longitud, volumen, la cantidad de cm/animal de acceso al bebedero, la ubicación de los bebederos y su limpieza clasificada en buena, regular o malo, en donde buena es bebederos totalmente limpios y sin moho y basura, regular es un poco sucio y mala es bebederos con moho y sarro en el fondo, con una calificación de 3, 2 y 1, respectivamente.

3.4.2 Iones sodio, potasio y cloro en sangre

De forma aleatoria se tomaron muestras de sangre al 10% de la población de vacas en ordeño de cada una de las fincas. El muestreo se realizó después de que las vacas fueron ordeñadas (una colecta en la mañana y una en la tarde). La metodología de colecta se explica a continuación:

1. Se enroscó la aguja en el adaptador Vacutainer®. Se retiró el capuchón protector de la aguja recién en el momento de la punción.
2. Se desinfectó el área de piel sobre la vena coccígea con un algodón embebido en alcohol al 70%, en la dirección del pelo.
3. Se retiró el capuchón de la aguja y se punzó la vena (Figura 1).
4. Se introdujo el tubo Vacuette® CAT suero con activador de coágulo 9ml en el adaptador, presionándolo hasta el límite. Previo a la introducción del tubo, estos se etiquetaron según el número de vaca, el productor (iniciales del nombre) y momento de ordeño (am o pm).
5. Se esperó que la sangre fluyera dentro del tubo previamente mencionado y se retiró asegurando la proporción adecuada.
6. Se retiró el tubo y luego la aguja. Se separó la aguja del adaptador y se desechó en un recipiente para material cortopunzante.
7. Los tubos se colocaron en bandejas y luego en hieleras con un poco de hielo para luego almacenar en refrigeración (0-5°C).



Figura 1. Proceso de extracción de sangre: colocación del adaptador, aguja y tubo para la extracción de sangre. Foto por Mauricio Barrantes.

Los tubos se almacenaron por un máximo de tres días en refrigeración a una temperatura de 0 a 5°C para su posterior centrifugación en la clínica y farmacia veterinaria llamada La Estación Veterinaria. Las muestras se colocaron en una centrifugadora modelo 800B (ver Figura 2) de seis tubos por turno a 2500

revoluciones/minuto por un tiempo de 5 minutos para separar la sangre en suero y coágulo sanguíneo. El suero se trasvasó a nuevos tubos Vacuette de 5 ml para ser llevados al laboratorio Consulab para que mediante la metodología de Ion selectivo determinaran los niveles de sodio, potasio y cloro en sangre.



Figura 2. Centrifugadora modelo 800B utilizada para la separación del suero y coágulo sanguíneo. Foto por Randal Guerrero.

3.4.3 Porcentaje de sodio, potasio y cloro en dieta

Se identificaron los alimentos utilizados en las dietas de cada finca. Se determinó el consumo promedio de los elementos sodio, potasio y cloro en materia seca y fueron obtenidos mediante el registro de los productores en el software VAMMP Bovino. Por otra parte, los técnicos encargados de supervisar las fincas determinaron el consumo de materia seca mediante el método de inversa: multiplicando el peso vivo (kg) de la vaca por 3% (según la NRC 2001 la vaca consume entre 2-4% de su peso vivo en materia seca) para determinar los kg de materia seca que debía consumir por día. Una vez calculado el consumo de materia seca por día, a este dato se le restó el alimento proporcionado en canoas dentro de los corrales (en términos de kg materia seca) y así determinar cuántos kg de materia seca provenientes de pasturas estaba consumiendo el animal. Finalmente, mediante el método Botanal, empleado antes y después del ingreso de los animales a los potreros, se determinó si las vacas consumieron los kg de materia seca correspondientes.

3.4.4 Índice de temperatura y humedad (ITH)

Se determinó el valor de dicho índice que se asocia al estrés por calor en vacas con las variables de temperatura (°C) y humedad relativa (%) de las estaciones meteorológicas de la Dos Pinos (ver Figura 3) ubicadas en las coordenadas CRTM05 X: -84,350834422 Y:10,4201956567 en Aguas Zarcas y en Venecia X: -84,2521935577 Y: 10,3509580629, la fórmula utilizada para determinar el índice ITH fue la siguiente:

$$ITH = (1,8 * T^{\circ} + 32) - \left[\left(0,55 - 0,55 * \frac{HR}{100} \right) * (1,8 * T^{\circ} - 26) \right]$$

Donde:

T°: Temperatura en grados centígrados

HR: Porcentaje de humedad relativa



Figura 3. Estación meteorológica de la Dos Pinos. Foto por Mauricio Barrantes.

3.4.5 Correlación de variables de medición

Una vez recopilados todos los datos, se realizó una correlación lineal de Pearson empleando el programa InfoStat (Di Rienzo et al, 2020) entre todas las variables de medición por distrito (Anexos 1 y 2) y en general, en donde se consideraron los coeficientes significativos cuando $p < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización de fincas

El 85% de las fincas del distrito de Aguas Zarcas contó con manejo semiestabulado y el 15% con pastoreo y en el distrito de Venecia el 100% de las fincas contó con manejo semiestabulado. Para las fincas con sistema semiestabulado, las vacas estuvieron en un promedio de 7 horas estabuladas y 17 horas en pastoreo. Según Vargas et al. (2013), los sistemas de producción de los hatos lecheros afiliados a la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L. se basan en sistemas de confinamiento en pastoreo con un 72,65% y semiestabulado con un 13,26%. A nivel nacional, los principales sistemas de producción del ganado vacuno son pastoreo (89,40%) y semiestabulado (8,66%) (INEC, 2015a). Los resultados de las fincas en estudio no coinciden con lo reportado con la literatura, esto porque estas fincas pertenecen a la minoría que cuentan con sistema semiestabulado, además, cabe resaltar que no hay datos actualizados sobre el manejo actual de las fincas lecheras a nivel nacional.

El ordeño fue realizado dos veces al día en las fincas, el primero de ellos en horas de la madrugada o mañana (rango entre la 1:00 - 4:00 am) y el segundo al medio día o tarde (entre la 1:00 - 4:00 pm), en todas las fincas fue empleado el ordeño mecánico (ver Figura 4). Las variedades de pasto predominantes en los repastos de las fincas fueron el Tanner (*Brachiaria radicans*), Mombaza (*Panicum máximum*) y Brizantha (*Brachiaria brizantha*) (ver Figura 4). En el Cuadro 3 se observa el desempeño reproductivo y productivo de las razas predominantes Jersey, Holstein o cruces entre sí y entre razas indicas como Gyr y Guzerat de los sistemas productivos. En el caso de las pasturas mejoradas y razas, los resultados coinciden con lo reportado para la Región Norte del país (González & WingChing, 2018; Pezo, 2018). Además, los parámetros técnicos coinciden con lo reportado por DiGiacinto et al. (2014), pues en 60 fincas asociadas a la cooperativa, el tamaño promedio fue de 60 vacas en ordeño con niveles medios de producción de 20,9 L/vaca/día en razas grandes (Holstein) y 15,9 L/vaca/día en razas pequeñas (Jersey). Asimismo, las razas Holstein, Jersey y sus cruces, los meses en

producción promedio es de 6 meses en fincas ubicadas en la Zona Norte del país (González & WingChing, 2018).

Cuadro 3. Parámetros productivos y reproductivos de las razas lecheras de las fincas de ambos distritos.

Distrito	Parámetros técnicos ¹				
	Vacas en ordeño	Producción láctea (kg)	Partos	Meses en lactancia	Días de preñez
Aguas Zarcas	77	15,12	3,35	7,7	87
Venecia	52	19,13	2,93	5,85	77

¹ datos promedio por animal

El promedio de metros cuadrados disponibles por animal en las instalaciones del corral de alimentación o echadero fue de 4,15 m² y 5,35 m² en Aguas Zarcas y Venecia, respectivamente. Según Arronis (2006), se necesita de 4 a 6 m² por animal en este tipo de corrales, por lo que el área disponible por vaca fue suficiente en ambos distritos. En cuanto a las instalaciones, el 43% de las instalaciones de las fincas de Venecia contaba con camas, el 14% con ventiladores y el 100% no contó con aspersores; en el caso de Aguas Zarcas, el 100% de las fincas no contó con camas, el 28% poseían ventiladores y aspersores (ver Figura 5). En fincas con sistemas de enfriamiento evaporativo (sistema de aspersores de agua y ventilación) se ha logrado una reducción del ITH de 2,91 puntos, lo que implica una alternativa para disminuir el estrés por calor en las vacas lactantes (Barandín, 2021).

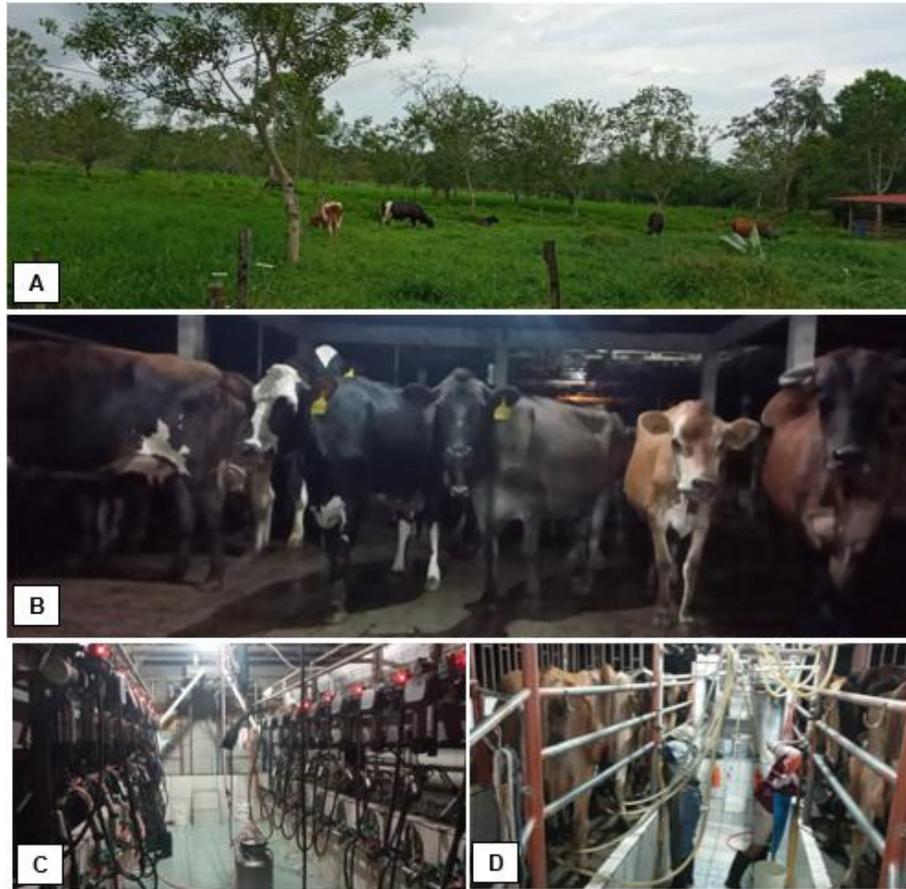


Figura 4. Caracterización de los sistemas de las fincas. A) Repastos de Tanner, B) Razas utilizadas por productores, C) y D) Ordeños con máquinas. Fotos por Randal Guerrero.



Figura 5. Instalaciones de fincas con abanicos, camas y aspersores. Foto por Randal Guerrero

4.2 Disponibilidad de agua en las fincas

Los bebederos utilizados en las instalaciones de ordeño en las fincas fueron elaborados con los de tipo alcantarilla, medio estañón, comederos y tina de cemento, en los repastos el tipo de bebedero usado fue el medio estañón en todos los sistemas (ver Figura 6). La cantidad de bebederos promedio en las instalaciones fue tres y en el repasto fue de uno en cada potrero. La capacidad del volumen de agua de los medios estañones en repastos fue de 124,3 L en promedio y en los bebederos de las instalaciones de ordeño fue de 528,8 L. Cabe resaltar que cada uno de los bebederos cuentan con un sistema de boyas para un llenado automático de los mismos. El valor de la limpieza promedio de los bebederos en Aguas Zarcas fue de 2,13 y en Venecia de 2,62, ambos valores ubicados entre una limpieza regular y buena. La longitud total de bebederos/vacas en instalaciones fue de 17,75 con una capacidad de 6,06 L de agua/vaca en Aguas Zarcas y 23,91 con una capacidad de 6,34 L de agua/vaca en Venecia, en el caso de la longitud total de bebederos/vacas en repastos fue de 1,30 en Aguas Zarcas y 1,2 en Venecia con una capacidad de 1,61 y 2,39 L de agua/vaca, respectivamente.

Según Burkhardt et al. (2022) y Pinheiro Machado Filho et al. (2004), las vacas prefieren beber de bebederos de alto volumen versus bebederos de pequeño volumen, ya que, las vacas pasan bebiendo y toman más sorbos de los bebederos grandes, por lo que aquellos bebederos con altos volúmenes benefician el consumo de agua en las vacas lecheras. Por otra parte, el estado de la limpieza de los bebederos influye en el comportamiento de bebida, en donde el número y la duración de las pausas para beber y el número de sorbos por episodio de bebida son menores en bebederos con limpieza diaria, es decir, bebederos limpios favorecen el consumo de agua en las vacas (Burkhardt et al., 2022).

En el caso de la capacidad de litros de agua por vaca de los bebederos en las instalaciones y repastos, no cumple con lo recomendado en términos de volumen de agua por vaca, pues según Andersson et al. (1984), las vacas pueden consumir entre 15-20 L de agua por minuto, por lo que los bebederos no son capaces de abastecer las necesidades de agua de las vacas en caso de consumir todas al

mismo tiempo. Solo el estado de la limpieza de los bebederos coincide por lo reportado por Burkhardt et al. (2022).



Figura 6. Tipos de bebederos en las fincas. A) Medio estañón en las instalaciones, B) y D) Tinas de cemento en las instalaciones, C) Comederos, E) Alcantarilla y F) Medio estañón en repastos. Fotos por Mauricio Barrantes.

4.3 Iones sodio, potasio y cloro en sangre

En el caso de los valores de las extracciones de sangre de los iones sodio (Na) cloro (Cl) y potasio (K), las Figuras 7 y 8 resumen los resultados para ambos ordeños (am y pm, respectivamente).

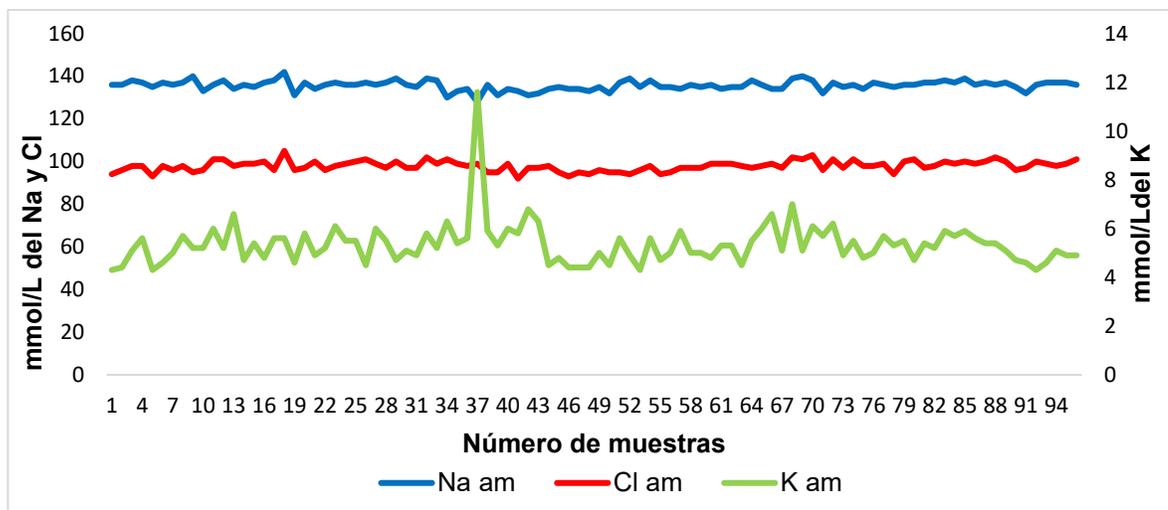


Figura 7. Valores promedio de los iones Na, Cl y K en mmol/L en sangre en el ordeño de la mañana (am) en las fincas de ambos distritos.

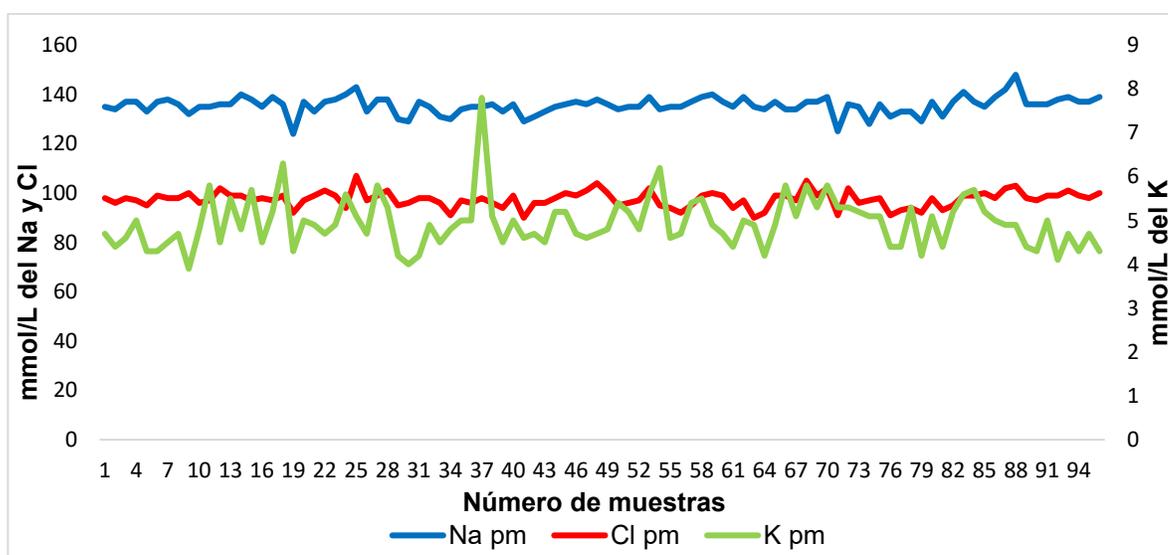


Figura 8. Valores promedio de los iones Na, Cl y K en mmol/L en sangre en el ordeño de la tarde (pm) en las fincas de ambos distritos.

Según NASEM (2021) y National Research Council (2001), los rangos óptimos o valores normales de los iones en el plasma sanguíneo de las vacas lecheras son 150 mmol/L de Na, 90-110 mmol/L de Cl y 5-10 mmol/L de K. En este estudio el ordeño de la mañana (Figura 7), los valores plasmáticos promedio de Na fue 135,67 mmol/L, para Cl 97,93 mmol/L y el K 5,34 mmol/L, todos los valores reportados se encuentran en los rangos óptimos según lo indicado tanto por el NASEM (2021) y

National Research Council (2001), en el caso del K, solo el 1,04% de las muestras sobrepasa el rango máximo óptimo (10 mmol/L). Asimismo, los valores de los iones Na (135,56 mmol/L), Cl (97,46 mmol/L) y K (4,93 mmol/L) en el ordeño de la tarde se encuentran en los rangos óptimos (Figura 8), por lo tanto, los iones Na, Cl y K se encuentran en los rangos normales establecidos para el plasma sanguíneo según dichas instituciones.

Existen otros rangos de los iones en estudio que se consideran óptimos en el plasma sanguíneo, en el caso del Na varía desde 135-155, 142-152 mmol/L para no causar disnatremias (anomalías en la concentración sérica de sodio) (Byers et al., 2014; Plumlee, 2004). En el ganado, la concentración límite de Na, K y Cl por encima de la cual se producen síntomas tóxicos son 156.5, 5.1 y 101 mmol/L en el plasma, respectivamente (Studziński et al., 2006). Según Goff (2018), las concentraciones plasmáticas de K son muy bajas (alrededor de 3,7-5 mmol/L) en contraste con el Na y Cl. Las concentraciones de los iones en sangre de este proyecto coinciden con la tendencia de dichos autores, en donde las concentraciones plasmáticas de K son más bajas comparadas con el Na y Cl.

Por otra parte, en el ordeño de la tarde el promedio de la concentración sérica de Na (-0,11 mmol/L), Cl (-0,47 mmol/L) y K (-0,40 mmol/L) fue numéricamente distante en comparación con el ordeño de la mañana. Según Kadzere et al. (2002), el Na, Cl y K tienen un papel fundamental en la fisiología térmica de la vaca, ya que son componentes importantes del sudor y la sudoración es un mecanismo termorregulador importante para disipar el exceso de calor corporal cuando las vacas lactantes están expuestas a un ambiente cálido, es decir, las concentraciones de dichos electrolitos se reducen cuando el ganado lechero es sometido a un estrés térmico (ITH>75) debido a la pérdida de estos en la sudoración, en la orina y en la saliva. En el ordeño de la mañana el ITH promedio fue de 70,97 y en la tarde de 78,89 (ver Figura 9). Lo anterior coincide en que en condiciones ambientales cálidas y de estrés térmico la concentración sérica de Na, Cl y K disminuye (Kadzere et al., 2002).

4.4 Porcentaje de sodio, potasio y cloro en dieta

Algunos de los alimentos utilizados en las dietas de los productores fueron: alimento balanceado Apolo 16% (Dos Pinos R.L, Costa Rica), Harina de Soya 47% DP (Dos Pinos R.L, Costa Rica), maíz molido DP (Dos Pinos R.L, Costa Rica), Multiplex Oro (Vymisa S.A, Costa Rica), CITROCOM DP (TicoFrut S.A, Costa Rica), Fibrocom PLUS (Dos Pinos R.L, Costa Rica) Minelaza (Inversiones Tortós), Melaza de caña (Ingenio Quebrada Azul, Costa Rica), Heno (Pelón de la Bajura, Costa Rica), GANALAC (Dos Pinos R.L, Costa Rica), PROLAC (Dos Pinos R.L, Costa Rica), Silopaca (Nativet S.A, Costa Rica), destilados (Dos Pinos R.L, Costa Rica), Procreatin 7 DP (Bionutrix S.A, Costa Rica), VAP FEED (Dos Pinos R.L, Costa Rica), secuestrante de micotoxinas (Vymisa S.A, Costa Rica), Buffer Plus (Vymisa S.A, Costa Rica) y pastos (Tanner, Estrella, King Grass, entre otros). Los valores promedio del sodio (Na), cloro (Cl) y potasio (K) en la dieta de todas las fincas en estudio fueron de 0,17%, 0,73% y 2,26% en materia seca, respectivamente. En el Cuadro 4 se describe en detalle la dieta y composición promedio de los iones Na, Cl y K en la dieta para cada una de las fincas analizadas.

Cuadro 4. Descripción de la dieta y su composición promedio de los iones por finca.

Finca	Dieta	Composición de la dieta promedio		
		Na	Cl	K
1	Apolo 16%			
	Mombaza			
	Fibrocom PLUS			
	Ha Soya			
	Multiplex Oro			
	Heno Trasvala	0,16	0,78	2,4
2	Apolo 16%			
	Tanner			
	Fibrocom PLUS			
	Multiplex Oro			
	Minelaza	0,19	0,8	2,3

3	Apolo 16%			
	Mombaza			
	Fibrocom PLUS			
	Ha Soya			
	Multiplex Oro			
	Heno Trasvala	0,21	0,72	2,3
4	Apolo 16%			
	Tanner			
	Zuri			
	Silopaca			
	Fibrocom PLUS			
	Multiplex Oro			
	Melaza			
	Destilados			
	Prolac/Ganalac DP	0,12	0,7	2,24
5	Apolo 16%			
	Tanner			
	Fibrocom PLUS			
	Multiplex Oro			
	Minelaza	0,23	0,73	2,45
6	Apolo 16%			
	Tanner			
	Multiplex Oro			
	Fibrocom PLUS			
	Maíz molido DP	0,13	0,69	2,1
7	Multiplex Oro			
	Tanner			
	Apolo 16%			
	Prolac/Grassetto			
	Prx	0,19	0,7	2,2
8	Tanner	0,192	0,79	2,7

	VAP FEED			
	Procreatin 7 Dp			
	Jefo Dairy Fat			
	Heno Trasvala			
	Destilados			
	Maíz molido DP			
	Secuestrante			
	Mycotoxin A			
	Fibroso			
9	Apolo 16%			
	CITROCOM DP			
	Harina de soya			
	47% DP			
	Maíz molido DP			
	King Grass			
	Tanner			
	Multiplex Oro			
	Melaza	0,195	0,74	1,9
10	Apolo 16%			
	King Grass			
	Heno Trasvala			
	Fibrocom PLUS			
	Tanner			
	Melaza			
	Multiplex Oro			
	Maíz molido DP			
	Buffer Plus			
	Minelaza	0,16	0,57	1,63
11	Tanner			
	Pulpa naranja 17%			
	Heno Trasvala	0,14	0,8	2,32

	Multiplex Oro			
	Apolo 16%			
	Maíz molido DP			
12	Apolo 16%			
	Estrella			
	Multiplex Oro			
	Heno Trasvala			
	Melaza	0,17	0,69	2,1
13	Apolo 16%			
	Tanner			
	Estrella			
	Multiplex Oro			
	Fibrocom PLUS	0,2	0,745	2,5
14	Apolo 16%			
	King Grass			
	Multiplex Oro			
	Tanner			
	Silopaca			
	Melaza	0,148	0,78	2,3

Para vacas en lactancia de raza Holstein y Jersey los requerimientos de los iones Na, Cl y K en términos de materia seca son 0,22%, 0,26% y 1,03%, respectivamente (National Research Council, 2001). En publicaciones recientes, estos valores cambian a 0,21% de Na, 0,29% de Cl y 0,98% de K (NASEM, 2021). Las variaciones de requerimientos se deben a factores tales como la raza, el peso, número de partos y días de lactancia. El macromineral que se encuentra más cerca del requerimiento nutricional fue el Na, en el caso del Cl y K las concentraciones promedio fueron de aproximadamente de 2,5 y 2,3 veces superior a los requerimientos, respectivamente. Según Hu & Kung (2009), en dietas con niveles de 0,24% de Na, 0,60% de Cl y 2,22% de K en materia seca, no afectan el consumo

de materia seca, la producción de leche, composición de la leche, las concentraciones plasmáticas, entre otros elementos. Asimismo, Sánchez et al. (1997) demostraron que, con una variación de +25 a 40 miliequivalentes de (Na + K – Cl) /100 g de materia seca en la dieta, es decir, entre el rango de 0,32 a 0,85% de Na, 0,53 a 1,34% de Cl y 1,10 a 1,57% de K en materia seca, los mecanismos homeostáticos son adecuados para mantener un estado ácido-base y una producción de leche normales. Por lo que los valores reportados en este estudio no afectan la salud animal ni la producción de leche, aunque no se encuentren en los rangos reportados.

4.5 ITH

Los valores del ITH al momento de extracción de las muestras de sangre en ambos ordeños se muestran en la Figura 9. En el ordeño de la mañana el ITH osciló entre 65-75 y en el ordeño de la tarde entre 75-85.

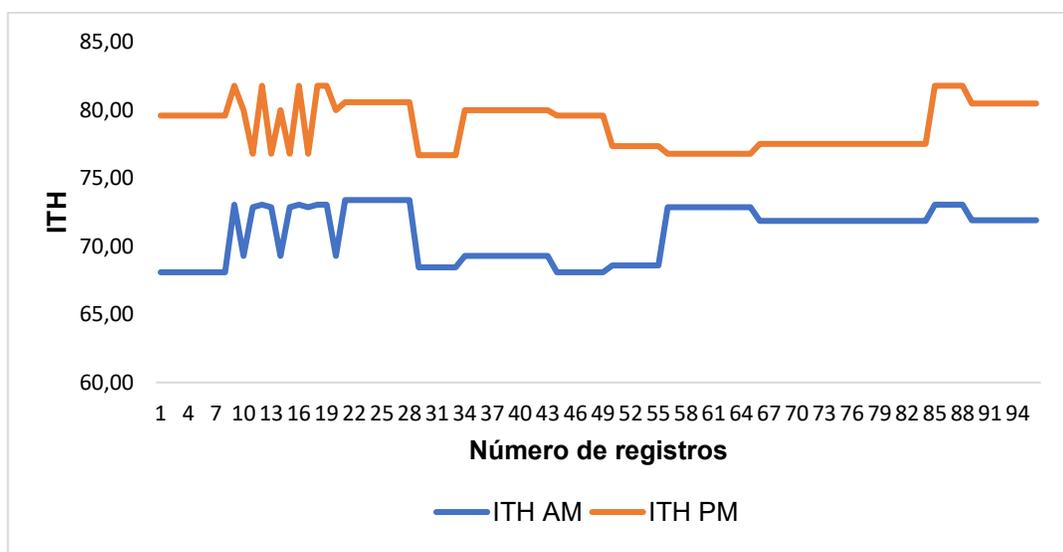


Figura 9. Valores promedio del ITH en el momento de extracción (ordeño am y pm) de las muestras de sangre en las fincas de ambos distritos.

Según (Ruiz et al., 2019) en un estudio en animales de raza Holstein, Jersey y cruces entre sí en la Región Huetar Norte y Central del país, los valores más altos de ITH que pueden estar expuestos los animales para tener una reducción no significativa ($p > 0,05$) de la producción diaria de leche (Kg) es entre el rango de 60-72, lo cual coincidió con los resultados del ordeño de la mañana. En el rango de ITH entre 74-88, la reducción de la producción de leche es altamente significativa

($p < 0,0001$) por cada unidad de incremento en el ITH, el ordeño de la tarde coincide con este rango de ITH, pero no supera los 88 que se consideran de impacto negativo en la producción y salud del hato (Ruiz, 2017; Ruiz et al., 2019).

En el caso del ganado mestizo en una región subtropical de la India, las vacas lecheras experimentaron un estrés leve o nulo con un $ITH < 74$, un estrés moderado con un ITH entre 75-79 y un estrés severo con un $ITH \geq 80$ (Jeelani et al., 2019). Por lo que, para el ganado mestizo de las fincas, el ITH se encuentra por debajo del estrés severo.

En las vacas, el estrés por calor o térmico es de naturaleza cíclica, usualmente el pico de estrés es a media tarde y disminuye en la noche y las primeras horas de la mañana (Blackshaw & Blackshaw, 1994). Generalmente, el estrés térmico se asocia con una disminución de la producción, provoca una tasa respiratoria elevada, así como jadeo, aumenta el babeo, la temperatura corporal y un aumento de la frecuencia cardíaca y la sudoración (Galán et al., 2018). Además, ocasiona una disminución en el consumo de materia seca (CMS) (Chang-Fung-Martel et al., 2021; Tao et al., 2020), aumenta la ingesta de agua (Jang-Hoon et al., 2024) y disminuye los niveles séricos del Na, Cl y K (Kadzere et al., 2002).

Los valores de ITH que indican el nivel de estrés térmico, aunque coincidan en muchas ocasiones, estos dependen de la ubicación geográfica y del tipo de animal (raza) (Jeelani et al., 2019).

4.6 Correlación de variables

En el caso de las correlaciones entre las variables de medición, el Cuadro 5 muestra los valores de aquellas variables correlacionadas positivas para este proyecto.

Cuadro 5. Correlaciones de Pearson entre variables de medición en ambos distritos.

Variable 1	Variable 2	n	Pearson	p-valor
Na am	K am	94	-0,23	0,0283
Na am	Cl am	94	0,37	0,0003
Na am	Cl pm	94	0,28	0,0068
Na am	Long tot/vaca rep	94	0,28	0,0056
Na am	Limpieza bebedero	94	-0,23	0,0257
K am	Cl am	94	0,26	0,0119
K am	Dieta Na	94	0,21	0,0378
K am	Dieta Cl	94	0,22	0,0340
K am	Dieta K	94	0,29	0,0043

K am	Limpieza bebedero	94	0,22	0,0303
Cl am	Na pm	94	0,22	0,0345
Cl am	K pm	94	0,28	0,0072
Cl am	ITH am	94	0,41	<0,0001
Cl am	Long tot/vaca inst	94	-0,28	0,0063
Cl am	Dieta Cl	94	0,23	0,0278
Cl am	Dieta K	94	0,31	0,0021
Na pm	K pm	94	0,25	0,0142
Na pm	Cl pm	94	0,66	<0,0001
Na pm	Dieta Na	94	-0,29	0,0044
Na pm	Dieta Cl	94	-0,26	0,0104
Na pm	Dieta K	94	-0,31	0,0020
Na pm	Limpieza bebedero	94	-0,24	0,0192
K pm	Cl pm	94	0,21	0,0413
K pm	Long tot/vaca rep	94	-0,22	0,0309
Cl pm	ITH pm	94	0,28	0,0054
Cl pm	Long tot/vaca inst	94	-0,28	0,0056
Cl pm	Dieta Cl	94	-0,24	0,0199
Cl pm	Dieta K	94	-0,28	0,0065
ITH am	Limpieza bebedero	94	-0,44	<0,0001
ITH pm	Long tot/vaca inst	94	-0,32	0,0019
ITH pm	Dieta Cl	94	-0,35	0,0005
ITH pm	Limpieza bebedero	94	-0,28	0,0066
Long tot/vaca rep	Long tot/vaca inst	94	0,28	0,0070
Long tot/vaca inst	Limpieza bebedero	94	0,28	0,0065
Dieta Na	Dieta K	94	0,27	0,0094
Dieta Cl	Dieta K	94	0,73	<0,0001
Dieta Cl	Limpieza bebedero	94	0,32	0,0015

Donde: Na am= valor plasmático del sodio en el ordeño de la mañana ; Na pm= valor plasmático del sodio en el ordeño de la tarde; K am= valor plasmático del potasio en el ordeño de la mañana; K pm= valor plasmático del potasio en el ordeño de la tarde; Cl am= valor plasmático del cloro en el ordeño de la mañana; Cl pm= valor plasmático del cloro en el ordeño de la tarde; Dieta Na= % de sodio en la dieta; Dieta K= % de potasio en la dieta; Dieta Cl= % de cloro en la dieta; ITH am= índice de temperatura y humedad en el ordeño de la mañana; ITH pm= índice de temperatura y humedad en el ordeño de la tarde; Limpieza bebedero= estado de limpieza de los bebederos; Long tot/vaca rep= longitud total de los bebederos en repastos dividido entre la cantidad de vacas; Long tot/vaca inst= longitud total de los bebederos en las instalaciones dividido entre la cantidad de vacas.

*Las correlaciones ubicadas entre el rango de moderadas a alta ($0,50 < r < 0,80$) y significativas ($p < 0,05$) se encerraron en rectángulos de color rojo.

Según el Cuadro 5, las correlaciones fuertes en ambos distritos fueron el ion sodio con el ion cloro en plasma sanguíneo y el porcentaje en materia seca del Cl en dieta con el porcentaje en materia seca del K en dieta.

El sodio y el cloro son vitales para el funcionamiento adecuado de los sistemas nervioso y muscular, además de regular el pH corporal y el equilibrio hídrico. La falta de sodio y cloro puede disminuir el apetito, reducir la eficiencia en la ganancia de peso o incluso provocar pérdida de peso. Se destaca que, aunque el cloro

generalmente está presente en niveles adecuados en la dieta, el sodio suele ser insuficiente. Dado que el organismo no almacena grandes cantidades de estos minerales, es esencial garantizar su suministro continuo (Stewart, 2010).

Por otra parte, el balance catión-anión dietético (DCAB), que se define como $[(Na+K)-Cl]/100g$ de materia seca regula el estado ácido-base del organismo, ya que la absorción de sodio y potasio genera bicarbonato, elevando el pH, mientras que el cloro produce protones, disminuyéndolo. El balance entre cationes y aniones tiene mayor impacto en el pH sanguíneo que las cantidades específicas de cada mineral. Además, el nivel de cloro en plasma refleja directamente su ingesta dietética, mientras que el sodio permanece estable debido a la regulación homeostática del cuerpo (W. E. Tucker & Hogue, 1990).

El sodio y el cloro son minerales esenciales para el equilibrio ácido-base y el transporte celular en vacas lecheras. Aunque el sodio regula el pH, administrarlo en exceso antes del parto puede causar hipocalcemia al elevar el pH sanguíneo y provocar alcalosis metabólica, lo que interfiere con la función de la hormona paratiroidea (PTH). Esto dificulta la movilización y absorción de calcio, aumentando el riesgo de hipocalcemia. El cloro, como anión clave, contribuye a la digestión y, en dietas acidogénicas, ayuda a reducir la DCAD, favoreciendo la absorción de calcio. La proporción adecuada entre sodio y cloro es fundamental para prevenir desequilibrios metabólicos y asegurar la salud y productividad del ganado lechero (Erickson & Kalscheur, 2019).

El bajo contenido de cloro en la dieta limita la capacidad de las vacas para regular la acidosis metabólica inducida por bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$). La falta de Cl en la dieta genera un balance negativo de cloro en ambas fases fisiológicas (seca y lactante), impactando en la regulación del pH y el balance de electrolitos durante el estrés por calor (Khelil-Arfa et al., 2014).

El cloro, como principal anión extracelular, constituye hasta el 60% de los aniones en el líquido extracelular y está estrechamente relacionado con el sodio y el potasio, formando un equilibrio vital para diversas funciones fisiológicas. En el sistema digestivo, el cloro es esencial para la producción de ácido clorhídrico en el abomaso, necesario para iniciar la digestión de proteínas al activar enzimas como

la pepsina. Su cotransporte con sodio a través de la pared del rumen asegura su absorción. Aunque su toxicidad no está determinada, su deficiencia puede causar alcalosis metabólica, poliuria y presencia de moco en las heces. El requerimiento de cloro es de 0,34% de la MS, pero este se satisface normalmente al suministrar sal para cubrir las necesidades de sodio. La relación entre sodio y cloro es fundamental no solo para la digestión, sino también para mantener el equilibrio ácido-base y prevenir desórdenes metabólicos en el ganado lechero (Erickson & Kalscheur, 2019).

La reducción de sodio en la dieta de vacas lecheras afecta tanto la excreción de sodio como de cloro, lo cual tiene implicaciones en la eficiencia de alimentación y el impacto ambiental. Al disminuir el sodio, se reduce su ingesta y excreción en orina sin perjudicar la producción de leche, lo que sugiere un contenido dietético óptimo de sodio en torno al 0.52% de la materia seca. Este ajuste dietético no solo reduce la excreción de sodio, sino también la absorción y eliminación de cloro, destacando la interdependencia de estos minerales en el organismo. El manejo balanceado de sodio y cloro es clave para promover la sostenibilidad en la producción lechera y mantener la eficiencia alimentaria (Ben Meir et al., 2023).

La interacción entre el sodio (Na) y el cloro (Cl) en la dieta de las vacas lecheras influye significativamente en los niveles de nitrógeno ureico presentes en la leche (MUN), la orina (UUN) y la sangre (BUN). Una mayor ingesta de NaCl tiende a disminuir las concentraciones de MUN y BUN, mientras que el UUN permanece estable, lo que indica que el NaCl afecta la regulación de la urea en sangre y leche sin impactar notablemente su excreción urinaria. Esta relación es clave para entender cómo el NaCl puede modular la eficiencia del uso de nitrógeno en el organismo. Además, el equilibrio entre sodio y cloro resulta esencial para mantener la homeostasis ácido-base y favorecer la recirculación renal y gastrointestinal de la urea, permitiendo optimizar la interpretación del MUN como indicador del aprovechamiento proteico en la dieta de las vacas (Spek et al., 2013).

En el contexto de los desafíos asociados con la acidosis subaguda ruminal (SARA) en vacas lecheras, se observó un incremento en la concentración de sodio en sangre y una tendencia a la disminución del cloro. Estos cambios en los niveles

de sodio y cloro están estrechamente relacionados con el equilibrio ácido-base en la sangre, aunque el pH sanguíneo se mantuvo estable en general. Esto indica que, aunque la SARA afecta los electrolitos sanguíneos, la homeostasis del pH se conserva gracias a la activación de mecanismos compensatorios que contrarrestan los efectos de la acidosis (Li et al., 2012).

A su vez, el sodio (Na) y el cloro (Cl⁻) juegan un papel fundamental en el equilibrio ácido-base y la regulación osmótica en vacas lecheras. Ambos iones son absorbidos eficientemente de la dieta y se regulan principalmente en los riñones. Un exceso de cloro en la dieta, sin suficiente sodio, puede reducir la excreción de bicarbonato, lo que disminuye el pH urinario y afecta el equilibrio ácido-base. La interacción entre Na y Cl también influye en la Diferencia Cation-Anión Dietética (DCAD), que afecta la salud metabólica y la producción lechera. Además, su balance impacta la excreción de otros electrolitos, como el potasio, y el movimiento de líquidos entre los compartimentos corporales. Mantener una dieta balanceada en Na y Cl es crucial para optimizar estos procesos y mejorar la eficiencia productiva del ganado lechero (NASEM, 2021).

Constable et al. (2014) afirman que la relación entre sodio (Na) y potasio (K) es esencial para la fisiología de las vacas lecheras, ya que juntos regulan el equilibrio osmótico, el volumen celular y el pH sanguíneo mediante la bomba Na⁺/K⁺ ATPasa. El potasio es clave para la secreción eficiente de leche, mientras que el sodio facilita la absorción de nutrientes en el intestino. Ambos iones son fundamentales durante el estrés calórico: el potasio se pierde por sudor, mientras que el sodio se retiene para mantener el volumen extracelular. Los desequilibrios, como hipokalemia o hipernatremia, afectan la salud metabólica, incluyendo funciones cardíacas y neuromusculares. La dieta debe contener 0.2-0.6% de Na y 0.9-1.5% de K según el nivel de producción y ambiente. Su correcta suplementación mejora la producción de leche y mitiga enfermedades metabólicas.

Sánchez et al. (1994) analizaron cómo el sodio (Na) y el potasio (K) interactúan en la dieta de vacas lecheras, influyendo en el consumo de materia seca (CMS), el equilibrio ácido-base y la producción de leche. Aumentar el Na mejora el CMS cuando K es bajo, mientras que el aumento de K es más efectivo cuando Na es

bajo. Ambos cationes contribuyen al balance catión-anión (DCAD), esencial para la homeostasis ácido-base, lo que impacta el rendimiento productivo. Altas concentraciones de K pueden reducir la absorción intestinal de Na y aumentar su excreción urinaria, mostrando una relación antagonista. Se encontró que el rendimiento máximo de leche ocurre con 0.60% de Na y 1.34% de K, destacando la importancia de equilibrar ambos minerales en la dieta para optimizar la productividad.

La relación entre sodio (Na) y potasio (K) en vacas lecheras es clave para el equilibrio osmótico, la regulación ácido-base y la producción de leche. El Na predomina extracelularmente y el K intracelularmente, siendo regulados por el riñón y la aldosterona. Una dieta alta en potasio puede estimular la absorción de sodio en el rumen, mientras que la deficiencia de Na lleva a mayor excreción de K como compensación. La Diferencia Cation-Anión Dietética (DCAD), expresada en mEq/kg de materia seca (MS), afecta el pH urinario, la ingesta de agua y la eficiencia productiva. Suplementos como NaCl o sesquicarbonato de K mejoran la utilización de MS, reducen el nitrógeno ureico y optimizan la producción lechera. Sin embargo, niveles elevados de K pueden interferir con la absorción de magnesio y causar desequilibrios metabólicos (NASEM, 2021).

En el caso de la relación de los iones de Na, Cl y K en el suero sanguíneo con los contenidos dietéticos de estos mismos elementos, no se vieron influenciados por las concentraciones de estos minerales en la dieta, resultados que coinciden con lo reportado por Hu & Kung (2009) y W. B. Tucker et al. (1988).

En el caso de la estrecha relación del consumo de agua y materia seca (CMS), debido a que son esenciales para satisfacer las necesidades metabólicas, la salud y la productividad del animal. Durante la lactancia, estas variables aumentan de forma paralela, alcanzando un pico antes de disminuir, y están influenciadas por factores como la etapa de lactancia, la dieta, la temperatura ambiente y la paridad. Además, monitorear el consumo de agua se plantea como una alternativa práctica y económica para predecir cambios en el CMS, permitiendo detectar problemas de salud o alteraciones en el manejo. Este enfoque incluye el uso de herramientas

estadísticas como gráficos de control para identificar variaciones y optimizar la producción y el bienestar animal (Kramer et al., 2009; Lukas et al., 2008).

Por otro lado, la interacción entre cloro y potasio en la dieta también tiene un impacto significativo en la salud metabólica de las vacas lecheras. Un exceso de cloro sin una proporción adecuada de potasio puede reducir el pH urinario debido a la disminución en la excreción de bicarbonato, lo que podría afectar negativamente el equilibrio ácido-base del animal. En contraste, un nivel elevado de potasio incrementa la excreción urinaria de cationes y bicarbonato, favoreciendo una orina alcalina. Este balance dietético es esencial no solo para optimizar la salud metabólica, sino también para mantener la producción de leche, subrayando la importancia de una formulación adecuada de la dieta en conjunto con otros aspectos del manejo, como el diseño de los bebederos (NASEM, 2021).

CONCLUSIONES

Los resultados del estudio sugieren que la implementación de mejoras en la infraestructura de las fincas, como el aumento de la longitud de los bebederos y la instalación de sistemas automáticos de limpieza, podría mejorar significativamente la eficiencia en el consumo de agua y la reducción del estrés calórico.

La capacitación de los productores sobre la importancia de la correcta gestión del agua y la suplementación mineral es crucial para optimizar el bienestar animal y la productividad lechera.

Los resultados de los valores promedio del sodio (Na), cloro (Cl) y potasio (K) en la dieta de todas las fincas en estudio fueron de 0,17%, 0,73% y 2,26% en materia seca, respectivamente. Lo que indica que, la suplementación de sodio, cloro y potasio en las dietas de las vacas lactantes es un factor determinante en el mantenimiento de los niveles sanguíneos adecuados de estos minerales en el organismo animal.

A pesar de que las concentraciones dietéticas de cloro y potasio fueron altas comparado con los requerimientos estándar para vacas lecheras, no se observó un impacto negativo en la producción de leche ni en los parámetros de salud animal.

Por otra parte, el índice de temperatura y humedad (ITH) desempeñó un papel clave en la producción y salud de las vacas. Los valores más altos de ITH, especialmente en las horas de la tarde, estuvieron asociados con un mayor estrés térmico, lo cual pudo afectar la ingesta de agua y materia seca.

Según lo observado, un acceso adecuado y constante al agua contribuye a mantener los niveles óptimos de estos electrolitos, lo que es fundamental para la salud y el rendimiento productivo del ganado.

Los resultados sugieren que un manejo eficiente del agua puede prevenir desequilibrios electrolíticos y contribuir al bienestar general de los animales.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar análisis físico-químico y biológico para determinar la calidad del agua y cantidad de minerales que consumen las vacas.

Se recomienda instalar ventiladores y aspersores en fincas que sobrepasen un ITH mayor a 80 con el fin de evitar estrés y bajas producciones en las vacas lactantes.

Se recomienda revisar los porcentajes en materia seca del Na, Cl y K en dieta con el fin de no sobrepasar los requerimientos para vacas lactantes y no incurrir en intoxicaciones.

Es fundamental continuar con la investigación sobre el impacto del manejo del agua y la dieta en la producción de leche y la salud de las vacas lecheras, especialmente en condiciones de estrés calórico.

LITERATURA CITADA

- Albright, J. L. (1993). Feeding Behavior of Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 76(2), 485–498. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77369-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77369-5)
- Andersson, M., Schaar, J., & Wiktorsson, H. (1984). EFFECTS OF DRINKING WATER FLOW RATES AND SOCIAL RANK ON PERFORMANCE AND DRINKING BEHAVIOUR OF TIED-UP DAIRY COWS. *Livestock Production Science*, 11(6), 599–610. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(84\)90074-5](https://doi.org/10.1016/0301-6226(84)90074-5)
- Appuhamy, J. A. D. R. N., Judy, J. V., Kebreab, E., & Kononoff, P. J. (2016). Prediction of drinking water intake by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(9), 7191–7205. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10950>
- Arronis, V. (2006). *Manejo de instalaciones*.
- Barandín, F. (2021). *Implementación de un sistema de enfriamiento evaporativo para ganado lechero en la Estación Experimental Alfredo Volio Mata* [Licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
- Barrantes, M., Segura, J., Rojas, C., & Jara, A. (2023). La bendita agua, parte II: reporte clínico del caso de muerte de 13 animales lactantes por privación de agua. *Ventana Lechera*, 53, 9–15. <https://issuu.com/almacenesav/docs/rev-ventanalechera-setiembre23>
- Beaver, B. V. (2019). Equine Welfare. In *Equine Behavioral Medicine* (pp. 347–369). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812106-1.00011-5>
- Ben Meir, Y. A., Shaani, Y., Bikel, D., Portnik, Y., Jacoby, S., Moallem, U., Miron, J., & Frank, E. (2023). Reducing dietary sodium of dairy cows fed a low-roughages diet affect intake and feed efficiency, but not yield. *Animal Nutrition*, 12, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.09.002>
- Benavides, S., & Hughes, N. (2024). Industria láctea en Costa Rica: desafíos y oportunidades para su desarrollo sostenible. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 22(43), 1–29. <https://doi.org/10.15359/prne.22-43.5>
- Blackshaw, J. K., & Blackshaw, A. W. (1994). Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 34, 285–295. <https://doi.org/10.1071/EA9940285>

- Boston, R., Dou, Z., & Chalupa, W. (2002). RATION FORMULATION/Models in Nutritional Management. In H. Roginski (Ed.), *Encyclopedia of Dairy Sciences* (pp. 2378–2389). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227235-8/00383-7>
- Brown, M. J., & Winnicker, C. (2015). Chapter 39 - Animal Welfare. In *Laboratory Animal Medicine (Third Edition)* (pp. 1653–1672). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409527-4.00039-0>
- Browning, H. (2022). Assessing measures of animal welfare. *Biology and Philosophy*, 37(4). <https://doi.org/10.1007/s10539-022-09862-1>
- Burkhardt, F. K., Hayer, J. J., Heinemann, C., & Steinhoff, J. (2022). Drinking behavior of dairy cows under commercial farm conditions differs depending on water trough design and cleanliness. *Applied Animal Behaviour Science*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105752>
- Byers, S. R., Lear, A. S., & Van Metre, D. C. (2014). Sodium balance and the dysnatremias. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 30(2), 333–350. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2014.03.003>
- Cardot, V., Le Roux, Y., & Jurjanz, S. (2008). Drinking behavior of lactating dairy cows and prediction of their water intake. *Journal of Dairy Science*, 91(6), 2257–2264. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0204>
- Chang-Fung-Martel, J., Harrison, M. T., Brown, J. N., Rawnsley, R., Smith, A. P., & Meinke, H. (2021). Negative relationship between dry matter intake and the temperature humidity index with increasing heat stress in cattle: a global meta analysis. *International Journal of Biometeorology*, 65(12), 2099–2109. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02167-0>
- Constable, P. D., Hiew, M. W. H., Tinkler, S., & Townsend, J. (2014). Efficacy of oral potassium chloride administration in treating lactating dairy cows with experimentally induced hypokalemia, hypochloremia, and alkalemia. *Journal of Dairy Science*, 97(3), 1413–1426. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6982>
- Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L. (2023). *Reporte de sostenibilidad* 2023. <https://www.cooperativadospinos.com/files/coprole/catalogs/files/171924091049ZzF.pdf>

- CORFOGA. (2023). *Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en la Producción de Ganado Bovino con Fines de Exportación de Carne Bovina a la Unión Europea*. <https://www.descubre.cr/wp-content/uploads/2024/02/Manual-BPP-de-Ganado-Bovino.pdf>
- Cremilleux, M., Coppa, M., Bouchon, M., Delaby, L., Beure, G., Constant, I., Natalello, A., Martin, B., & Michaud, A. (2022). Effects of forage quantity and access-time restriction on feeding behaviour, feed efficiency, nutritional status, and dairy performance of dairy cows fed indoors. *Animal*, 16(9). <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100608>
- Dahlborn, K., Akerlind, M., & Gustafson, G. (1998). Water intake by dairy cows selected for high or low milk-fat percentage when fed two forage to concentrate ratios with hay or silage. *Swedish Journal of Agricultural Research*, 28(4), 167–176.
- DeVries, T. J. (2019). Feeding Behavior, Feed Space, and Bunk Design and Management for Adult Dairy Cattle. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 35(1), 61–76. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2018.10.003>
- DeVries, T. J., Beauchemin, K. A., & Von Keyserlingk, M. A. G. (2007). Dietary forage concentration affects the feed sorting behavior of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90(12), 5572–5579. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0370>
- DeVries, T. J., & Von Keyserlingk, M. A. G. (2009). Short communication: Feeding method affects the feeding behavior of growing dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 92(3), 1161–1168. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1314>
- DeVries, T. J., Von Keyserlingk, M. A. G., Weary, D. M., & Beauchemin, K. A. (2003). Measuring the feeding behavior of lactating dairy cows in early to peak lactation. *Journal of Dairy Science*, 86(10), 3354–3361. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73938-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73938-1)
- DiGiacinto, A., Rojas, M., Estrada, S., & Romero, J. J. (2014). Bienestar animal en hatos lecheros especializados de Costa Rica asociados a una cooperativa de productores de leche. *Rev. Ciencias Veterinarias*, 32(1), 2215–4507.

- Erickson, P. S., & Kalscheur, K. F. (2019). Nutrition and feeding of dairy cattle. In *Animal Agriculture: Sustainability, Challenges and Innovations* (pp. 157–180). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00009-4>
- Fraley, S. E., Hall, M. B., & Nennich, T. D. (2015). Effect of variable water intake as mediated by dietary potassium carbonate supplementation on rumen dynamics in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *98*(5), 3247–3256. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8557>
- Galán, E., Llonch, P., Villagrà, A., Levit, H., Pinto, S., & Del Prado, A. (2018). A systematic review of non-productivity-related animal-based indicators of heat stress resilience in dairy cattle. *PLoS ONE*, *13*(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206520>
- Giannuzzi, D., Piccioli-Cappelli, F., Pegolo, D., Bisutt, V., Schiavon, S., Gallo, L., Toscano, A., Ajmone Marsan, P., Cattaneo, L., Trevisi, E., & Cecchinato, A. (2024). Observational study on the associations between milk yield, composition, and coagulation properties with blood biomarkers of health in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, *107*(3), 1397–1412. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23546>
- Goff, J. P. (2018). Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *Journal of Dairy Science*, *101*(4), 2763–2813. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13112>
- González, J. P., & WingChing, R. (2018). Producción y reproducción de vacas Holstein, Jersey y sus cruces en cinco localidades de Costa Rica. *UNED Research Journal*, *10*(2), 422–427.
- Grant, R. J., & Albright, J. L. (1995). Feeding Behavior and Management Factors During the Transition Period in Dairy Cattle. *Journal of Animal Science*, *73*(9), 2791–2803. <https://doi.org/10.2527/1995.7392791x>
- Grant, R. J., & Albright, J. L. (2000). Feeding Behaviour. In J.P.F. D’Mello (Ed.), *Farm Animal Metabolism and Nutrition* (pp. 365–382). CABI Publishing.

- Greter, A. M., & DeVries, T. J. (2011). Effect of feeding amount on the feeding and sorting behaviour of lactating dairy cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 91(1), 47–54. <https://doi.org/10.4141/CJAS10067>
- Herd, T. H., Rumbelha, W., & Braselton, W. E. (2000). The use of blood analyses to evaluate mineral status in livestock. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 16(3), 423–444. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30078-5](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30078-5)
- Hu, W., & Kung, L. (2009). Effect of dietary ratio of Na:K on feed intake, milk production, and mineral metabolism in mid-lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92(6), 2711–2718. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1231>
- Huber, K. (2024). Review: Welfare in farm animals from an animal-centred point of view. *Animal*, 18(10). <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101311>
- Hussein, H. A., Müller, A. E., & Staufenbiel, R. (2022). Comparative evaluation of mineral profiles in different blood specimens of dairy cows at different production phases. *Frontiers in Veterinary Science*. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.905249>
- Hutjens, M. F. (2011). Dairy Farm Management Systems | Dry Lot Dairy Cow Breeds. In J. W. Fuquay (Ed.), *Encyclopedia of Dairy Sciences (Second Edition)* (pp. 52–58). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00117-5>
- IICA. (2018). *Buenas Prácticas Pecuarias en la Producción de Ganado Bovino*. <http://www.iica.int>
- IICA. (2022). *Guía de buenas prácticas en la producción de leche de ganado bovino*. <http://www.iica.int/>
- INEC. (2015a). *VI Censo Nacional Agropecuario: Actividades Pecuarias, Prácticas y Servicios Agropecuarios* (1st ed.). INEC, Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- INEC. (2015b). *VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales* (1st ed.). INEC, Instituto Nacional de Estadística y Censos.
- INEC. (2023). *Encuesta Nacional Agropecuaria: resultados generales de la actividad ganadera vacuna y porcina*. www.inec.cr

- Jang-Hoon, Jalil Ghassemi, N., Hye Ran, K., & Hong Gu, L. (2024). Effect of seven days heat stress on feed and water intake, milk characteristics, blood parameters, physiological indicators, and gene expression in Holstein dairy cows. *Journal of Thermal Biology*, 123. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.103929>
- Jeelani, R., Konwar, D., Khan, A., Kumar, D., Chakraborty, D., & Brahma, B. (2019). Reassessment of temperature-humidity index for measuring heat stress in crossbred dairy cattle of a sub-tropical region. *Journal of Thermal Biology*, 82, 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.03.017>
- Jensen, M. B., & Vestergaard, M. (2021). Invited review: Freedom from thirst-Do dairy cows and calves have sufficient access to drinking water? *Journal of Dairy Science*, 104(11), 11368–11385. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20487>
- Johnston, C., & DeVries, T. J. (2018). Short communication: Associations of feeding behavior and milk production in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(4), 3367–3373. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13743>
- Kadzere, C. T., Murphy, M. R., Silanikove, N., & Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review . *Livestock Production Science*, 77, 59–91. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00330-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00330-X)
- Khelil-Arfa, H., Faverdin, P., & Boudon, A. (2014). Effect of ambient temperature and sodium bicarbonate supplementation on water and electrolyte balances in dry and lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 97(4), 2305–2318. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7079>
- Kramer, E., Stamer, E., Spilke, J., Thaller, G., & Krieter, J. (2009). Analysis of water intake and dry matter intake using different lactation curve models. *Journal of Dairy Science*, 92(8), 4072–4081. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1957>
- Lapierre, H., Larsen, M., Sauvant, D., Van Amburgh, M. E., & Van Duinkerken, G. V. (2018). Review: Converting nutritional knowledge into feeding practices: A case study comparing different protein feeding systems for dairy cows. In *Animal* (Vol. 12, Issue s2, pp. S457–S466). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001763>

- Lawlis, P., & Allen, A. (2014). Welfare of Animals. In *Encyclopedia of Meat Sciences* (pp. 108–113). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00201-4>
- Lean, I. J. (2021). Feeds, ration formulation: Systems describing nutritional requirements of dairy cows. In *Encyclopedia of Dairy Sciences: Third edition* (Vol. 1, pp. 591–601). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818766-1.00016-7>
- Ley N° 7451, Ley de Bienestar de Los Animales, Pub. L. No. 7451, Sistema Costarricense de Información Jurídica (2017). http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=24319#up
- Li, S., Gozho, G. N., Gakhar, N., Khafipour, E., Krause, D. O., & Plaizier, J. C. (2012). Evaluation of diagnostic measures for subacute ruminal acidosis in dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 92(3), 353–364. <https://doi.org/10.4141/CJAS2012-004>
- Lukas, J. M., Reneau, J. K., & Linn, J. G. (2008). Water intake and dry matter intake changes as a feeding management tool and indicator of health and estrus status in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 91(9), 3385–3394. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0926>
- Mellor, D. J. (2016). Updating animal welfare thinking: Moving beyond the “five freedoms” towards “A life worth living.” *Animals*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/ani6030021>
- Meyer, U., Everinghoff, M., Gädeken, D., & Flachowsky, G. (2004). Investigations on the water intake of lactating dairy cows. *Livestock Production Science*, 90(2–3), 117–121. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.03.005>
- Miller-Cushon, E. K., & DeVries, T. J. (2009). Effect of dietary dry matter concentration on the sorting behavior of lactating dairy cows fed a total mixed ration. *Journal of Dairy Science*, 92(7), 3292–3298. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1772>

- Miller-Cushon, E. K., & DeVries, T. J. (2017). Feed sorting in dairy cattle: Causes, consequences, and management. *Journal of Dairy Science*, *100*(5), 4172–4183. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11983>
- NASEM. (2021). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (8th ed.). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25806>
- National Research Council. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (7th rev. ed.). National Academy Press.
- Nizzi, E., Hurtaud, C., & Boudon, A. (2024). Interaction between drinker density and cow social dominance affects drinking behavior. *JDS Communications®*, *5*(5), 400–405. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jdsc.2023-0479>
- PANAFTOSA - OPS/OMS. (2017). *Manual Veterinario de Toma y Envío de Muestras*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/826122/8548_Manual_Veterinario_de_Toma_y_envio_de_muestras_-PANAFTOSA_compressed.pdf
- Pastorino, L. F., & de Almeida, W. C. (2023). Review: Impact of bilateral trade on the promotion of animal welfare rules. The case of trade relations between the European Union and Mercosur. *Animal*, *17*. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100837>
- Pezo, D. A. (2018). *Los pastos mejorados: su rol, usos y contribuciones a los sistemas ganaderos frente al cambio climático* (91).
- Pinheiro MacHado Filho, L. C., Teixeira, D. L., Weary, D. M., Keyserlingk, M. A. G. V., & Hötzel, M. J. (2004). Designing better water troughs: Dairy cows prefer and drink more from larger troughs. *Applied Animal Behaviour Science*, *89*(3–4), 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.07.002>
- Plumlee, K. H. (2004). Metals and Minerals. In *Clinical Veterinary Toxicology* (pp. 193–230). <https://doi.org/10.1016/B0-32-301125-X/50025-X>
- Ruiz, J. I. (2017). *Variabilidad climática en las regiones Norte, Central y Caribe y su asociación con variables productivas en fincas lecheras costarricenses* [M.Sc, Universidad Nacional]. <https://repositorio.una.ac.cr/server/api/core/bitstreams/c807c8a5-aaf6-4b62-a87c-d0f9dc7e1465/content>

- Ruiz, J. I., Vargas, B., Abarca, S., & Hidalgo, H. G. (2019). Heat stress effect on dairy cattle production in Costa Rica. *Agronomia Mesoamericana*, 30(3), 733–750. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.35984>
- Sánchez, W. K., Beede, D. K., & Cornell, J. A. (1994). Interactions of Sodium, Potassium, and Chloride on Lactation, Acid-Base Status, and Mineral Concentrations. *Journal of Dairy Science*, 77(6), 1661–1675. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77108-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77108-3)
- Sánchez, W. K., Beede, D. K., & Cornell, J. A. (1997). Dietary Mixtures of Sodium Bicarbonate, Sodium Chloride, and Potassium Chloride: Effects on Lactational Performance, Acid-Base Status, and Mineral Metabolism of Holstein Cows. *Journal of Dairy Science*, 80(6), 1207–1216. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76049-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76049-1)
- Scudamore, J. (2007). The OIE Terrestrial Animal Health Code 2005. *The Veterinary Journal*, 173(1), 228–228. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2006.07.012>
- Sejian, V., Lakritz, J., Ezeji, T., & Lal, R. (2011). Assessment methods and indicators of animal welfare. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 6(4), 301–315. <https://doi.org/10.3923/ajava.2011.301.315>
- SENASA. (2017). *Historia* SENASA. <https://www.senasa.go.cr/institucion/senasa/historia>
- Shalit, U., Maltz, E., Silanikove, N., & Berman, A. (1991). Water, Sodium, Potassium, and Chlorine Metabolism of Dairy Cows at the Onset of Lactation in Hot Weather. *Journal of Dairy Science*, 74(6), 1874–1883. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78353-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78353-7)
- Spek, J. W., Bannink, A., Gort, G., Hendriks, W. H., & Dijkstra, J. (2013). Interaction between dietary content of protein and sodium chloride on milk urea concentration, urinary urea excretion, renal recycling of urea, and urea transfer to the gastrointestinal tract in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 96(9), 5734–5745. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-6842>
- Stewart, L. (2010). *Mineral Supplements for Beef Cattle (Bulletin 895, Rev.)*.
- Studziński, T., Matras, J., Grela, E. R., Valverde, J. L., Truchliński, J., & Tatar, M. R. (2006). Minerals: functions, requirements, excessive intake and toxicity. In R.

- Mosenthin, J. Zentek, & T. Żebrowska (Eds.), *Biology of Growing Animals* (Vol. 4, pp. 467–509). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1877-1823\(09\)70103-1](https://doi.org/10.1016/S1877-1823(09)70103-1)
- Tao, S., Orellana, R. M., Marins, T. N., Yun Chu, C., Gao, J., & Bernard, J. K. (2020). Impact of heat stress on lactational performance of dairy cows. *Theriogenology*, *150*, 437–444. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.02.048>
- Thomsen, P. T., & Houe. (2018). Cow mortality as an indicator of animal welfare in dairy herds. *Research in Veterinary Science*, *119*, 239–243. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.06.021>
- Torres, R. N. S., Silva, H. M., Donadia, A. B., Menegazzo, L., Xavier, M. L. M., Moura, D. C., Alessi, K. C., Soares, S. R., Ogunade, I. M., & Oliveira, A. S. (2019). Factors affecting drinking water intake and predictive models for lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, *254*. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.05.017>
- Tucker, W. B., Harrison, G. A., & Hemken, R. W. (1988). Influence of Dietary Cation-Anion Balance on Milk, Blood, Urine, and Rumen Fluid in Lactating Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, *71*(2), 346–354. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79563-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79563-6)
- Tucker, W. E., & Hogue, J. F. (1990). Influence of Sodium Chloride or Potassium Chloride on Systemic Acid-Base Status, Milk Yield, and Mineral Metabolism in Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, *73*(12), 3485–3493. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)79048-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)79048-0)
- UNESCO. (1978). *Universal declaration of animal rights*. <https://constitutii.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/06/file-id-607.pdf>
- USDA. (2024). *Animal Welfare Act (AWA)*. <https://lod.nal.usda.gov/nalt-awic/es/page/?uri=https%3A%2F%2Flod.nal.usda.gov%2Fnalt%2F16429878>
- UTN. (2016). Bienestar animal: su importancia en la productividad y sostenibilidad de las empresas lecheras. *UTN Informa*, *77*, 6. www.proleche.com
- Van Saun, R. J., & Herdt, T. (2014). Nutritional Assessment. In *Llama and Alpaca Care: Medicine, Surgery, Reproduction, Nutrition, and Herd Health* (pp. 100–123). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-2352-6.00012-2>

- VanderZaag, A. C., Burt, S., Vergé, X., Piquette, S., Wright, T., Kroebel, R., & Gordon, R. (2018). CASE STUDY: Water budget of a dairy farm with a tie-stall barn for milk cows and summer pasturing of heifers and dry cows. *Professional Animal Scientist*, 34(1), 108–117. <https://doi.org/10.15232/pas.2017-01654>
- Vargas, B., Solís, O., Sáenz, F., & León, H. (2013). *Caracterización y clasificación de hatos lecheros en Costa Rica mediante análisis multivariado* . 24(2). <https://doi.org/10.15517/am.v24i2.12525>
- Viguera, B., Watler, W., & Morales, M. (2018). *FICHA TÉCNICA PARA SISTEMAS PRODUCTIVOS CON GANADO BOVINO*.
- Webster, A. J. F. (2001). Farm Animal Welfare: The Five Freedoms and the Free Market. *Veterinary Journal*, 161(3), 229–237. <https://doi.org/10.1053/tvj.2000.0563>
- Welfare Quality®. (2009). *Welfare Quality® Protocolo de evaluación para ganado vacuno*. https://aucatel.com/aucacert/Protocol_WQ_Cattle-es-final.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Correlaciones de Pearson entre variables de medición en las fincas del distrito de Aguas Zarcas.

Variable 1	Variable 2	n	Pearson	p-valor
Na am	Cl am	54	0,50	0,0001
Na am	Cl pm	54	0,37	0,0056
K am	Dieta Cl	54	0,33	0,0138
Cl am	Na pm	54	0,33	0,0161
Cl am	K pm	54	0,31	0,0205
Cl am	Long tot/vaca inst	54	-0,29	0,0308
Na pm	Cl pm	54	0,64	<0,0001
Na pm	Dieta Cl	54	-0,40	0,0031
Na pm	Dieta K	54	-0,46	0,0004
K pm	Cl pm	54	0,27	0,0499
K pm	Dieta Cl	54	0,35	0,0086
Cl pm	ITH pm	54	0,40	0,0031
Cl pm	Long tot/vaca inst	54	-0,34	0,0114
ITH am	Limpieza bebedero	54	-0,38	0,0048
ITH am	Dieta Na	54	0,53	<0,0001
ITH am	Dieta Cl	54	-0,61	<0,0001
ITH am	Long tot/vaca rep	54	0,42	0,0016
ITH pm	Cl pm	54	0,40	0,0031
ITH pm	Limpieza bebedero	54	-0,48	0,0003
ITH pm	Dieta Cl	54	-0,46	0,0005
ITH pm	Long tot/vaca inst	54	-0,59	<0,0001
Limpieza bebedero	Dieta Cl	54	0,32	0,0170
Dieta Na	Dieta K	54	0,44	0,0010
Dieta Na	Long tot/vaca rep	54	0,32	0,0177
Dieta Cl	Dieta K	54	0,59	<0,0001
Dieta Cl	Diferencia MS	54	-0,66	<0,0001
Dieta Cl	Long tot/vaca rep	54	-0,35	0,0096
Dieta Cl	Long tot/vaca inst	54	-0,39	0,0031
Dieta K	Long tot/vaca inst	54	-0,38	0,0045
Long tot/vaca rep	Long tot/vaca inst	54	0,47	0,0004

Anexo 2. Correlaciones de Pearson entre variables de medición en las fincas del distrito de Venecia.

Variable 1	Variable 2	n	Pearson	p-valor
Na am	K am	42	-0,46	0,0023
Na am	ITH pm	42	-0,47	0,0018
Na am	Dieta Na	42	-0,32	0,0368
Na am	Long tot/vaca rep	42	0,53	0,0003
K am	CI am	42	0,36	0,0191
K am	ITH am	42	0,32	0,0412
K am	Limpieza bebedero	42	0,42	0,0060
K am	Dieta Na	42	0,31	0,0470
K am	Dieta K	42	0,36	0,0180
K am	Long tot/vaca rep	42	-0,28	0,0743
CI am	Dieta CI	42	0,32	0,0418
CI am	Dieta K	42	0,46	0,0020
Na pm	CI pm	42	0,70	<0,0001
Na pm	Limpieza bebedero	42	-0,31	0,0488
Na pm	Dieta Na	42	-0,47	0,0015
Na pm	Dieta K	42	-0,44	0,0038
Na pm	Long tot/vaca rep	42	0,34	0,0256
K pm	ITH am	42	0,38	0,0123
CI pm	Limpieza bebedero	42	-0,55	0,0002
CI pm	Dieta Na	42	-0,39	0,0112
CI pm	Dieta CI	42	-0,43	0,0042
CI pm	Dieta K	42	-0,46	0,0023
ITH pm	Dieta CI	42	-0,33	0,0311
ITH pm	Long tot/vaca inst	42	0,44	0,0036
Limpieza bebedero	Dieta Na	42	0,40	0,0096
Limpieza bebedero	Dieta CI	42	0,58	0,0001
Limpieza bebedero	Dieta K	42	0,71	<0,0001
Dieta Na	Long tot/vaca rep	42	-0,67	<0,0001
Dieta Na	Long tot/vaca inst	42	-0,44	0,0033
Dieta CI	Dieta K	42	0,78	<0,0001
Dieta CI	Long tot/vaca inst	42	0,37	0,0168