

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS**

**Escuela Académico Profesional de Medicina Veterinaria**



**Frecuencia de cetosis subclínica mediante  
la concentración de BHB y su relación con  
los indicadores productivos en vacas  
lecheras de la campiña de Cajamarca**

**T E S I S**

Para optar el Título Profesional de Médico Veterinario

Presentada por  
**Mayra Emperatriz Alvarado Lavado**

Asesores  
**Dr. José Fernando Coronado León**  
**Dr. José Elías Rafael Bautista**

**CAJAMARCA - PERÚ**

**2025**

**CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD**

1. **Investigador:** Mayra Emperatriz Alvarado Lavado  
**DNI:** 70233699  
**Escuela Profesional:** Medicina Veterinaria
2. **Asesores:** Dr. José Fernando Coronado León y Dr. José Elías Rafael Bautista
3. **Facultad:** Ciencias Veterinarias
4. **Grado académico o título profesional:** Título Profesional
5. **Tipo de Investigación:** Tesis
6. **Título de Trabajo de Investigación:** "Frecuencia de cetosis subclínica mediante la concentración de BHB y su relación con los indicadores productivos en vacas lecheras de la campiña de Cajamarca"
7. **Fecha de Evaluación:** 29 de abril del 2025
8. **Software Anti plagio:** Turnitin
9. **Porcentaje de Informe de Similitud:** 5 %
10. **Código Documento:** oid: 3117:453923173
11. **Resultado de la Evaluación de Similitud:** Aprobado



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA  
NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA  
Fundada Por Ley N°14015 Del 13 De Febrero De 1962  
UNIVERSIDAD LICENCIADA  
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS  
DECANATO  
Av. Atahualpa 1050 – Ciudad Universitaria Edificio 2F – 205 Fono 076 365852



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Cajamarca, siendo las nueve horas del día veintitrés de abril del dos mil veinticinco, se reunieron en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Veterinarias “**César Bazán Vásquez**” de la Universidad Nacional de Cajamarca los integrantes del jurado calificador, designados por el Consejo de Facultad, con el objeto de evaluar la sustentación de Tesis titulada: “**Frecuencia de cetosis subclínica mediante la concentración de BHB y su relación con los indicadores productivos en vacas lecheras de la campiña de Cajamarca**”, asesorada por los docentes, **Dr. José Fernando Coronado León** y **Dr. José Elías Rafael Bautista** y presentada por la Bachiller en Medicina Veterinaria: **MAYRA EMPERATRIZ ALVARADO LAVADO**.

Acto seguido el presidente del jurado procedió a dar por iniciada la sustentación y para los efectos del caso invitó a la sustentante a exponer su trabajo.

Concluida la exposición de la Tesis, los miembros del jurado calificador formularon las preguntas que consideraron convenientes, relacionadas con el trabajo presentado; asimismo, el presidente invitó al público asistente a formular preguntas concernientes al tema.

Después de realizar la calificación de acuerdo a las pautas de evaluación señaladas en el Reglamento de Tesis, el jurado calificador acordó: **APROBAR** la sustentación de Tesis para optar el Título Profesional de **MÉDICO VETERINARIO**, con el calificativo final obtenido de **DIECISÉIS (16)**.

Siendo las diez horas y cuarenta minutos del mismo día, el presidente del jurado calificador dio por concluido el proceso de sustentación.

  
Dr. JOSÉ ANTONIO NIÑO RAMOS  
PRESIDENTE

  
Dr. GILBERTO FERNÁNDEZ IDROGO  
SECRETARIO

  
Dr. RAÚL ALBERTO BARRANTES HEREDIA  
VOCAL

  
Dr. JOSÉ FERNANDO CORONADO LEÓN  
ASESOR

  
Dr. JOSÉ ELÍAS RAFAEL BAUTISTA  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

Llena de dicha y regocijo dedico esta tesis a mi familia, quienes han sido el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional. A mi madre Flor quien sentó en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación. A mi padre y mi hermano por su cariño y apoyo. A mi abuela Fredesvinda y mis tíos por guía y apoyo incondicional. A mis asesores por su paciencia, sus consejos y su constante apoyo en todo este proceso. Que esta tesis sea el reflejo de su amor y dedicación en el inicio de una carrera exitosa.

**Mayra E. Alvarado Lavado**

## AGRADECIMIENTO

A Dios, quien me ha guiado en esta etapa de mi vida, brindándome sabiduría, fortaleza e inteligencia para alcanzar esta meta.

A todas aquellas personas que formaron parte de mi crecimiento profesional, a mi familia, a mis profesores quienes me impartieron sus enseñanzas y conocimientos.

A mis asesores, Dr. José Fernando Coronado León y al Dr.

José Elías Rafael Bautista quienes, con sus conocimientos, apoyo y motivación incondicional, me permitieron concluir con éxito este proyecto.

Al laboratorio Elanco y al Dr. Roger Abanto por la contribución del material utilizado en la ejecución de este proyecto.

Asimismo, a la Universidad Nacional de Cajamarca y a la Escuela Profesional de Medicina Veterinaria por el respaldo y las enseñanzas proporcionadas durante mi formación.

**Mayra E. Alvarado Lavado**

## ÍNDICE

|   |      |
|---|------|
| DEDICATORIA .....   | i    |
| AGRADECIMIENTO .....  | ii   |
| ÍNDICE.....   | iii  |
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | vi   |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....   | vii  |
| RESUMEN .....   | viii |
| ABSTRACT.....   | ix   |
| INTRODUCCIÓN .....  | 1    |
| CAPÍTULO I .....  | 2    |
| MARCO TEÓRICO .....   | 2    |
| 1.1.    Antecedentes de la investigación.....                               | 2    |
| 1.1.1. Internacionales.....   | 2    |
| 1.1.2. Nacionales .....   | 5    |
| 1.1.3. Regional.....  | 9    |
| 1.2.    Bases Teóricas .....  | 9    |
| Anatomía y fisiología digestiva en vacunos .....                            | 9    |
| Producción de ácidos grasos volátiles .....                                 | 10   |
| Producción láctea, formación de lactosa y grasa en el hígado.....           | 10   |
| Condición corporal en vacas lecheras.....                                   | 11   |
| Influencia de la lactancia en el mantenimiento de reservas corporales ..... | 13   |
| Cuerpos cetónicos .....   | 14   |
| La cetosis. Historia .....  | 15   |
| Cetosis. Definición.....  | 16   |
| Clasificación de la cetosis.....  | 17   |
| Epidemiología.....  | 20   |

|   |    |
|---|----|
|   | iv |
| Patogenia.....  | 22 |
| Hallazgos clínicos .....  | 23 |
| Diagnóstico .....   | 24 |
| Pruebas analíticas.....   | 25 |
| Valores referenciales.....  | 26 |
| Tratamiento.....  | 27 |
| Profilaxis.....   | 27 |
| 1.3. Definición de términos básicos .....                             | 28 |
| 1.3.1. Betahidroxibutirato.....                                       | 28 |
| 1.3.2. Balance energético negativo.....                               | 28 |
| 1.3.3. Cetosis .....  | 28 |
| 1.3.4. Cetosis clínica.....   | 29 |
| 1.3.5. Cetosis subclínica .....                                       | 29 |
| 1.3.6. Cuerpos cetónicos.....   | 29 |
| 1.3.7. Postparto .....  | 29 |
| CAPÍTULO II .....   | 30 |
| MARCO METODOLÓGICO.....   | 30 |
| 2.1. Ubicación geográfica .....                                       | 30 |
| 2.2. Diseño de investigación .....                                    | 31 |
| 2.3. Método de investigación .....                                    | 31 |
| 2.4. Población, muestra y unidad de análisis .....                    | 32 |
| 2.4.1. Población .....  | 32 |
| 2.4.2. Muestra.....   | 32 |
| 2.4.3. Unidad de análisis .....                                       | 32 |
| 2.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información .....     | 33 |
| 2.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información..... | 33 |

|   |    |
|---|----|
|   | v  |
| 2.7. Equipos, materiales e insumos .....  | 34 |
| CAPÍTULO III.....   | 36 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....  | 36 |
| 3.1. Presentación de resultados .....   | 36 |
| 3.2. Contrastación de hipótesis.....  | 42 |
| CAPITULO IV .....   | 43 |
| CONCLUSIONES .....  | 43 |
| CAPITULO V .....  | 44 |
| SUGERENCIAS .....   | 44 |
| REFERENCIAS.....  | 45 |
| ANEXOS .....  | 49 |
| Anexo 1: Prueba de Chi cuadrado de independencia entre vacas con y sin<br>cetosis comparado con la producción de leche .....    | 51 |
| Anexo 2: Prueba de Chi cuadrado de independencia entre vacas con y sin<br>cetosis comparado con los sólidos totales.....        | 52 |
| Anexo 3: Prueba de Chi cuadrado de independencia entre vacas con y sin<br>cetosis comparado con el porcentaje de grasa .....    | 53 |
| Anexo 4: Prueba de Chi cuadrado de independencia entre vacas con y sin<br>cetosis comparado con el porcentaje de Proteína ..... | 54 |
| Anexo 5: Prueba de Chi cuadrado de independencia entre vacas con y sin<br>cetosis comparado con el porcentaje Lactosa .....     | 56 |
| Anexo 6: Prueba de Chi cuadrado de independencia entre vacas con y sin<br>cetosis comparado con la relación grasa/proteína..... | 57 |
| Anexo 7: Prueba de Chi cuadrado de independencia entre vacas con y sin<br>cetosis comparado con la condición corporal .....     | 59 |
| Anexo 8: Imágenes de la realización del trabajo de investigación .....  | 60 |

**ÍNDICE DE TABLAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1 Parámetros de BHB en sangre (8). .....  | 26 |
| Tabla 2: Frecuencia de Cetosis subclínica y clínica, mediante niveles de BHB, en vacas lecheras de 8 a 15 días posparto. ....                               | 36 |
| Tabla 3. Frecuencia de Cetosis subclínica, mediante niveles de BHB, en vacas lecheras que se encuentran entre 8 a 15 días posparto. ....                    | 37 |
| Tabla 4. Efecto de la Cetosis subclínica sobre la producción de leche (kg) en vacas lecheras clasificados según los niveles de BHB. ....                    | 38 |
| Tabla 5. Relación de los niveles de Sólidos Totales en la leche de vacas con y sin cetosis subclínica clasificados según los niveles de BHB posparto. ....  | 39 |
| Tabla 6. Relación grasa/proteína en la leche de vacas posparto entre 8 a 15 días con y sin Cetosis Subclínica clasificados según los niveles de BHB .....   | 40 |
| Tabla 7. Relación de la condición corporal de las vacas posparto entre 8 a 15 días con y sin Cetosis Subclínica clasificados según los niveles de BHB ..... | 41 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Vista frontal posterior. 1.costillas cortas, 2. punta de anca, 3. punta de isquion. 4.base de cola, 5. articulación, 6. ligamento sacro(26) ..... | 11 |
| Figura 2: vista lateral derecha 1 costillas cortas, 2 punta de anca, 3 punta de isquion, 4 base de la cola, 5 articulación, 6 ligamento sacro.(26) .....    | 12 |
| Figura 3: Escala de medida de condición corporal. 1 muy delgada, 2 delgada, 3 peso medio, 4 engrasadas, 5 obesas. (12).....                                 | 12 |
| Figura 4. Toma del peso utilizando una cinta bovinometrica.....   | 60 |
| Figura 5. Toma de muestra de sangre de la vena coccígea utilizando una jeringa de tuberculina.....  | 61 |
| Figura 6. Análisis de sangre extraída de la vena coccígea en el cetómetro electrónico (FreeStyle Optium Neo).....   | 61 |
| Figura 7. Resultado obtenido del nivel de betahidroxitirato en el cetómetro electrónico (FreeStyle Optium Neo).....   | 61 |
| Figura 8. Obtención de muestra de leche.....  | 61 |
| Figura 9. Registro de la producción de leche diaria.....  | 61 |
| Figura 10. Resultados de las muestras de leche analizadas utilizando el Analizador ultrasónico (Lactoscan S).....   | 61 |

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar la frecuencia de cetosis subclínica midiendo la concentración de BHB entre 8 a 15 días postparto y su relación con indicadores productivos en vacas lecheras. Se analizaron 60 vacas de cinco establos de Cajamarca, tomando muestras de sangre de la vena caudal para evaluar los niveles de BHB con un cetómetro electrónico. Los resultados se evaluaron de acuerdo a los siguientes rangos de BHB: cetosis clínica ( $>2.9$  mmol/L), cetosis subclínica (1,2 – 2,9 mmol/L) y normal ( $< 1,2$  mmol/L). Los resultados evidenciaron que el 21% de vacas tienen cetosis subclínica, 7% de vacas con cetosis clínica y el 72% de vacas sanas, centrándose en la cetosis subclínica. La prevalencia total de cetosis subclínica fue del 23,21% sin considerar a las vacas positivas a la cetosis clínica. Se encontró una asociación significativa entre la cetosis subclínica y la producción lechera, destacando una mayor prevalencia en vacas con producción de 11 a 20 kg en comparación con vacas sin cetosis. Sin embargo, no se halló relación estadísticamente significativa entre la cetosis subclínica y los sólidos totales de la leche ( $p=0,342$ ), la relación grasa/proteína ( $p=0,124$ ) ni la condición corporal ( $p=0,890$ ). Concluyendo que la cetosis subclínica está asociada a la producción lechera, pero no a los sólidos totales, la relación grasa/proteína ni la condición corporal en vacas recién paridas.

**Palabras claves:** cetosis, Betahidroxibutirato (BHB), cetómetro electrónico, producción láctea, sólidos totales, relación proteína/grasa

## ABSTRACT

The objective of this study was to determine the frequency of subclinical ketosis by measuring BHB concentrations between 8 and 15 days postpartum and its relationship with productive indicators in dairy cows. Sixty cows from five dairy farms in Cajamarca were analyzed, taking blood samples from the caudal vein to evaluate BHB levels using an electronic ketometer. The results were assessed according to the following BHB ranges: clinical ketosis ( $>2.9$  mmol/L), subclinical ketosis (1.2–2.9 mmol/L), and normal ( $<1.2$  mmol/L). The results showed that 21% of cows had subclinical ketosis, 7% had clinical ketosis, and 72% of healthy cows, focusing on subclinical ketosis. The overall prevalence of subclinical ketosis was 23.21%, excluding cows positive for clinical ketosis. A significant association was found between subclinical ketosis and milk production, with a higher prevalence in cows producing 11 to 20 kg compared to cows without ketosis. However, no statistically significant relationship was found between subclinical ketosis and total milk solids ( $p = 0.342$ ), fat/protein ratio ( $p = 0.124$ ), or body condition score ( $p = 0.890$ ). The conclusion is that subclinical ketosis is associated with milk production but not with total solids, fat/protein ratio, or body condition score in freshly calved cows.

**Keywords:** ketosis, Betahydroxybutyrate (BHB), electronic ketometer, milk production, total solids, protein/fat ratio.

## INTRODUCCIÓN

La cetosis es una enfermedad metabólica que se produce como consecuencia de un trastorno en el metabolismo de los hidratos de carbono y de las grasas, que se presenta como consecuencia de un desequilibrio entre el aporte y el gasto de energía (1). La prevalencia de la cetosis se asocia a cambios abruptos en el metabolismo energético cuando la vaca pasa del estado de gestación en que requiere cantidades moderadas de energía para el desarrollo fetal, a un estado de lactancia en que las necesidades de energía se triplican para sustentar primero la síntesis de calostro y luego la de leche. Cuando la vaca no responde en forma apropiada a este desbalance de energía la relación entre la hormona del crecimiento y la insulina en sangre promueve una movilización de ácidos grasos de cadena larga del tejido adiposo. Cuando la concentración de ácidos grasos no esterificados en la sangre sobrepasa la capacidad oxidativa del hígado se produce una acumulación de ácidos grasos en este órgano, lo mismo que la producción de cuerpos cetónicos (acetoacetato y  $\beta$ HBA), lo que causa la cetosis clínica o subclínica (2). Siendo la última más complicado de diagnosticar debido a que no presenta síntomas.

Por tal razón, esta investigación se llevó a cabo con el objetivo de determinar la frecuencia de cetosis subclínica mediante la concentración de BHB entre 8 a 15 días postparto y su relación con los indicadores productivos como producción de leche, sólidos totales, relación de grasa/proteína y condición corporal, en vacas lecheras de la campiña de Cajamarca. Para esto se hizo uso de un cetómetro electrónico, encargado de medir los niveles de cuerpos cetónicos como el betahidroxibutirato (BHB).

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes de la investigación

#### 1.1.1. Internacionales

En Oreamuno – Costa Rica, con la finalidad de determinar la prevalencia y el grado de cetosis tipo I y tipo II en un hato de 203 vacas jersey, se utilizaron muestras de sangre para determinar la concentración sanguínea del ácido betahidroxibutirico (BHBA), utilizando el medidor electroquímico de mano Optium Xceed de Laboratorios Abbott. Para la cetosis tipo I, en 114 vacas de  $30 \pm 3$  días de lactancia, 11 vacas fueron casos subclínicos con un rango de 1,4 a 2,9 mmol. (prevalencia 9,65%) y 4 vacas con cetosis clínica con un rango mayor a 2,9 mmol. (prevalencia 3,51%) y 99 vacas fueron aparentemente normales con rango menor a 1,4 mmol. l-1. Para la cetosis tipo II se analizaron 117 animales en el tiempo de  $8 \pm 3$  días postparto, donde se obtuvieron 112 vacas sanas con un rango menor de 1.4 mmol. l-1; las otras 5 vacas registraron cetosis subclínica, con rangos de 1,4 a 2,9 mmol. l-1 (prevalencia 4,27%). En la condición corporal usando el método de Ferguson (evaluación en escala de 1 vaca flaca hasta 5 vaca obesa), se manifiesta que: Vacas con disminución de la condición corporal antes del parto o con un tiempo de periodo de seca mayores a 60 días y/o número de partos, son factores predisponentes a una cetosis, por lo que se debe considerar en el proceso de crianza (2).

Según sus estudios realizados en tres regiones de nueva Zelanda (Southland, Waikato y Canterbury) con la finalidad de determinar la prevalencia de cetosis subclínica en 1620 vacas de 57 hatos, se tomaron muestras de sangre para medir

las concentraciones de BHBA usando un medidor electrónico cuantitativo se utiliza un pequeño volumen de sangre total (Precision Xtra, Medica Ltd, Auckland, Nueva Zelanda) con alta sensibilidad y especificidad (97% para ambas medidas). Considerando el intervalo posparto como factor determinante en cetosis subclínica, en la evaluación de 7 a 12 días posparto se obtuvo una prevalencia de 16,8% en cambio en intervalo de 35 a 40 días se obtuvo una prevalencia de 3,2%. Según la edad, la prevalencia fue de 13,0% y 13,1% en vacas de 2 años y  $\geq 8$  años, respectivamente, prevalencias mayores a las vacas de 3 a 4 años quienes obtuvieron 7,2%. La prevalencia media de cetosis subclínica a nivel de rebaño fue de 14,3 % y 2,6% a los 7–12 días y 35–40 días después del parto, respectivamente. Según las regiones la prevalencia fue mayor en Southland (13,3 %) que los rebaños de Waikato y Canterbury (6,9 y 4,7%) respectivamente (3).

Estudios realizados para evaluar la prevalencia de cetosis mediante el diagnóstico de BHB en sangre, utilizando el medidor portátil (precisión Xceed, Abbott Diabets Care Inc., Alameda, CA) a partir de una muestra sanguínea de la vena coccígea; teniendo como rango para cetosis subclínica:  $\geq 1,2$  a  $< 3$  mmol/L de BHB y cetosis clínica  $> 3$  mmol/L de BHB, en 1149 animales paridas, evaluadas entre 7 y 15 días posparto, divididas en varias categorías, como: número de parto, condición corporal, presentación de enfermedades posparto y enfermedad posparto definida. Como resultado se obtuvo una cetosis clínica 0,6% mmol/L. Según el número de partos la prevalencia fue de 2,8% al primer parto, 8,7% al segundo parto 8,7% y de tres a más partos 10%. En la condición corporal de un puntaje menor a 2,75 dieron como promedio de

6,5%, los que tenían un puntaje de 2.75 a menos 3.5 presentaron 8,7% y los que tenían un puntaje mayor a 3.5 dieron como media 17,1%. Un dato interesante fue que los animales que presentaron enfermedades puerperales no dieron positivo a cetosis, lo que concluye que las concentraciones de Betahidroxibutirato no están directamente relacionadas con la presentación de enfermedades puerperales (4).

En Colombia, se realizó un estudio con la finalidad de evaluar la frecuencia de cetosis subclínica, donde se analizaron 30 vacas teniendo en cuenta su condición corporal antes y después del parto, esto se realizó en una escala de 1 a 5 donde 1 es extremadamente flaca y 5 es obesa (método de Ferguson) además de evaluar la concentración de ácido acetoacético en orina 14 días después del parto esto se realizó en el ordeño mediante la estimulación vulvar y subvulvar, la medición del ácido acetoacético se midió por medio de la técnica semicuantitativa de Keto-Diabur-Test de los laboratorios Roche, esta técnica consiste en tirillas diagnósticas humedecidas con orina que son pasadas por el lector digital 1100 Urisys el que determina en valores numéricos la presencia de ácido acetoacético. Como resultado se obtuvo que solo 7 obtuvieron resultados de ácido acético en orina, ocupando niveles entre 8.92 mg/dL y 50 mg/dL, equivaliendo a una frecuencia de 23,33 de cetosis subclínica. Según condición corporal antes como después del parto, no se estableció relación alguna con la presencia de ácido acético en orina (5).

Con la finalidad de indagar la relación de grasa: proteína de la leche y estimar la concentración sérica de beta hidroxibutirato para determinar la cetosis subclínica en la lactancia temprana (19 a 106 días de lactancia), se recolectaron

59 muestras de leche y sangre de vacas Holstein multíparas, las muestras se almacenaron a 4 °C con conservante Bronopol (0,04 g/100 mL; Amplio Micropestañas de espectro II; D&F Control Systems, Inc., Dublín, CA) hasta que se analiza la grasa y la proteína mediante transformada de Fourier espectroscopia infrarroja (MilkoScan 605; Foss Electric., Hillerod, DK), Teniendo como resultado una correlación positiva del betahidroxibutirato con la relación grasa: proteína ( $R^2=0,42$ ;  $P< 0,001$ ). para diferenciar entre rebaños sanos y rebaños enfermos por cetosis subclínica se tuvo en cuenta 10 puntos límites de 0,9 a 1mM, el resultado fue 42,9% de sensibilidad y 98.1% de especificidad además de obtener valores bajos para falsos positivos 25% y falsos negativos 7,3% se concluye que la relación grasa proteína resulta necesaria para diagnosticar cetosis subclínica (6).

### **1.1.2. Nacionales**

El estudio se realizó en Arequipa, con 40 vacas, teniendo como objetivo evaluar los niveles de cuerpos cetónicos haciendo uso del medidor Abbott: FreeStyle Optium que es una prueba electroquímica simple y directa que cuenta con una tira reactiva que contiene la enzima betahidroxibutirato deshidrogenasa, la que permite la oxidación del betahidroxibutirato de la sangre a acetoacetato, esto a su vez reduce la nicotinamida adenina dinucleótido ( $NAD^+$ ) a NADH, este último es reoxidado nuevamente a  $NAD^+$  por medio de una molécula medidora que transfiere electrones. Todo este proceso genera corriente eléctrica la cual es medida por el FreeStyle Optium y es directamente proporcional a la concentración de betahidroxibutirato BHBA, el uso de la tira se realiza insertándolo en la ranura del medidor, este se encenderá automáticamente, se colocara una gota de sangre que se obtiene de la vena caudal media utilizando

una jeringa de tuberculina, en el extremo de la tira reactiva, luego de eso se espera diez segundos para obtener el resultado el cual se muestra en mmol/L. Los rangos que se utilizaron para el diagnóstico fueron cetosis clínica ( $>2,9$  mmol/L), cetosis subclínica (1,2 a 2,9 mmol/L) y condición normal ( $<1,2$  mmol/L). Las tomas de muestra se dividieron en dos tiempos la primera de 20 a 35 días posparto teniendo como resultado se tuvo un promedio de  $2,68 \pm 1,70$  mmol/L y con un coeficiente de variación del 63,54%. El segundo tiempo fue de 36 a 50 días posparto se obtuvo como promedio  $1,52 \pm 1,17$  mmol/L y con un coeficiente de variación del 76,68%. Se llevó a cabo una relación entre condición corporal y cetosis para eso se tuvo en cuenta el score de condición corporal donde se asigna la cantidad de energía metabolizable estoqueada como grasa y musculo en un animal vivo, utilizando una escala de 1 vaca flaca y 5 vaca obesa, esto se tuvo en cuenta realizando una palpación en las zonas de base de la cola, punta de isquion, punta de anca y costillas cortas. Primero se evaluó, teniendo en cuenta 20 a 35 días concluyendo  $>2,75$ cc presentó 3 (50%) casos positivos y 3 casos negativos (50%), 2,0 a 2,75 cc se obtuvo 13 (92,86%) casos positivos y 1 (7,14%) caso negativo. Asimismo, se tuvo en cuenta la presentación de cetosis clínica y subclínica en cuanto a la condición corporal teniendo como resultados:  $cc > 2,75$  un caso subclínico (33,33%) y 2 casos clínico (66,67), en cuanto a condición corporal 2,0 a 2,75, ocho casos subclínicos (61,54%) y 5 casos clínicos (38,46%); con estos resultados se concluyó que no existe relación entre la condición corporal y la presentación de cetosis clínica y subclínica. Al evaluar la relación que existe entre condición corporal y cetosis en vacas posparto en los 36 a 50 días se concluyó que los animales que tuvieron  $>2,75$ cc fueron 4 (50%) los que dieron positivo y 4

(50%) negativo, los que presentaron 2,0 a 2,75 cc fueron 7 (58.33%) los que dieron positivo y 5 (41.67%) negativo. En la evaluación de cetosis clínica y subclínica en cuanto a condición corporal se obtuvo  $cc > 2,75$  subclínico presentaron 3 (75%) y un caso clínico (25%), en cuanto a condición corporal 2.0 a 2,75, cinco casos subclínicos (71,43%) y dos casos clínicos (28,57%); con estos resultados se concluyó que no existe relación entre la condición corporal y la presentación de cetosis clínica y subclínica al igual que en el período de tiempo de 20 a 35 días. Se evaluó además la presencia de cetosis clínica y subclínica en función a la producción de leche entre los 20 a 35 días, teniendo en cuenta cierta cantidad de litros primero  $>45$  L se obtuvo 3 casos subclínicos (60%) y dos casos clínicos (40%), segundo se evaluó de 35 a 45 L obteniendo dos casos subclínicos (40%) y 3 casos clínicos (60%), tercero se evaluó una producción  $<35$ L obteniendo cuatro casos subclínicos (66,67%) y dos casos clínicos (33,33%), Con esta evaluación se concluyó que no hay una relación entre la producción de leche y la presencia de cetosis clínica y subclínica. Teniendo en cuenta 36 a 50 días se obtuvo que una producción  $>45$  L dando como resultado cuatro casos subclínicos (80%) y un caso clínico (20%), las que produjeron de 30 a 45 L dieron dos casos subclínicos (66,67%) y un caso clínico (33,33%), y que tuvieron una producción  $<35$  L dieron dos casos subclínicos (66,67%) y un caso clínico (33,33%). Con esta evaluación también se concluyó que no existe una relación entre la producción de leche y la presencia de cetosis clínica y subclínica. Además, se evaluó la presencia de sepsis clínica y subclínica en relación a los días entre 20 a 30 días después del parto se obtuvieron 7 casos clínicos (17,5%) y 9 casos subclínicos (22,5%); entre los días 36 a 50 después del parto se obtuvieron 3 casos clínicos (7,5%)

y 8 casos subclínicos (20%). concluyendo que no existe una relación entre los días posparto y la presencia de cetosis clínica o subclínica (7).

Se realizó otro estudio en Arequipa, con el objetivo de determinar valores de los niveles de betahidroxibutirato para obtener resultados en el estable fundo Buen Pastor de la irrigación de La Joya de balance energético negativo de cetosis tanto clínica como subclínica. Para este estudio se utilizaron 60 vacas lecheras de raza jersey entre 0 y 45 días posparto de las cuales se dividieron en dos grupos, el primer grupo de vacas primíparas y el segundo grupo de vacas multíparas, a su vez, estos dos grupos se dividieron en tres subgrupos: entre 0 a 15 días posparto, 16 a 30 días posparto, y 31 a 45 días postparto (10 por cada subgrupo). El análisis consistió en obtener muestras de sangre de la vena coccígea y analizarlas con el reactivo Ranbut, mediante fotolorimetría. Para obtener resultados se tuvo en cuenta valores normales referenciales de balance energético negativo (BEN) (0.6 - 10 mmol/L), cetosis subclínica (1.2 - 2.9 mmol/L) y cetosis clínica (2,9 mmol/L). Como resultado, se obtuvieron los siguientes valores dentro del grupo de las primíparas entre 0 a 15 días Se obtuvo un promedio de 0,77 mmol/L, de 16 a 30 días posparto se obtuvo un promedio de 0,22 mmol/L y de 31 a 45 días post parto se tuvo como promedio 0,29 mmol/L. Dentro del Grupo de las multíparas se obtuvo como resultado de cero a 15 días posparto se obtuvo un promedio de 0,36 mmol/L, de 16 a 30 días posparto se obtuvo un promedio de 0,73 mmol/L y de 31 a 45 días después del parto se obtuvo un promedio de 0,28 mmol/L. Lo que se concluyó con este estudio fue que no existe una relación estadística entre vacas multíparas y primíparas. con los distintos períodos después del parto, al igual que el periodo postparto y la presencia de balance energético negativo. Además, como

promedio total, el balance energético negativo representó un 10%, la cetosis subclínica 6,67% y la cetosis clínica 3,33%. Además, se comprobó que la producción de leche tiene una relación con las concentraciones sanguíneas de betahidroxibutirato ya que, a mayor producción de leche, mayor será la concentración de betahidroxibutirato en sangre (8).

### **1.1.3. Regional**

Los estudios a nivel de Cajamarca son limitados, ya que no se cuentan con datos sobre cetosis en vacas lecheras de lactancia temprana, simplemente como un estudio general de enfermedades metabólicas.

## **1.2. Bases Teóricas**

### **Anatomía y fisiología digestiva en vacunos**

La forma del sistema digestivo es semejante en muchas especies, en el caso de los vacunos es diferente ya que su sistema digestivo posee partes ensanchadas donde se encuentran enzimas capaces de atacar la celulosa (9).

El tracto digestivo del vacuno consta de boca, esófago, estómago dividido en cuatro compartimentos, intestino delgado e intestino grueso. El primer compartimento del estómago es el rumen, es descrito como tanque de fermentación microbiana activa. En el rumen se encuentran bacterias las cuales se adhieren a las partículas alimenticias, desdoblándolas produciendo ácidos grasos volátiles (AGV) como fuente de energía para la vaca lechera (7).

El retículo es el segundo compartimento del estómago al igual que el rumen sostienen la fermentación ruminal con un pH de 6 para crecimiento microbiano óptimo. El omaso es otro de los compartimentos encargado de absorber agua y

algunos nutrientes. A medida que el alimento se mueve a través de estos pliegues de tejido, el contenido ruminal se vuelve más seco. El abomaso; este cuarto y último compartimiento del estómago del rumiante es conocido también como estómago verdadero ya que tiene un pH ácido y es equivalente al estómago que poseen los no rumiantes (7).

### **Producción de ácidos grasos volátiles (AGV)**

Al producirse la fermentación ruminal se producen ácidos grasos volátiles (AGV) estos son acético, propiónico y butírico. La mayoría del acetato y todo el propionato son transportados al hígado para convertirse en glucosa, pero la mayoría del butirato se convierte en la pared del rumen a una cetona que se llama betahidroxibutirato. Las cetonas son la fuente principal de energía (combustible) para la mayoría de tejidos del cuerpo (7).

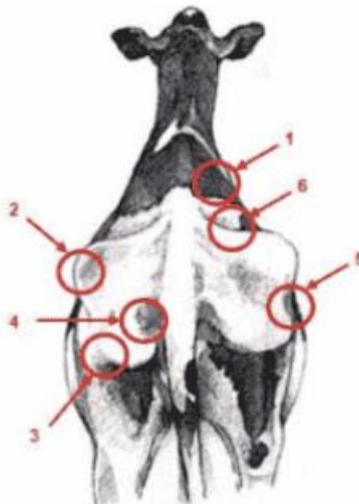
### **Producción láctea, formación de lactosa y grasa en el hígado**

La síntesis de la leche es muy importante, como se sabe la formación de glucosa se da por el propionato, en el hígado. Durante el periodo de lactancia es la glándula mamaria la que tiene mayor prioridad en el uso de glucosa, ya que la transforma en lactosa y glicerol, este último se usa para la formación de grasa en la leche. Además de glucosa también tenemos al acetato y betahidroxibutirato estos se utilizan para la formación de ácidos grasos de la leche. La glándula mamaria produce casi la mitad de ácidos grasos de cadena corta y la otra mitad son ácidos grasos de cadena larga que provienen de una dieta rica en lípidos (7).

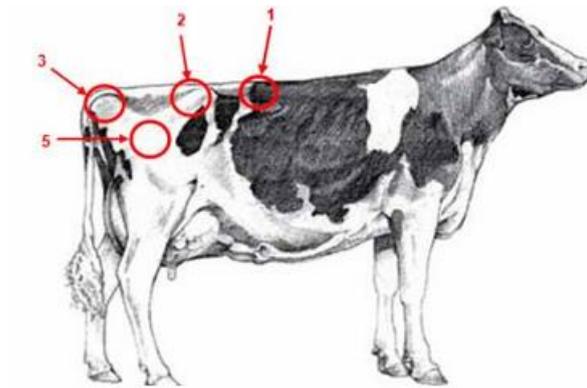
### Condición corporal en vacas lecheras

La condición corporal es uno de los valores importantes para el monitoreo en el periodo de lactancia permitiendo que el animal llegue con una buena condición corporal al parto (10).

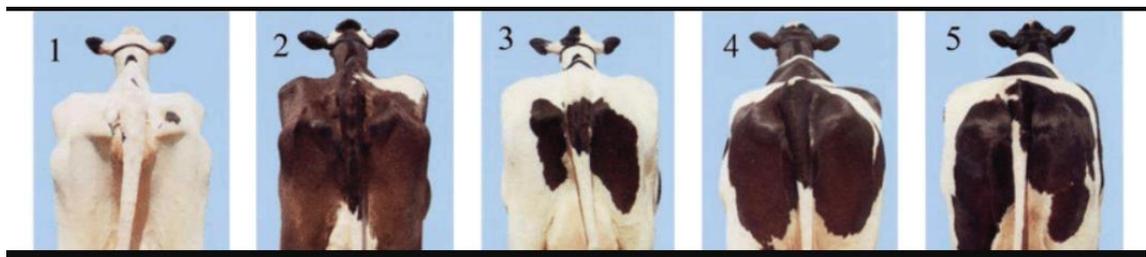
La condición corporal se obtiene mediante la palpación de las siguientes zonas del animal: base de la cola, punta de isquion, punta de anca, costillas cortas. Para ello se asigna un puntaje que va en una escala de 1 a 5, donde una vaca con grado 1 es una vaca demasiado flaca y una con grado 5 es una vaca obesa (7). Áreas que determinan la evaluación de la condición corporal en vista frontal posterior y lateral.



**Figura 1:** Vista frontal posterior. 1.costillas cortas, 2. punta de anca, 3. punta de isquion. 4.base de cola, 5. articulación, 6. ligamento sacro (26)



**Figura 2:** Vista lateral derecha 1. costillas cortas, 2. punta de anca, 3. punta de isquion, 5. articulación (26).



**Figura 3:** Escala de medida de condición corporal. 1 muy delgada, 2 delgada, 3 peso medio, 4 engrasadas, 5 obesas (12).

Al evaluar la condición corporal se podrá estimar la cantidad de energía metabólica que se almacena como grasa subcutánea y que se pierde en el periodo de transición en respuesta a los cambios producidos, a pesar de que no se ha establecido con certeza la cantidad máxima de grasa que el animal puede perder sin afectar sus funciones vitales, si se ha establecido que la pérdida excesiva genera limitaciones en los procesos metabólicos (8).

### **Influencia de la lactancia en el mantenimiento de reservas corporales**

La alimentación en vacas lecheras es un tema muy importante ya que estas cursan diferentes etapas de vida como crianza y producción. La etapa de producción se divide en inicio de lactancia, lactancia media, etapa final de lactancia y periodo seco (7).

En el inicio de lactancia el consumo de materia seca no es suficiente para cubrir los requerimientos energéticos de las vacas lecheras de media y alta producción, en consecuencia, los animales entran en balance energético negativo. En estas situaciones, la energía necesaria para la producción de leche se obtiene a partir del alimento consumido y de la movilización de reservas corporales. Más del 40 % de la grasa butirosa de la leche producida en los primeros días de lactancia es sintetizada a partir de las reservas grasas movilizadas (7).

La movilización de reservas corporales y la consecuente pérdida de condición corporal, permite sostener más del 30 % de la producción durante el inicio de lactancia, y su utilización se extiende hasta que la producción se reduce al 80 % de la lograda en el pico(11). Que se produzca una movilización de reservas corporales en el inicio de la lactancia no es mala; el exceso de movilización de reservas sí lo es (7).

La magnitud de la caída en condición corporal en los primeros días de lactancia depende no sólo del nivel de alimentación sino también del nivel de producción y de la condición corporal al parto (7).

Las vacas que tienen una alta producción láctea por lo regular pierden mayor estado a consecuencia de un balance energético negativo más agudo en comparación con animales de menor mérito genético, especialmente si paren con buena condición

corporal. En cambio, las vacas que paren con menor condición corporal pero que son alimentadas con dietas altas en concentrados y bien balanceadas, muestran menor variación en su condición en inicio de lactancia (7).

La condición corporal puede evaluarse utilizando diferentes escalas (12). En el periodo de secado debería alcanzarse una condición corporal de 3,25 a 3,50 y la condición corporal objetivo al parto 3,5 durante los primeros 30 días del período de secado. Esta recuperación de reservas corporales se logra alimentando al rodeo por encima de sus requerimientos en lactancia tardía y/o primer mes de secado con el objetivo de crear reservas para la próxima lactancia (7).

### **Cuerpos cetónicos**

Los cuerpos cetónicos, acetoacetato (AcAc), BHB y acetona, son sustratos transportadores de energía que se sintetizan principalmente en las mitocondrias hepáticas y ruminales y sirven como combustibles metabólicos para la respiración celular en los tejidos extrahepáticos (13).

La principal fuente de cuerpos cetónicos son los ácidos grasos y aminoácidos (14).

Las fuentes de energía son de gran importancia para la supervivencia de la vida, pero cuando no son suficientes, el organismo también cuenta con sustratos como las cetonas que sirven como reservas de energía, cuando esta es reducida o en algunas situaciones como la lactancia (13).

## **La cetosis. Historia**

En el ganado vacuno la presentación de cetosis ha sido un problema para la industria lechera a través de los años. La cetosis es considerada como un trastorno similar a la diabetes en humanos (15).

Los primeros informes de cetosis en vacas se remontan hace 100 años, lo que parece ser cetosis fue reportado ya en 1849, con síntomas que la caracterizaban como una enfermedad nerviosa de la vaca posparto, lo que le valió el nombre de “manía puerperal” (16).

Unos setenta años después de las primeras descripciones de la cetosis nerviosa, en el año 1923, Sjollema y Van Der Zande descubrieron por primera vez que las vacas tenían niveles muy altos de cuerpos cetónicos en la sangre (acetonemia) y en la orina (cetonuria) esto era muy característico por el olor a acetona, falta de apetito, heces secas y producción reducida de leche. Con esta presentación sintomatológica empezó la fase del estudio clínico de la enfermedad, denominada desde entonces cetosis bovina. Comprobaron que la forma nerviosa de la enfermedad no era la más frecuente, sino que lo que sufrían la mayoría de las vacas era un cuadro clínico adelgazante, que comenzaban disminuyendo la producción láctea; posteriormente, dejaban de comer y en consecuencia adelgazaban, además observaron que muchas vacas con cetosis tenían otras enfermedades concomitantes como metritis, desplazamiento de abomaso o mastitis, y pudiera ser la cetosis primaria o secundaria a esas enfermedades (16).

En el año 1939, otro estudio que realizó Marston, recopilando las investigaciones anteriores, evidenció el papel fundamental de los ácidos grasos volátiles en el metabolismo energético. En estos tiempos ya se tenía conocimiento que el ácido

acético, y sobre todo el ácido butírico, presente en los silos, daban lugar en la pared del rumen a ácido acetoacético, que, a su vez, se transformaba después en betahidroxibutirato, BHB, y por lo tanto eran productores de los cuerpos cetónicos. Sin embargo, el otro ácido graso volátil que se encontraba en el rumen, el ácido propiónico, era glucogénico, y constituía la principal fuente de glucosa de los rumiantes. También se descubrió que el acético y el butírico son el origen de la grasa de la leche y el propiónico del azúcar, la lactosa. Más tarde se descubrió que el BHB no solo procedía de la pared ruminal al metabolizarse el ácido butírico de los silos, sino que se producía mayoritariamente en el hígado. De hecho, los mayores niveles de BHB en sangre se daban en vacas en ayunas (16).

### **Cetosis. Definición**

La cetosis es una enfermedad metabólica que ocurre principalmente durante la lactancia temprana en las vacas dedicadas a la producción de leche, cuando las demandas energéticas exceden el consumo dietario de carbohidratos y los mecanismos de adaptación a este balance energético negativo fallan, esto conlleva a concentraciones anormalmente elevadas de cuerpos cetónicos en tejidos y fluidos corporales (acetona, acetato,  $\beta$ -Hidroxibutirato ( $\beta$ Hb)) (17).

Enfermedad que se caracteriza por la alteración del metabolismo de los carbohidratos causando cetonemia, cetonuria, cetolactia, hipoglucemia y baja del glucógeno hepático. Es común en vacas lecheras altas productoras y en vacas en tercera semana de lactación, en la que se requiere de grandes cantidades de glucosa, dado el gran esfuerzo metabólico para esta etapa (7).

Las vacas que suelen tener hipoglucemia utilizan una gran cantidad de grasa corporal como fuente de energía para apoyar la producción de leche, generando

una alta producción de cuerpos cetónicos producto de la oxidación de ácidos grasos libres en el hígado, que se originan cuando el cuerpo obtiene energía de las moléculas de grasa en lugar de obtenerla de la glucosa, que no pueden ser metabolizados por la vaca, estos cuerpos cetónicos aumentan su concentración en todos los fluidos corporales y el resultado es la presentación del cuadro clínico o subclínico de cetosis, siendo el BHB el cuerpo cetónico más predominante en este estado (8).

Todas las vacas lecheras en lactación temprana específicamente las primeras 6 semanas después del parto, corren el riesgo de cetosis. La cetosis se produce en todos los partos (aunque parece ser menos común en las primíparas) y no parece tener una predisposición genética, además de estar asociadas a las razas lecheras. Las vacas con excesivo tejido adiposo (condición corporal  $\geq 3,75$  en una escala del 1 al 5) en el parto tienen un mayor riesgo de cetosis, en comparación con aquellas que tienen baja condición corporal. La cetosis subclínica (BHBA  $> 1400 \mu\text{ mol/L}$  en sangre) en la primera o segunda semana después del parto se asocia con: 3 a 8 veces más de riesgo de desplazamiento de abomaso izquierdo; 3 veces mayor riesgo de metritis; 4 a 6 veces más de riesgo de cetosis clínica; mayor probabilidad de endometritis subclínica en la cuarta semana después del parto y aumento de la duración y severidad de la mastitis. Las vacas BHBA  $> 1800 \mu\text{ mol/L}$  en suero durante la primera semana tenían una producción de 300 kg más bajo de lo proyectado para la totalidad de la lactancia (8).

### **Clasificación de la cetosis**

Un tipo de clasificación es usando como paralela la diabetes en humanos, dividiéndose en dos grupos cetosis tipo I y tipo II, según su origen (18).

- **Cetosis tipo I o primaria:** La cetosis espontánea o de subalimentación es la forma clásica de cetosis que ocurre en vacas entre las 3 y 6 semanas postparto (2).

Este tipo de cetosis se da cuando las necesidades energéticas del organismo sobrepasan la capacidad gluconeogénica del hígado por insuficiente disponibilidad de los precursores de glucosa. Ocurre principalmente cerca al pico de lactancia, se caracteriza por concentraciones extremadamente bajas de glucosa e insulina sanguíneas, una relación insulina: glucagón baja, alta actividad de la enzima Carnitil Palmitil Transferasa I, que resulta en la lipólisis del tejido. graso y en incremento de la cetogénesis (18).

Presenta similitudes con la diabetes mellitus tipo I ya que, en ambas condiciones, la concentración de insulina en sangre es baja, aunque por distintas razones. La insulina es baja en la diabetes tipo I debido a defectos pancreáticos, mientras que, en la cetosis tipo I, la insulina es baja debido a una hipoglucemia crónica por falta de precursores de glucosa (2).

- **Cetosis tipo II o secundaria:** Se designó como “síndrome de la vaca gorda”. Esta incluye cualquier vaca que desarrolle un balance energético negativo e inicie la movilización de grasa del cuerpo antes o durante el parto. Las vacas gordas están en mayor riesgo de sufrir este desbalance debido a que ellas son más propensas a deprimir el consumo de materia seca cerca del parto, pero las vacas flacas también son susceptibles si el manejo nutricional durante el periodo de transición es inadecuado (2).

Se asocia a la sobrealimentación en el periodo seco, a la presentación de enfermedades concomitantes como metritis o mastitis o a cualquier causa que produzca reducción del apetito en el postparto. Se caracteriza por hiperglicemia

e hiperinsulinemia, además de una movilización grasa excesiva, alta concentración de ácidos grasos no esterificados en el hígado, que no son transportados a la mitocondria para la síntesis de cuerpos cetónicos sino que son reesterificados en el citosol a triglicéridos, los cuales se acumulan en el hígado, debido a que su transporte depende de una lipoproteína de muy baja densidad, cuya síntesis y secreción es baja en los rumiantes, lo que conlleva finalmente, a la presentación de hígado graso en estos animales (18).

Además de esta clasificación también existe otra, de acuerdo a la presentación de signos clínicos, definiéndola como clínica o subclínica.

- **Cetosis clínica**

Generalmente ocurre en vacas de alta producción láctea, entre la segunda y séptima lactancia, siendo infrecuente en animales de primer parto. Las vacas con cetosis clínica presentan síntomas como inapetencia progresiva, pérdida de peso corporal, heces secas, pica y disminución de la producción láctea, existe además, una forma nerviosa de la enfermedad que cursa con aparente ceguera, anormalidades en el desplazamiento, hiperestesia, déficit propioceptivo, temblores y agresividad, además de lametear constantemente una superficie o una parte del cuerpo, la etiología del cuadro nervioso no está totalmente dilucidada, pero es atribuida principalmente a la producción ruminal de alcohol isopropílico a partir de acetoacetato por la enzima alcohol deshidrogenasa, el cual, en sistema nervioso central tiene un efecto tóxico a nivel celular y nocivo sobre las paredes vasculares, alterando la permeabilidad de los vasos sanguíneos, junto con el efecto de la hipoglicemia sobre la corteza visual, como factor responsable de la ceguera bilateral transitoria con función pupilar normal

descrita en la manifestación nerviosa de la entidad El diagnóstico de cetosis clínica se realiza por concentraciones de  $\beta$ HB en suero o en sangre  $>3,0$  mmol/L (17).

#### - **Cetosis subclínica**

Se llama así por el incremento de los niveles de cuerpos cetónicos en sangre, leche y orina, en ausencia de signos clínicos, también puede definirse como el aumento de cetonas circulantes con una disminución de la salud o de la productividad. Para el diagnóstico de cetosis subclínica se tiene como referencia valores de  $\beta$ HB en suero o en sangre a partir de 1,0 mmol/L aunque muchos autores la consideran a partir de 1,2 mmol/L o de 1,4 mmol/L hasta  $<3,0$  mmol/L (17).

### **Epidemiología**

La prevalencia de la cetosis es mayor en muchos países donde se practica la crianza intensiva. Aparece mayormente durante el invierno y los meses de primavera. La aparición de la enfermedad depende mucho del manejo y la nutrición, y varía según el rebaño. Como sería de esperar, los índices de incidencia lactacional difieren según los estudios, pero dos estudios canadienses han comunicado unos índices de 3,3 y 7,4%, y un estudio finlandés, un 6%. Los índices de cetosis subclínica son mucho más elevados, en especial en rebaños infra nutridos, y pueden acercarse al 34% (19).

### **Factores de riesgo en las vacas y su manejo**

La enfermedad ocurre mayormente en el periodo posparto inmediato, presentándose un 90% de los casos en los primeros 60 días de lactancia. Independientemente de la etiología específica, se produce principalmente durante

el primer mes de lactación, con menor frecuencia en el segundo mes, y solo de forma ocasional al final del embarazo. En otros estudios la media de tiempo de inicio tras el parto varía entre los 10-28 días. La cetosis puede afectar a vacas de cualquier edad, pero la enfermedad aumenta desde una prevalencia baja en el primer parto hasta un máximo en el cuarto (19).

- **La consecuencia económica de la cetosis**

La crianza de ganado lechero es una de las actividades económicas principales para el ganadero, pero una causa de pérdida monetaria es la presentación de cetosis en estos animales. En algunos casos, la enfermedad es irreversible y el animal afectado fallece, pero la principal pérdida económica se debe a la pérdida de producción cuando la enfermedad está presente y a la imposibilidad de retornar a una producción completa después de la recuperación (8).

La incidencia de la cetosis clínica es de alrededor de 6% y la subclínica de 40% en hatos confinados (2).

- **La cetosis y los efectos sobre la salud y productividad**

Según estudios se reportan disminución en la producción láctea, aumento en el riesgo de presentar enfermedades concomitantes y la disminución en el desempeño reproductivo (18).

La cetosis, tanto clínica como subclínica, se acompaña de una disminución de la producción láctea y de menores cantidades de proteína láctea y lactosa láctea (8).

En cuanto a enfermedades concomitantes, los animales con cetosis están más predispuestos a la presentación de patologías como desplazamiento abomasal, y metritis, así, vacas con valores de entre 1,1 y 1,7 mmol/L de  $\beta$ HB en las dos primeras semanas postparto tienen 7,8 veces más riesgo de desarrollar

desplazamiento abomasal. Con relación a la presentación de metritis, en un estudio realizado en diez países de Europa, se encontró que los animales positivos a cetosis tenían 1,7 veces más de probabilidad de desarrollar metritis (18).

En cuanto a la disminución en el desempeño reproductivo, en las vacas con cetosis en la primera semana postparto, hay un 25% de reducción en la probabilidad de concepción a la primera inseminación y del 40-50% de reducción en vacas con cetosis durante las dos primeras semanas postparto (18).

### **Patogenia**

Los principios inmediatos (hidratos de carbono, grasas y proteínas) tienen unas rutas metabólicas que llegan a su degradación (o catabolismo) generando glucosa, esta se utiliza directamente como combustible y otras sustancias que precisarán un tratamiento posterior para conseguir que su combustión genere la energía suficiente para mantener la producción y las funciones vitales de los animales (1).

Cuando finaliza la gestación se produce un aumento de las demandas energéticas, lo que provoca un claro déficit energético que provoca la movilización de las reservas grasas (lipólisis), permitiendo que las grasas se descompongan en ácidos grasos y glicerol, esto se logra mediante la acción de enzimas lipolíticas. Está marcada lipólisis aumenta la concentración de los ácidos grasos libres (AGL) circulantes que llegan al hígado, donde pueden seguir dos vías metabólicas (1):

- a) Síntesis de triglicéridos.
- b) Oxidación y formación de Acetil-CoA. El acetil-CoA, a su vez, puede seguir otras dos vías:
  - Oxidarse en el ciclo de Krebs, originando energía.
  - Formar cuerpos cetónicos: Los cuerpos cetónicos pueden ser quemados en los músculos. como energía, o ser eliminados por la orina (cetonuria fisiológica).

Si el ciclo de Krebs sufre un bloqueo, se impide la formación de oxalacetato y como éste es necesario para la oxidación de los ácidos grasos de cadena corta, éstos se condensan en sangre y forman cuerpos cetónicos en cantidades mucho mayores.

Si, además, la oxidación de las grasas se incrementa por la falta de glucosa o por el excesivo gasto, se ve favorecida la formación de dichos cuerpos cetónicos que, al no poder quemarse o eliminarse, se acumulan en sangre apareciendo la cetosis. Los cuerpos cetónicos inciden sobre la reserva alcalina provocando una acidosis, al mismo tiempo tienen un efecto tóxico sobre el sistema nervioso lo que, unido a la falta de glucosa, puede originar lesiones cerebrales irreversibles (1).

### **Hallazgos clínicos**

Se presentan dos formas principales de cetosis (caquética y nerviosa) aunque se trata de los dos extremos de un rango de síndromes en los que los signos de inanición y nerviosos están presentes en grados variables de importancia (7).

Cetosis clínica: En este tipo de cetosis se observan trastornos de la digestión y muchas veces también alteraciones del sistema nervioso (sensorial y locomoción). Según los

síntomas que más predominan se distingue entonces una cetosis digestiva y una cetosis nerviosa. Por lo general la cetosis comienza con inapetencia o apetito cambiante, disminución o ausencia de rumia, reducida actividad preestomacal, constipación (heces oscuras, apelmazadas, cubiertas de moco), incluso diarrea, así como mayor sensibilidad a la percusión en el área hepática agrandada, difícil de diferenciar de la reticuloperitonitis traumática. Además, disminuye paulatinamente la producción de leche. Asimismo, está afectado el sistema nervioso; en casos leves el paciente aparece desganado o ausente (inmovilidad, mirada fija y vidriosa) o cansado, somnoliento (cabeza baja o apoyada, parpados cerrados, flexión de los menudillos posteriores) (7).

Cetosis subclínica es común en vacas de alta producción y períodos largos de seca. Se refleja en menor producción, anestro y a veces endometritis. Las vacas lecheras que son capaces de equilibrar el déficit de energía con sus propias reservas corporales, durante el control con frecuencia muestran un contenido de cuerpos cetónicos en sangre, leche y orina más o menos superior a lo normal, pero no síntomas manifiestos de enfermedad salvo pérdida de peso, incluso disminución de la producción láctea o merma en la fertilidad. Según la alimentación y otras circunstancias ya anunciadas este estado premórbido puede pasar más o menos rápidamente a una cetosis clínica, por lo que su diagnóstico tiene hoy en día una creciente importancia. La producción láctea potencial está reducida en un 1- 9% (7).

### **Diagnóstico**

Para llegar a un diagnóstico lo primero que se tiene en cuenta es una correcta anamnesis. Algunos indicios de cetosis como inapetencia, rápido adelgazamiento, olor a cuerpo cetónicos y comprobación de cuerpos cetónicos en orina, leche o sangre serán de ayuda para el diagnóstico. Para determinar los cuerpos cetónicos de la vaca se puede

analizar una muestra de orina o leche mediante tiras o tabletas reactivas comerciales. Es de gran importancia el control de cetosis en el rebaño de vacas lecheras de alta producción, para poder determinar si la alimentación está cubriendo o no los requerimientos energéticos. Por tal razón se debe analizar repetidamente la leche de todas las vacas en las primeras 2-3 semanas postparto. La cetosis es fácil de diagnosticar en base a los resultados del análisis de orina y de leche, pero muchas veces es difícil decidir si un padecimiento simultáneo a la cetosis debe considerarse desencadenante, mantenedor o consecuente (7).

El diagnóstico de la cetosis subclínica se puede realizar en leche usando Ketolac Test (Hoechst) que mide BHB, o Pink-Test (Profs-products.com) que mide aceto-acetato. Los análisis de orina y la leche requieren unas tiras reactivas o polvo que cambia de color ante la presencia de cetonas. Los análisis de sangre, así como algunos análisis en la leche detectan el BHB, la cetona que predomina en situaciones de enfermedad (7).

Los valores límites usados generalmente para la cetosis subclínica son:

BHB en la sangre =1400  $\mu\text{mol/L}$

BHB en leche =100  $\mu\text{mol/L}$  a 200  $\mu\text{mol/L}$ (7).

### **Pruebas analíticas**

La cetosis presenta hipoglucemia, la cetonemia y la cetonuria las cuales son características de la enfermedad.

- **Glucosa en Sangre:** Los niveles son inferiores a los normales de aproximadamente 50 mg/dl a 40 mg/dl.
- **Cetona en sangre:** Los niveles están elevados a partir del nivel normal de hasta 10 – 100 mg /dl, los niveles también están altos en la cetosis secundaria pero rara

vez superan los 50 mg/ dl. Las vacas normales tienen concentraciones inferiores a 1 mmol/L y las vacas con cetosis tienen niveles superiores a 1,5 mmol/L y a menudo superan los 2,5 mmol/L.

- **Cetonas en Orina:** El cálculo cuantitativo de las cetosis urinarias puede ser un tanto erróneo debido a las amplias variaciones que se producen dependiendo de la concentración de la orina. En el ganado vacuno clínicamente normal las cetonas urinarias pueden ser de hasta 70 mg/dl, aunque por lo general suelen ser inferiores a 10mg/dl. Niveles de 80 a 1300 mg/dl indican la presencia de cetosis, bien primaria o secundaria.
- **Cetona en la Leche:** En esta prueba los niveles son algo menos variable oscilando entre valores normales de 3 mg. Hasta un nivel medio de 40 mg/dl en vacas con cetosis (8).

### Valores referenciales

El valor de referencia en los cuerpos cetónicos en parto es menor a 0,5 mmol/L y en la lactancia menor a 1,0 mol/L. El nivel óptimo para vacas en lactancia es menor igual a 1,2 mmol/L (8).

**Tabla 1** Parámetros de BHB en sangre (8).

|                    |                  |
|--------------------|------------------|
| Normal             | <1,2 mmol/L      |
| Cetosis clínica    | >2,9 mmol/L      |
| Cetosis subclínica | 1,2 – 2,9 mmol/L |

## **Tratamiento**

Uno de los tratamientos recomendados para la cetosis clínica primaria consiste en la administración de glucosa 500 ml EV + glucocorticoide inyectable; una sola vez es suficiente si el diagnóstico es correcto; repetir en caso necesario. Si no hay respuesta, verificar el diagnóstico descartando otras alteraciones como lipidosis puerperal o desplazamiento de abomaso (7).

El tratamiento adecuado de la cetosis es permitir la formación de oxalacetato para dar lugar a la degradación de ácidos grasos de cadena corta permitir que la utilización de los cuerpos cetónicos continúe con normalidad. Teóricamente, los medios más simples para hacer esto consisten en la administración de un tratamiento de reemplazo de glucosa. El efecto de la administración de glucosa es complejo, pero permite revertir la cetogénesis y establecer los patrones normales de metabolismo energético (8).

## **Profilaxis**

La profilaxis se realizará con el fin de controlar la alimentación para evitar el engrasamiento excesivo de los animales.

- El periodo seco no debe ser superior a los 55-60 días, ya que los animales pueden engrasarse excesivamente (el peso en el momento del parto no debe ser superior al que tenía en la cima de producción láctea más un 20%) (1).
- La ración no debe de contener más de un 4-5% de grasa de la MS. Una o dos semanas antes del parto se debe suministrar la cantidad de energía necesaria para cubrir las necesidades de mantenimiento (1).
- Monitoreo de buena condición corporal durante toda la lactancia y evitar sobre condicionamiento durante la seca, pero asegurando correcto balance

nutricional y aporte de fibra de buena calidad; asegurar bastante espacio para las vacas en corrales de seca y de transición (8).

- Tener en cuenta que el parto sea higiénico y tranquilo (1).

### **1.3. Definición de términos básicos**

#### **1.3.1. Betahidroxibutirato**

También llamado ácido  $\beta$ -hidroxibutírico (D- $\beta$ -hidroxibutírico) es un cuerpo cetónico que en el plasma de los animales se aumenta cuando existe deficiencia de energía. (BHBA) representa la movilización de lípidos (8).

#### **1.3.2. Balance energético negativo**

Se refiere a una situación en la que el animal gasta más energía de la que consume, lo que puede llevar a problemas de salud y reproducción. Esto suele ocurrir durante la lactancia y el parto, cuando la demanda energética para la producción de leche y el mantenimiento del cuerpo es alta, mientras que la ingesta de alimento puede ser limitada (20).

#### **1.3.3. Cetosis**

La cetosis es una enfermedad metabólica que ocurre principalmente durante la lactancia temprana en las vacas dedicadas a la producción de leche, cuando las demandas energéticas exceden el consumo dietario de carbohidratos y los mecanismos de adaptación a este balance energético negativo fallan, esto conlleva a concentraciones anormalmente elevadas de cuerpos cetónicos en tejidos y fluidos corporales (acetona, acetato,  $\beta$ -Hidroxibutirato ( $\beta$ HB)) (18).

#### **1.3.4. Cetosis clínica**

Tipo de cetosis que típicamente ocurre en vacas de alta producción láctea, entre la 2 y 7 lactancia, siendo infrecuente en animales de primer parto (17).

#### **1.3.5. Cetosis subclínica**

Tipo de cetosis que se caracteriza por presentar concentraciones plasmáticas de HB mayores a 1,4 mmol/L, sin signos clínicos aparentes, por lo cual pasa desapercibida en los rebaños lecheros (21).

#### **1.3.6. Cuerpos cetónicos**

También llamadas cetonas, son productos de deshecho formado a partir de las grasas (22).

#### **1.3.7. Postparto**

También llamado puerperio, se define como el periodo de tiempo que comienza en la finalización del parto, cuando vuelve a la normalidad el organismo femenino (23).

#### **Abreviaturas**

**μmol:** Micromol.

**mmol:** Milimol.

**ST:** Sólidos totales.

## CAPÍTULO II

### MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Ubicación geográfica

El presente trabajo de investigación se realizó cinco establos: “Álamo, Tartar pecuario FCV, Argentina, Santa Margarita, El Triunfo” de la campiña de Cajamarca. Las características geográficas y meteorológicas del distrito de Cajamarca se detallan a continuación<sup>1</sup>:

|  |   |
|--|---|
| Altitud  | 2750 msnm   |
| Latitud  | 7° 9' 23" Sur   |
| Longitud                                       | 78° 30' 56" Oeste                                     |
| Precipitación pluvial anual <sup>1</sup>       | 768 mm  |
| Temperatura máximo promedio anual <sup>1</sup> | 22,4 °C   |
| Temperatura mínima promedio anual <sup>1</sup> | 7,5 °C  |
| Temperatura promedio anual <sup>1</sup>        | 14,5 °C   |
| Humedad relativa anual <sup>1</sup>            | 75 %  |
| Clima  | Templado y seco con días soleados y noches muy frías. |

---

<sup>1</sup> Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Cajamarca - 2024 (25)

## **2.2. Diseño de investigación**

El presente estudio fue de tipo relacional, observacional, transversal y analítico.

La investigación se desarrolló en cinco fundos de la campiña de Cajamarca donde se analizaron 60 vacas, entre 8 a 15 días postparto, a las cuales se llevó un control de peso y condición corporal, fecha y número de partos, valor de BHB haciendo el uso de un cetómetro electrónico (Free Style Optium Neo), producción de leche, porcentaje de grasa/proteína y alimentación mediante análisis de laboratorio Analizador ultrasónico (Lactoscan S).

## **2.3. Método de investigación**

Como primer paso se buscó en cinco fundos de la campiña de Cajamarca vacas paridas entre los meses de marzo a septiembre del 2023, en el cual se obtuvieron 60 vacas. La evaluación se realizó entre 8 a 15 días postparto de cada vaca.

Segundo se evaluó la condición corporal mediante el modelo Ferguson (1= flaca, 5= gorda), donde se tuvo en cuenta zonas anatómicas específicas del área pélvica y lumbar como las costillas cortas, el ligamento sacro, el hueso de la cadera, los ligamentos de la fosa y los isquiones.

Tercero se llevó un control de peso en kg con ayuda de una cinta bovinométrica.

Cuarto se analizó los niveles de BHB en sangre, que se obtuvo de la vena coccígea con ayuda de una aguja de tuberculina, y se colocó en las tiras de prueba mediante el uso del cetómetro electrónico (Free Style Optium Neo) que mide la concentración de cetonas en mmol, después de eso se esperó 10 segundos hasta que el resultado apareció en la pantalla del medidor.

El rango de evaluación de cetosis:

Cetosis subclínica (1,2 a 2,9 mmol)

Cetosis clínica (>2,9 mmol)

Sanos (<1,2 mmol)(7).

Quinto se registró la producción láctea en kg de cada vaca y además se recolectó una muestra de leche que se analizó utilizando el Analizador ultrasónico (Lactoscan S) este equipo brinda resultados de fácil lectura, requiere una cantidad pequeña de leche, aquí se analizó el porcentaje de sólidos totales, grasa y proteína.

Finalmente se analizaron los datos para obtener resultados.

## **2.4. Población, muestra y unidad de análisis**

### **2.4.1. Población**

60 vacas paridas desde marzo hasta septiembre de 2023 de cinco fundos: “Álamo, Tartar pecuario FCV, Argentina, Santa Margarita, El Triunfo” de la campiña de Cajamarca.

### **2.4.2. Muestra**

El estudio comprende un periodo y 60 animales en investigación.

### **2.4.3. Unidad de análisis**

60 vacas paridas de los cinco establos de la campiña de Cajamarca de las cuales se tomaron una muestra de sangre por vaca, para medir BHB y una muestra de leche para evaluar sólidos totales; en las mismas se determinó los indicadores productivos durante los meses de marzo y septiembre del 2023.

## **2.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información**

- Registros de peso entre 8 a 15 días post parto se usó una cinta bovinométrica.
- Registro de condición corporal.
- Cetómetro electrónico (Free Style Optium Neo) se usó para medir cetonas (BHB) en mmol en muestras de sangre entera fresca, teniendo como rango de cetosis subclínica (1,2 – 2,9 mmol) y clínica (>2,9mmol).
- Registro del valor de concentración de BHB entre los 8 a 15 días postparto.
- Registro de producción láctea y porcentaje de grasa/proteína utilizando el Analizador ultrasónico (Lactoscan S).

## **2.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información**

Una vez obtenidos todos los datos, se organizaron en tablas de Excel donde se detallaron el fundo al que pertenece la vaca, nombre, raza, fecha de parto, fecha de evaluación, número de partos y las variables tanto el peso como condición corporal de las vacas, así como también del valor de concentración de BHB, el registro de producción láctea y porcentaje de grasa/proteína y la relación grasa proteína entre los 8 a 15 días postparto.

Una vez procesados todos los datos antes mencionados, se obtuvieron los resultados de la frecuencia de cetosis subclínica mediante la concentración de BHB y su relación con los indicadores productivos en vacas lecheras.

Luego se calculó la frecuencia de cetosis subclínica mediante la concentración de BHB tabulando los datos registrados en tablas de frecuencia, seguidamente se determinó la relación entre la concentración de BHB y los indicadores productivos (producción de leche, sólidos totales, relación grasa proteína y condición corporal) utilizando la prueba de Kolmogórov-Smirnov, la prueba de U de Mann-Whitney y la prueba de t para muestras independientes (sólidos totales, relación grasa/proteína).

Para la frecuencia, se realiza la tabla de frecuencias y a la significancia prueba de proporciones y para la asociación se realiza la prueba de Chi cuadrado de homogeneidad y correlación de Serman.

## **2.7. Equipos, materiales e insumos**

Para realizar la presente investigación, se emplearon diversos equipos y materiales, los cuales serán mencionados a continuación:

### **2.7.1. Equipos**

- Cetómetro electrónico (Free Style Optium Neo) (1 unidad).
- Analizador ultrasónico (Lactoscan S) (1 unidad).

## **2.7.2. Materiales**

### **Material de campo**

- Guantes de látex para examen x 100 pares (1 caja)
- Jeringa descartable de 1ml x 100 unidades (2 cajas)
- Tubos Falcon (10 unidades)
- Tiras reactivas (60 unidades)
- Mameluco (1 unidad)

### **Material de escritorio**

- Papel bond de 100 gramos x millar (2 paquetes)
- Lapiceros (3 unidades)
- Folder (1 unidad)

### **Material biológico**

- 60 vacas (Holstein, Brown Swiss, Jersey, Fleckvieh)

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Presentación de resultados

**Tabla 2:** Frecuencia de Cetosis subclínica y clínica, mediante niveles de BHB, en vacas lecheras entre 8 a 15 días posparto.

| Categoría de Cetosis | Número    | Frecuencia (%)  |
|----------------------|-----------|-----------------|
| Sin cetosis          | 43        | 72 (IC: 60; 83) |
| Sub Clínica          | 13        | 21 (IC: 11; 32) |
| Clínica              | 4         | 7 (IC:2; 17)    |
| <b>Total</b>         | <b>60</b> | <b>100,00</b>   |

IC: intervalo de confianza

La tabla 2, muestra la frecuencia y el porcentaje de cetosis en vacas lecheras entre 8 a 15 días posparto, evaluadas mediante los niveles de BHB. Las vacas sin cetosis (aparentemente normal), representan la mayor proporción con 43 animales (72%), indicando que la mayoría de las vacas no presentaron alteraciones metabólicas relacionadas con cetosis. Las vacas con cetosis subclínica constituyen el 21% (13 animales). Este grupo refleja la presencia de cetosis sin signos clínicos visibles, lo que podría impactar en el rendimiento productivo si no se maneja adecuadamente y las vacas con cetosis clínica, solamente 4 vacas (7%) presentaron cetosis clínica, caracterizada por niveles más altos de BHB (>2,9 mmol/L) y síntomas evidentes.

**Tabla 3.** Frecuencia de Cetosis subclínica, mediante niveles de BHB, en vacas lecheras que se encuentran entre 8 a 15 días posparto.

| <b>Categoría de Cetosis</b> | <b>Número</b> | <b>Frecuencia (%)</b> |
|-----------------------------|---------------|-----------------------|
| <b>Sin cetosis</b>          | 43            | 76,79 (IC: 60; 83)    |
| <b>Sub Clínica</b>          | 13            | 23,21 (IC: 11; 32)    |
| <b>Total</b>                | <b>56</b>     | <b>100.00</b>         |

**IC: intervalo de confianza**

De las 56 vacas estudiadas, 43 (76,79%) no presentaron indicios de cetosis, lo que sugiere que la mayoría de los animales se encontraban metabólicamente estables durante este periodo crítico del posparto. Por otro lado, 13 vacas (23,21%) mostraron cetosis subclínica, caracterizada por niveles elevados de beta-hidroxibutirato (BHB) sin manifestaciones clínicas visibles.

Las tablas (2 y 3), presentan los resultados de un estudio realizado para determinar la frecuencia de cetosis en vacas lecheras entre 8 a 15 días posparto. La tabla 2 incluye datos de 60 vacas clasificadas en tres categorías (aparentemente normal, subclínica y clínica) según los niveles de BHB, mientras que la Tabla 3 excluye a las vacas con cetosis clínica, analizando únicamente un total de 56 animales.

En relación con la investigación desarrollada por Meza (8), reportó resultados similares a la presente investigación, ya que analizo 60 vacas de las cuales 10% dieron positivas a balance energético negativo, 6,67% a cetosis subclínica y 3,33% tuvieron cetosis clínica, lo restante equivalió a vacas sanas. Otro estudio realizado por Saborío y Sánchez (2), a 114 vacas Jersey a los 30±3 después del parto teniendo como resultado una prevalencia de cetosis tipo I en su forma subclínica 9,65% y en la forma clínica 3,51% y cuando evaluaron a 117 vacas a los 8±3 después del parto la prevalencia de

cetosis tipo II subclínica en el hato fue de 4,27% y 0 % de cetosis clínica, dándonos un promedio de prevalencia general para ambos.

**Tabla 4.** Efecto de la Cetosis subclínica sobre la producción de leche (kg) en vacas lecheras clasificados según los niveles de BHB.

|                      | Sin cetosis |                | Cetosis subclínica |                |
|----------------------|-------------|----------------|--------------------|----------------|
|                      | Número      | Frecuencia (%) | Número             | Frecuencia (%) |
| <b>8-10 Kg</b>       | 2           | 4,7            | 2                  | 15,4 b         |
| <b>11-20 kg</b>      | 22          | 51,2           | 10                 | 76,9 a         |
| <b>De 21 a 29 Kg</b> | 19          | 44,2           | 1                  | 7,7 b          |
| <b>Total</b>         | <b>43</b>   | <b>100.0</b>   | <b>13</b>          | <b>100.0</b>   |

Con la finalidad de determinar si existe asociación o relación entre vacas lecheras (con y sin cetosis subclínica) con el grupo de vacas con diferentes niveles de producción (8 a 10 kg; 11 a 20 kg y de 21 a 29 kg). La tabla presenta la distribución de vacas con y sin cetosis subclínica (aparentemente normal y subclínica) en función de su producción lechera, observándose una mayor prevalencia en el grupo de vacas con cetosis subclínica de 11 a 20 Kg en comparación con el grupo de vacas normal. La distribución de la producción lechera varía entre los dos grupos, las vacas con cetosis subclínica tienden a tener una producción lechera más baja, especialmente en la categoría de 21 a 29 kilogramos. La prueba de la diferencia de proporciones y la de Chi-cuadrado indican que existe una asociación estadísticamente significativa entre la cetosis subclínica y la producción lechera, donde los coeficientes de correlación Spearman son negativos, lo que indica una asociación inversa. Es decir, a medida que aumenta la producción lechera, disminuye la probabilidad de tener cetosis subclínica.

Los resultados difieren de los reportados por Marroquín (7), quien evaluó vacas según su producción de leche y la presencia de cetosis clínica y subclínica, concluyendo que no existe una asociación estadística entre la producción de leche y la cetosis. En contraste, el presente proyecto sí identificó una relación significativa entre la cetosis subclínica y la producción lechera.

**Tabla 5.** Relación de los niveles de Sólidos Totales en la leche de vacas con y sin cetosis subclínica clasificados según los niveles de BHB posparto.

|                          | <b>Sin cetosis</b> |                | <b>Cetosis subclínica</b> |                |
|--------------------------|--------------------|----------------|---------------------------|----------------|
|                          | Número             | Frecuencia (%) | Número                    | Frecuencia (%) |
| <b>Menor de 11,99 ST</b> | 20                 | 46,5           | 8                         | 61,5           |
| <b>Mayor a 12 ST</b>     | 23                 | 53,5           | 5                         | 38,5           |
| <b>Total</b>             | 43                 | 100,0          | 13                        | 100,0          |

Al analizar la relación entre los niveles de sólidos totales en la leche (ST) de vacas lecheras posparto (entre 8 a 15 días) y la presencia de cetosis subclínica, se categorizaron los ST en dos grupos: "menor de 11,99 ST" y "mayor a 12 ST". Por otro lado, la cetosis subclínica se clasificó como "sin cetosis" y "Cetosis Subclínica". Los resultados de la prueba de Chi-cuadrado de Pearson ( $p > 0,05$ ) no proporcionaron evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula, lo que indica que no existe una relación estadísticamente significativa entre los niveles de ST y la presencia de cetosis subclínica. Asimismo, el coeficiente de precisión de Spearman (-0,127), que mide la

fuerza y la dirección de la asociación entre variables, confirma la ausencia de una relación lineal o monótona entre ambas variables.

Resultados que no coinciden con el trabajo realizado por Cartaya, *et al.*(24), hizo una relación entre los niveles de BHB en leche y los parámetros composicionales concluyendo que sí se observó una relación significativa entre BHB y algunos componentes de la leche: grasa, proteína, lactosa, sólidos totales, caseína, relación grasa/proteína.

**Tabla 6.** Relación grasa/proteína en la leche de vacas posparto entre 8 a 15 días con y sin Cetosis Subclínica clasificados según los niveles de BHB

| <b>Relación grasa:<br/>proteína</b> | <b>Sin cetosis</b> |                | <b>Cetosis Subclínica</b> |                |
|-------------------------------------|--------------------|----------------|---------------------------|----------------|
|                                     | Número             | Frecuencia (%) | Número                    | Frecuencia (%) |
| <b>Menor a 1</b>                    | 24                 | 55,8           | 8                         | 61,5           |
| <b>1 a 1,4</b>                      | 1                  | 2,3            | 2                         | 15,4           |
| <b>mayor a 1,4</b>                  | 18                 | 41,9           | 3                         | 23,1           |
| <b>Total</b>                        | 43                 | 100,0          | 13                        | 100,0          |

La relación de grasa: proteína (G/P) en leche en vacas pos parto aparentemente normal y con presencia de cetosis subclínica, a la prueba de Chi-cuadrado ( $p > 0,05$ ) demuestran que no existe una asociación significativa entre la relación G/P y el estado sub clínico. Los resultados de nuestro estudio, al igual que los reportados por Garzón y Oliver (18), resaltan la importancia del balance energético en la composición de la leche y en la susceptibilidad a la cetosis. Si bien la relación G/P no mostró una asociación estadísticamente significativa con la cetosis subclínica en nuestro caso, es evidente que un desequilibrio nutricional, especialmente en el período posparto, puede

influir en este parámetro y predisponer a las vacas a desarrollar trastornos metabólicos. Por lo tanto, es fundamental implementar estrategias de alimentación que promuevan un balance energético adecuado y prevengan la ocurrencia de cetosis, especialmente en vacas de alto rendimiento.

**Tabla 7.** Relación de la condición corporal de las vacas posparto entre 8 a 15 días con y sin Cetosis Subclínica clasificados según los niveles de BHB

| Condición Corporal | Sin cetosis |                | Cetosis Subclínica |                |
|--------------------|-------------|----------------|--------------------|----------------|
|                    | Número      | Frecuencia (%) | Número             | Frecuencia (%) |
| < a 2,5            | 7           | 16,3           | 2                  | 15,4           |
| 2,5 a 3            | 16          | 37,2           | 4                  | 30,8           |
| > a 3              | 20          | 46,5           | 7                  | 53,8           |
| <b>Total</b>       | 43          | 100,0          | 13                 | 100,0          |

Se analizó la relación entre dos variables categóricas: la condición corporal del animal y su estado clínico (clasificado como normal o subclínico). La condición corporal se categorizó en tres niveles:  $CC < 2,5$ ,  $CC$  entre 2,5 y 3, y  $CC > 3$ . Los resultados muestran que los porcentajes entre el estado clínico y la condición corporal son similares. Según las pruebas estadísticas de Chi-cuadrado ( $p > 0,05$ ), no se encontró evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. Esto indica que no existe una asociación significativa entre la condición corporal y el estado clínico del animal.

En este estudio, se evaluó la relación entre la condición corporal (CC) y el estado clínico de los animales, sin encontrar evidencia de una asociación significativa. Los resultados de la prueba de Chi-cuadrado no permitieron rechazar la hipótesis nula, lo

que sugiere que la CC, categorizada en tres niveles, no influye de manera significativa en la probabilidad de presentar un estado clínico subclínico. Esta observación contrasta con los hallazgos de Garzón y Oliver (18), quienes reportaron un mayor riesgo de cetosis subclínica en animales con CC 3,5 a 3,75 y 4,5. Sin embargo, es importante considerar que Marroquín (7), no encontró una asociación significativa entre la CC y la presencia de cetosis, lo cual coincide con nuestros resultados. Las discrepancias entre estos estudios podrían atribuirse a diferencias en los criterios de evaluación de la CC, la etapa de lactación, la raza animal o la definición de cetosis subclínica.

### **3.2. Contrastación de hipótesis**

**Hipótesis nula de la frecuencia:** Ninguna de las vacas lecheras del establo presenta cetosis subclínica.

**Hipótesis nula de la relación entre variables:** La presencia de cetosis subclínica no está relacionada con la producción de leche, la condición corporal, los sólidos totales en la leche ni con la relación grasa/proteína.

**Hipótesis alternativa de la frecuencia:** Al menos una de las vacas lecheras del establo presenta cetosis subclínica.

**Hipótesis alternativa de la relación entre variables:** A la presencia de cetosis subclínica en los establos lecheros hay relación con la producción de leche.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES**

- De las 60 vacas lecheras evaluadas entre los 8 a 15 días postparto se encontró una frecuencia del 21% (13/60) de cetosis subclínica y el 7% (4/60) con cetosis clínica.
- De las 56 vacas lecheras evaluadas entre los 8 a 15 días postparto se encontró una frecuencia de 23, 21% (13/56) de cetosis subclínica.
- Existe una relación significativa entre la cetosis subclínica y la producción de leche, es decir las vacas con cetosis subclínica tienden a tener una producción lechera de 11 a 20 kg.
- No existe una relación estadísticamente significativa entre los niveles de sólidos totales, los porcentajes de grasa/proteína de la leche, la condición corporal y la presencia de cetosis subclínica en el grupo de vacas estudiadas.

## **CAPÍTULO V**

### **SUGERENCIAS**

- Ampliar los estudios considerando variables como la raza, el número de partos y el tipo de alimentación de las vacas evaluadas.
- Establecer un sistema de monitoreo regular de la concentración de BHB y otros cuerpos cetónicos durante el periodo preparto y en las fases temprana (8-15 días) y tardía (45-60 días) del posparto, con el objetivo de detectar oportunamente trastornos metabólicos e implementar estrategias eficaces de prevención y control.

**REFERENCIAS**

1. Meseguer, J., Cebrián, L. Cetosis bovina: Origen, diagnóstico y tratamientos. *Mundo Ganad* [Internet]. 2002;3(2):1–23. Available from: [http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf\\_MG/MG\\_2002\\_142\\_28\\_32.pdf](http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_MG/MG_2002_142_28_32.pdf)
2. Saborío Montero, A., Sánchez, J.M. Prevalencia y factores de riesgo relacionados con la cetosis clínica y subclínica tipo I y II en un hato de vacas Jersey en Costa Rica. *Agron Costarric*. 1969;37(2):17–9.
3. Taylor, P., Compton, C.W.R., Mcdougall, S., Young, L., Bryan, M.A. Prevalence of subclinical ketosis in mainly pasture- grazed dairy cows in New Zealand in early lactation *Scienti fi c Article Prevalence of subclinical ketosis in mainly pasture-grazed dairy cows in New Zealand in early lactation. N Z Vet J* [Internet]. 2013;0(0):1–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/00480169.2013.823829>
4. Huertas-Molina, O.F., Guzman-Carazo, V.M., Palacio-Baena, L.G., Zambrano-Varón, J.L., Olivera-Angel, M. Concentraciones séricas de Beta-hidroxibutirato y su asociación con enfermedades posparto en bovinos de leche. *Rev MVZ Córdoba*. 2020;25(3):e1821.
5. Sepulveda, V., Betancourt, M.R. Frecuencia De Cetosis Subclínica En Vacas De La Hacienda Asturias En La Vereda El Aguacate Del Municipio De Pereira. *Univ Tecnológica Pereira Fac Ciencias La Salud Programa Med Vet Y Zootec Grup Investig Tec Mejor Nutr En Anim Pereira 201* [Internet]. 2015;1–62. Available from: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5585/6360896S479.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. García, C.A.C., Montiel, R.L.A., Borderas, T.F., Girard, V. Relación entre el  $\beta$ -hidroxibutirato y la relación grasa: proteína de leche durante la lactancia temprana en vacas lecheras CAC. *Arch Med Vet* [Internet]. 2015;47(1):21–5. Available from: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/amv/v47n1/art05.pdf>

7. Marroquin, O. “Evaluación De Los Niveles De Cuerpos Cetónicos Utilizando Métodos Electrónicos En Vacas Lecheras Holstein Post Parto Según Condición Corporal Y Nivel Productivo, Arequipa 2013. Univ Católica St María [Internet]. 2014;1(12):90. Available from: <https://core.ac.uk/download/pdf/198127494.pdf>
8. Meza, M. Uso De B-Hidroxitirato Como Herramienta De Diagnóstico De Balance Energético Negativo Y Cetosis Bovina En Vacas Lecheras Jersey, En El Establo Fundo Buen Pastor, La Joya 2015. 2017;1:89.
9. García, J., Gings, M. Anatomía Y Fisiología Del Aparato Digestivo de los Rumiantes. Vet UBA [Internet]. 1969;1–4. Available from: [http://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/manejo\\_del\\_alimento/02-anatomia\\_fisiologia\\_digestivo.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/02-anatomia_fisiologia_digestivo.pdf)
10. Gonzalo de los Santos Etchevers, L., Gatti, M., Ibarra, D. Condición corporal en ganado lechero. Lab St Elena, Uruguay [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar). 2007;(Gerloff 1986):3–5.
11. Gallo, L., Garnier, P., Cassandro, M., Mantovani, R., Bailoni, L., Contiero, B. Change in Body Condition Score of Holstein Cows as Affected by Parity and Mature Equivalent Milk Yield. *J Dairy Sci.* 1996;79(6):1009–15.
12. Roche, J.R., Dillon, P.G., Stockdale, C.R., Baumgard, L.H., VanBaale, M.J. Relationships among international body condition scoring systems. *J Dairy Sci* [Internet]. 2004;87(9):3076–9. Available from: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73441-4](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73441-4)
13. Rico, J.E., Barrientos-Blanco, M.A. Invited review: Ketone biology—The shifting paradigm of ketones and ketosis in the dairy cow. *J Dairy Sci.* 2024 Jun 1;107(6):3367–88.
14. Puchalska, P., Crawford, P.A. Multi-dimensional Roles of Ketone Bodies in Fuel Metabolism, Signaling, and Therapeutics. *Cell Metab* [Internet]. 2017;25(2):262–84. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cmet.2016.12.022>

15. Shaw, J.C. Studies on Ketosis in Dairy Cattle. V. The Development of Ketosis. *J Dairy Sci* [Internet]. 1943;26(12):1079–90. Available from: [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(43\)92810-3](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(43)92810-3)
16. Collantes, R., González, J. Tratamiento de la cetosis: recorrido histórico y actualidad. *Vaca Pint* [Internet]. 2021;(25):136–40. Available from: [www.aceitesdesemillas.com](http://www.aceitesdesemillas.com)
17. Garzon Audor, A.M. Incidencia y Prevalencia de la cetosis clínica y subclínica en vacas lecheras durante el postparto temprano en el Antiplano Cundiboyacense. 2018;27–8.
18. Garzón Audor, A.M., Oliver Espinosa, O.J. Epidemiología de la cetosis en bovinos: una revisión. *CES Med Vet y Zootec*. 2018;13(1):42–61.
19. Lean, I.J., Bruss, M.L., Baldwin, R.L., Troutt, H.F. Bovine ketosis: A review. II. Biochemistry and prevention. *Vet Bull*. 1992;62(February):1-14.
20. Vargas, E.H. Balance energético negativo negative energy balance. 2006;1999(December):1–6.
21. Gabriel, L., Científica, R., Zulia, U. De muestras de sangre , orina y leche Use of Blood , Urine and Milk Samples in the Diagnosis of Subclinical Ketosis. *Rev Científica*. 2013;XXIII n° 2(0798–2259):111–9.
22. Hofheinz, S.B., Villar Guerra, P., Del Cuesta, A.P. Cetoacidosis diabética. *An Pediatr Contin* [Internet]. 2014 [cited 2023 Sep 4];12(2):55–61. Available from: <https://www.fundaciondiabetes.org/infantil/187/cetoacidosis-diabetica-ninos>
23. Fernandez, A. Ventana abierta a la familia - Contenido [Internet]. 27 de enero. 2020 [cited 2023 Sep 4]. Available from: <https://saludextremadura.ses.es/ventanafamilia/contenido?content=definicion-puerperio>
24. Andrea Cartaya, Mariano Fajardo, Nicolás Guerra, Tomas Lopez, A.G. Cuerpos cetónicos en leche, en el primer trimestre de lactancia, impacto en el proceso industrial. 2016;4(June):2016.

25. SENAMHI, Cajamarca - Emergencia 2024 Meteorología [Internet]. [cited 2024 Dec 15]. Available from: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=emergencia-2024-meteorologia>
26. Perulactea. ¿Cómo se mide la Condición Corporal en bovinos? – Perulactea [Internet]. Perulactea. 2020 [cited 2024 Dec 12]. Available from: <https://perulactea.com/como-se-mide-la-condicion-corporal-en-bovinos/>

# ANEXOS

| N  | Fundo           | Nombre Vaca  | Raza        | Fecha Parto | Fecha evaluación | N° días primera evaluación | N° de Partos | Condición Corporal | BHB | Peso(8-15días) | Producción leche(Kg) | Grasa % | SNG   | Densidad | Lactosa | Sales | Proteínas | Sólidos totales | agua adicionada | T° muestra | temperatura congelación | Grasa/Proteín | Alimentación |
|----|-----------------|--------------|-------------|-------------|------------------|----------------------------|--------------|--------------------|-----|----------------|----------------------|---------|-------|----------|---------|-------|-----------|-----------------|-----------------|------------|-------------------------|---------------|--------------|
| 1  | Alamo           | Garza Blanca | Holstein    | 17/03/2023  | 27/03/2023       | 10                         | 2            | 3                  | 0.7 | 501            | 27                   | 3.59    | 8.22  | 28.03    | 4.52    | 0.68  | 3         | 11.79           | 0.63            | 27.04      | -0.52                   | 1.2           | 1            |
| 2  | Alamo           | Tilisa       | Holstein    | 11/04/2023  | 19/04/2023       | 8                          | 4            | 2.5                | 1.7 | 753            | 20                   | 4.06    | 8     | 26.78    | 4.4     | 0.66  | 2.92      | 12.04           | 1.92            | 28.4       | -0.51                   | 1.4           | 1            |
| 3  | El Triunfo      | Varita       | Holstein    | 11/04/2023  | 24/04/2023       | 13                         | 2            | 3.5                | 1.1 | 540            | 14                   | 0.26    | 8.52  | 32.12    | 4.7     | 0.69  | 3.13      | 8.78            | 0               | 26         | -0.524                  | 0.1           | 1            |
| 4  | Veterinaria     | Mina         | Brown swiss | 13/04/2023  | 25/04/2023       | 12                         | 4            | 3.25               | 1.2 | 528            | 16                   | 2.5     | 8.74  | 30.97    | 4.81    | 0.71  | 3.2       | 11.22           | 0               | 26.3       | -0.552                  | 0.8           | 2            |
| 5  | Veterinaria     | Jaira        | Holstein    | 21/04/2023  | 4/05/2023        | 13                         | 7            | 2.75               | 3.9 | 753            | 18                   | 1.26    | 8.62  | 31.58    | 4.75    | 0.7   | 3.16      | 9.87            | 0               | 24.7       | -0.536                  | 0.4           | 2            |
| 6  | Veterinaria     | Jovina       | Fleckvieh   | 22/04/2023  | 4/05/2023        | 12                         | 1            | 4.25               | 1.4 | 521            | 17                   | 1.77    | 8.9   | 32.21    | 4.9     | 0.72  | 3.26      | 10.65           | 0               | 26.3       | -0.559                  | 0.5           | 2            |
| 7  | Alamo           | Eloisa       | Holstein    | 26/04/2023  | 4/05/2023        | 8                          | 1            | 3                  | 0.7 | 515            | 19                   | 4.77    | 8.67  | 28.72    | 4.77    | 0.72  | 3.17      | 13.43           | 0               | 28.8       | -0.562                  | 1.5           | 1            |
| 8  | Alamo           | Pandora      | Holstein    | 27/04/2023  | 4/05/2023        | 7                          | 1            | 2.75               | 0.8 | 614            | 15                   | 1.79    | 8.4   | 30.28    | 4.62    | 0.68  | 3.08      | 10.17           | 0               | 28.2       | -0.524                  | 0.6           | 1            |
| 9  | Argentina       | 1320         | Holstein    | 23/04/2023  | 5/05/2023        | 12                         | 1            | 2.5                | 3.6 | 509            | 17                   | 6.14    | 8.41  | 26.5     | 4.61    | 0.7   | 3.06      | 14.51           | 0               | 29.1       | -0.552                  | 2             | 2            |
| 10 | Argentina       | Cita         | Holstein    | 27/04/2023  | 5/05/2023        | 8                          | 2            | 2.25               | 1.1 | 478            | 18                   | 4.27    | 7.64  | 20.83    | 4.18    | 0.65  | 2.77      | 11.87           | 0.96            | 28.2       | -0.515                  | 1.5           | 2            |
| 11 | Argentina       | 1306         | Holstein    | 29/04/2023  | 8/05/2023        | 9                          | 1            | 2.5                | 0.4 | 541            | 15                   | 1.66    | 8.77  | 31.81    | 4.83    | 0.71  | 3.21      | 10.41           | 0               | 27.5       | -0.549                  | 0.5           | 2            |
| 12 | Alamo           | Nora         | Holstein    | 28/04/2023  | 10/05/2023       | 12                         | 4            | 3.5                | 0.8 | 727            | 28                   | 5.22    | 8.11  | 24.41    | 4.44    | 0.68  | 2.95      | 13.29           | 0               | 28.5       | -0.537                  | 1.1           | 1            |
| 13 | Argentina       | Jimena       | Holstein    | 2/05/2023   | 11/05/2023       | 9                          | 1            | 3.25               | 0.6 | 565            | 16                   | 3.56    | 9.03  | 31.12    | 4.96    | 0.74  | 3.3       | 12.56           | 0               | 29.4       | -0.579                  | 1.3           | 2            |
| 14 | Argentina       | China        | Holstein    | 2/05/2023   | 11/05/2023       | 9                          | 2            | 2.75               | 0.8 | 511            | 14                   | 4.44    | 9.08  | 30.56    | 4.99    | 0.75  | 3.32      | 13.5            | 0               | 29.5       | -0.589                  | 1.9           | 2            |
| 15 | Argentina       | Mia          | Jersey      | 3/05/2023   | 11/05/2023       | 8                          | 5            | 3.5                | 1.6 | 492            | 18                   | 5.32    | 7.65  | 18.82    | 4.18    | 0.65  | 2.76      | 12.91           | 0               | 30.2       | -0.531                  | 1.9           | 2            |
| 16 | Argentina       | Olivia       | Jersey      | 3/05/2023   | 11/05/2023       | 8                          | 4            | 3.5                | 0.9 | 465            | 14                   | 5.41    | 10.91 | 36.65    | 6       | 0.9   | 3.99      | 16.3            | 0               | 26.2       | -0.731                  | 1.4           | 2            |
| 17 | Santa Margarita | Lala         | Holstein    | 6/05/2023   | 16/05/2023       | 10                         | 3            | 3.5                | 0.8 | 565            | 22                   | 0.75    | 8.45  | 31.39    | 4.65    | 0.69  | 3.1       | 9.19            | 0               | 23.7       | -0.522                  | 0.2           | 1            |
| 18 | Alamo           | Rufina       | Holstein    | 8/05/2023   | 17/05/2023       | 9                          | 3            | 2.75               | 0.9 | 560            | 24                   | 5.29    | 7.63  | 19.02    | 4.17    | 0.65  | 2.76      | 12.87           | 0               | 26.4       | -0.527                  | 1.9           | 1            |
| 19 | Alamo           | Cleofe       | Holstein    | 14/05/2023  | 24/05/2023       | 10                         | 3            | 2.75               | 0.8 | 603            | 29                   | 3.98    | 8.82  | 29.95    | 4.85    | 0.72  | 3.22      | 12.77           | 0               | 28.8       | -0.567                  | 1.2           | 1            |
| 20 | Alamo           | Rilita       | Holstein    | 15/05/2023  | 24/05/2023       | 9                          | 1            | 2.5                | 0.7 | 498            | 15                   | 4.48    | 8.23  | 27.27    | 4.52    | 0.68  | 3         | 12.68           | 0               | 27.7       | -0.528                  | 1.5           | 1            |
| 21 | Alamo           | Clavel       | Holstein    | 11/05/2023  | 24/05/2023       | 13                         | 2            | 2.5                | 1.2 | 666            | 28                   | 4.2     | 8.86  | 29.91    | 4.87    | 0.73  | 3.24      | 13.04           | 0               | 29.5       | -0.571                  | 1.3           | 1            |
| 22 | Alamo           | Tany         | Holstein    | 19/05/2023  | 30/05/2023       | 11                         | 4            | 3.5                | 0.9 | 728            | 29                   | 5.51    | 6.93  | 16.16    | 3.78    | 0.59  | 2.5       | 12.38           | 8.46            | 28.4       | -0.476                  | 2.2           | 1            |
| 23 | Santa Margarita | Barbi        | Brown swiss | 23/05/2023  | 31/05/2023       | 8                          | 4            | 3.5                | 0.9 | 541            | 18                   | 1.76    | 9.58  | 34.82    | 5.28    | 0.78  | 3.51      | 11.33           | 0               | 28.1       | -0.606                  | 0.5           | 1            |
| 24 | Alamo           | Melek        | Holstein    | 25/05/2023  | 4/06/2023        | 10                         | 5            | 2.75               | 0.6 | 780            | 25                   | 1.88    | 9.55  | 34.57    | 5.26    | 0.78  | 3.5       | 11.42           | 0               | 28.4       | -0.605                  | 0.5           | 1            |
| 25 | Alamo           | Polusita     | Holstein    | 26/05/2023  | 4/06/2023        | 9                          | 2            | 3.25               | 0.8 | 516            | 24                   | 4.11    | 8.97  | 30.43    | 4.93    | 0.74  | 3.28      | 13.06           | 0               | 25         | -0.579                  | 1.3           | 1            |
| 26 | Argentina       | Deisi        | Holstein    | 26/05/2023  | 4/06/2023        | 9                          | 4            | 3.25               | 0.7 | 793            | 13                   | 4.89    | 15.45 | 54.33    | 3.3     | 1.27  | 3.66      | 13.12           | 0               | 30.5       | -0.478                  | 1.3           | 2            |
| 27 | Argentina       | 1307         | Fleckvieh   | 26/05/2023  | 4/06/2023        | 9                          | 1            | 3.25               | 0.8 | 466            | 15                   | 4.16    | 7.14  | 19.03    | 3.9     | 0.6   | 2.59      | 11.25           | 8.07            | 27.1       | -0.478                  | 1.6           | 2            |
| 28 | Alamo           | Zaida        | Holstein    | 27/05/2023  | 4/06/2023        | 8                          | 4            | 3                  | 0.5 | 553            | 16                   | 3.73    | 9.92  | 34.35    | 5.46    | 0.81  | 3.63      | 13.63           | 0               | 28.2       | -0.644                  | 1             | 1            |
| 29 | Argentina       | 1316         | Jersey      | 27/05/2023  | 4/06/2023        | 8                          | 1            | 3.25               | 0.7 | 396            | 15                   | 1.89    | 9.2   | 33.23    | 5.06    | 0.75  | 3.37      | 11.07           | 0               | 28.8       | -0.58                   | 0.6           | 2            |
| 30 | El Triunfo      | Navarra      | Holstein    | 30/05/2023  | 6/06/2023        | 7                          | 2            | 3.25               | 0.7 | 579            | 24                   | 0.89    | 7.82  | 28.91    | 4.31    | 0.63  | 2.87      | 8.7             | 7.5             | 25.9       | -0.481                  | 0.3           | 1            |
| 31 | Alamo           | Ortenca      | Holstein    | 2/06/2023   | 13/06/2023       | 11                         | 3            | 2.75               | 0.8 | 603            | 26                   | 6.1     | 7.79  | 24.17    | 4.27    | 0.65  | 2.83      | 13.85           | 2.5             | 30.9       | -0.507                  | 2.2           | 1            |
| 32 | Alamo           | Acacia       | Holstein    | 4/06/2023   | 13/06/2023       | 9                          | 2            | 3.25               | 1   | 591            | 26                   | 5.12    | 7.78  | 21.48    | 4.25    | 0.66  | 2.82      | 12.85           | 0               | 27.7       | -0.525                  | 1.8           | 1            |
| 33 | Alamo           | Druclia      | Holstein    | 5/06/2023   | 13/06/2023       | 8                          | 2            | 2.75               | 0.7 | 511            | 22                   | 2.7     | 8.84  | 31.17    | 4.86    | 0.72  | 3.23      | 11.51           | 0               | 29.9       | -0.561                  | 0.8           | 1            |
| 34 | Argentina       | 1301         | Holstein    | 2/06/2023   | 15/06/2023       | 13                         | 1            | 3.25               | 1.6 | 579            | 13                   | 2.64    | 9.21  | 32.6     | 5.07    | 0.75  | 3.37      | 11.83           | 0               | 23.3       | -0.586                  | 0.8           | 2            |
| 35 | Argentina       | 1212         | Jersey      | 3/06/2023   | 15/06/2023       | 12                         | 1            | 3                  | 1.2 | 331            | 13                   | 1.65    | 8.87  | 32.21    | 4.88    | 0.72  | 3.25      | 10.5            | 0               | 26.6       | -0.556                  | 0.5           | 2            |
| 36 | Argentina       | 1310         | Jersey      | 3/06/2023   | 15/06/2023       | 12                         | 1            | 2.75               | 4.4 | 421            | 12                   | 2.76    | 9.24  | 32.63    | 5.08    | 0.76  | 3.38      | 11.98           | 0               | 26.5       | -0.589                  | 0.8           | 2            |
| 37 | El Triunfo      | Almita       | Holstein    | 10/06/2023  | 19/06/2023       | 9                          | 2            | 2.75               | 0.9 | 589            | 21                   | 1.92    | 9.6   | 34.75    | 5.29    | 0.78  | 3.52      | 11.51           | 0               | 29.5       | -0.609                  | 0.5           | 1            |
| 38 | Alamo           | Yamila       | Holstein    | 20/06/2023  | 29/06/2023       | 9                          | 3            | 3                  | 1   | 598            | 22                   | 5.73    | 7.23  | 22.4     | 3.97    | 0.6   | 2.63      | 12.93           | 10.38           | 26.3       | -0.466                  | 2.2           | 1            |
| 39 | Santa Margarita | Wini         | Fleckvieh   | 4/07/2023   | 14/07/2023       | 10                         | 2            | 4                  | 0.7 | 579            | 12                   | 4.2     | 7.82  | 22.46    | 4.28    | 0.66  | 2.84      | 11.98           | 0               | 28.9       | -0.522                  | 1.5           | 1            |
| 40 | Santa Margarita | Bianca       | Holstein    | 11/07/2023  | 19/07/2023       | 8                          | 3            | 2.25               | 0.4 | 560            | 16                   | 5.26    | 7.25  | 22.88    | 3.98    | 0.6   | 2.64      | 12.48           | 10.57           | 29.1       | -0.465                  | 2             | 1            |
| 41 | Alamo           | Ginebra      | Holstein    | 20/07/2023  | 30/07/2023       | 10                         | 2            | 2.75               | 1.1 | 498            | 25                   | 1.2     | 8.27  | 30.34    | 4.56    | 0.67  | 3.03      | 9.46            | 1.34            | 26.4       | -0.513                  | 0.4           | 1            |
| 42 | Alamo           | Salvia       | Holstein    | 30/07/2023  | 9/08/2023        | 10                         | 4            | 3.25               | 0.8 | 659            | 20                   | 5.2     | 8.02  | 19.71    | 4.38    | 0.69  | 2.9       | 13.17           | 0               | 23.9       | -0.564                  | 1.8           | 1            |
| 43 | Argentina       | Daniela      | Holstein    | 4/08/2023   | 18/08/2023       | 14                         | 3            | 2.75               | 1.8 | 565            | 12                   | 2.74    | 8.46  | 29.69    | 4.66    | 0.69  | 3.1       | 11.19           | 0               | 23.6       | -0.534                  | 0.9           | 2            |
| 44 | Argentina       | Denisse      | Holstein    | 7/08/2023   | 20/08/2023       | 13                         | 2            | 3.25               | 2.5 | 598            | 11                   | 2.1     | 8.74  | 31.34    | 4.81    | 0.71  | 3.2       | 10.82           | 0               | 22.6       | -0.55                   | 0.7           | 2            |
| 45 | Argentina       | Blanca       | Jersey      | 10/08/2023  | 23/08/2023       | 13                         | 3            | 3.25               | 1.3 | 620            | 9                    | 4.62    | 7.17  | 18.73    | 3.92    | 0.61  | 2.59      | 11.74           | 7.11            | 23.3       | -0.483                  | 1.8           | 2            |
| 46 | Argentina       | 1329         | Brown swiss | 11/08/2023  | 23/08/2023       | 12                         | 1            | 2.75               | 0.8 | 535            | 14                   | 1.22    | 8.94  | 32.87    | 4.93    | 0.73  | 3.28      | 10.16           | 0               | 22.5       | -0.558                  | 0.4           | 2            |
| 47 | Alamo           | Sonaly       | Holstein    | 14/08/2023  | 26/08/2023       | 12                         | 3            | 3.25               | 1   | 678            | 23                   | 1.51    | 8.34  | 30.33    | 4.59    | 0.68  | 3.06      | 9.84            | 0.19            | 25.5       | -0.519                  | 0.5           | 1            |
| 48 | Argentina       | 1322         | Holstein    | 28/08/2023  | 5/09/2023        | 8                          | 1            | 3.25               | 0.6 | 629            | 12                   | 4.4     | 14.94 | 56.33    | 3.24    | 1.21  | 5.48      | 14.33           | 0               | 18.9       | -0.488                  | 0.8           | 2            |
| 49 | Veterinaria     | Juana        | Holstein    | 25/08/2023  | 9/09/2023        | 15                         | 3            | 3.25               | 3.3 | 666            | 19                   | 4.53    | 7.47  | 21.2     | 4.09    | 0.63  | 2.71      | 11.96           | 4.61            | 27.8       | -0.496                  | 1.7           | 2            |
| 50 | Veterinaria     | Meli         | Brown swiss | 28/08/2023  | 12/09/2023       | 15                         | 3            | 2.25               | 0.4 | 416            | 8                    | 1.43    | 9.84  | 36.09    | 5.02    | 0.8   | 3.61      | 10.86           | 0               | 28         | -0.622                  | 0.4           | 2            |
| 51 | Alamo           | Cordelia     | Holstein    | 6/09/2023   | 17/09/2023       | 11                         | 2            | 3.25               | 0.7 | 541            | 27                   | 4.96    | 7.42  | 20.27    | 4.06    | 0.63  | 2.69      | 12.34           | 4.42            | 26.6       | -0.497                  | 1.8           | 1            |
| 52 | Alamo           | Indira       | Holstein    | 7/09/2023   | 17/09/2023       | 10                         | 3            | 3.25               | 0.7 | 659            | 25                   | 4.48    | 7.95  | 23.57    | 4.35    | 0.66  | 2.89      | 12.38           | 0               | 28.1       | -0.527                  | 1.6           | 1            |
| 53 | Argentina       | Ingrid       | Holstein    | 9/09/2023   | 23/09/2023       | 14                         | 3            | 3                  | 2.3 | 640            | 13                   | 4.1     | 7.02  | 15.98    | 3.83    | 0.6   | 2.53      | 11.06           | 6.53            | 30.5       | -0.486                  | 1.6           | 2            |
| 54 | Santa Margarita | Zolla        | Holstein    | 15/09/2023  | 23/09/2023       | 8                          | 2            | 3.25               | 0.5 | 541            | 21                   | 2.62    | 9.08  | 32.16    | 5       | 0.74  | 3.32      | 11.68           | 0               | 27.7       | -0.577                  | 0.8           | 1            |
| 55 | Argentina       | 1327         | Holstein    | 8/09/2023   | 23/09/2023       | 15                         | 1            | 2.25               | 0.4 | 370            | 12                   | 5.68    | 7.69  | 24.18    | 4.22    | 0.64  | 2.8       | 13.34           | 4.23            | 28.1       | -0.498                  | 2             | 2            |
| 56 | Argentina       | Mayra        | Holstein    | 16/09/2023  | 27/09/2023       | 11                         | 3            | 3                  | 0.8 | 620            | 9                    | 5.69    | 7.32  | 18.38    | 4       | 0.62  | 2.65      | 12.96           | 3.84            | 31.2       | -0.5                    | 2.1           | 2            |
| 57 | Veterinaria     | Nila         | Fleckvieh   | 20/09/2023  | 28/09/2023       | 8                          | 4            | 3.75               | 1.5 | 691            | 8                    | 3.31    | 8.76  | 30.31    | 4.82    | 0.72  | 3.2       | 12.05           | 0               | 29.7       | -0.559                  | 1             | 2            |
| 58 | Argentina       | 1318         | Holstein    | 21/09/2023  | 30/09/2023       | 9                          | 1            | 2.75               | 1.3 | 441            | 12                   | 4.79    | 9.15  | 30.51    | 5.03    | 0.75  | 3.34      | 13.91</         |                 |            |                         |               |              |

Registro de datos evaluados en las 60 vacas de cinco establos “Álamo, Tartar pecuario FCV, Argentina, Santa Margarita, El Triunfo” de la campaña de Cajamarca, en los datos encontramos Nombre del fundo, nombre de la vaca evaluada, raza, fecha de parición, fecha de evaluación, número de días de evaluación (rango entre 8 y 15 días postparto), número de partos, condición corporal, BHB, peso, producción de leche (kg), grasa %, SNG, densidad, lactosa, sales, proteína, solidos totales, agua adicionada, T° de muestra, punto de congelación, grasa proteína y alimentación.

**Anexo 1:** Prueba de Chi cuadrado de independencia entre vacas con y sin cetosis comparado con la producción de leche

#### Pruebas de chi-cuadrado

|                                 | Valor              | df | Significación<br>asintótica<br>(bilateral) |
|---------------------------------|--------------------|----|--|
| Chi-cuadrado de Pearson         | 6,492 <sup>a</sup> | 2  | 0,039                                      |
| Razón de verosimilitud          | 7,452              | 2  | 0,024                                      |
| Asociación lineal por<br>lineal | 6,303              | 1  | 0,012                                      |
| N de casos válidos              | 56                 |    |  |

a. 3 casillas (50,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,93.

**Anexo 2:** Prueba de Chi cuadrado de independencia entre vacas con y sin cetosis comparado con los sólidos totales

**Medidas simétricas**

|                         |                         | Valor  | Error estándar asintótico <sup>a</sup> | T aproximada <sup>b</sup> | Significación aproximada |
|-------------------------|-------------------------|--------|--|---------------------------|--------------------------|
| Intervalo por intervalo | R de Pearson            | -0,339 | 0,109                                  | -2,644                    | 0,011 <sup>c</sup>       |
| Ordinal por ordinal     | Correlación de Spearman | -,340  | 0,103                                  | -2,661                    | 0,010 <sup>c</sup>       |
| N de casos válidos      |                         | 56     |  |                           |                          |

a. No se presupone la hipótesis nula.

b. Utilización del error estándar asintótico que presupone la hipótesis nula.

c. Se basa en aproximación normal.

**Pruebas de chi-cuadrado**

|  | Valor              | df | Significación asintótica (bilateral) | Significación exacta (bilateral) | Significación exacta (unilateral) |
|--|--------------------|----|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Chi-cuadrado de Pearson                | 0,902 <sup>a</sup> | 1  | 0,342                                |                                  |                                   |
| Corrección de continuidad <sup>b</sup> | 0,401              | 1  | 0,527                                |                                  |                                   |
| Razón de verosimilitud                 | 0,908              | 1  | 0,341                                |                                  |                                   |
| Prueba exacta de Fisher                |                    |    |                                      | 0,528                            | 0,264                             |
| Asociación lineal por lineal           | 0,886              | 1  | 0,347                                |                                  |                                   |
| N de casos válidos                     |                    | 56 |                                      |                                  |                                   |

a. 0 casillas (0,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 6,50.

b. Sólo se ha calculado para una tabla 2x2

**Medidas simétricas**

|                         |                         | Valor  | Error estándar asintótico <sup>a</sup> | T aproximada <sup>b</sup> | Significación aproximada |
|-------------------------|-------------------------|--------|--|---------------------------|--------------------------|
| Intervalo por intervalo | R de Pearson            | -0,127 | 0,131                                  | -0,940                    | 0,351 <sup>c</sup>       |
| Ordinal por ordinal     | Correlación de Spearman | -0,127 | 0,131                                  | -0,940                    | 0,351 <sup>c</sup>       |
| N de casos válidos      |                         | 56     |  |                           |                          |

a. No se presupone la hipótesis nula.

b. Utilización del error estándar asintótico que presupone la hipótesis nula.

c. Se basa en aproximación normal.

**Anexo 3:** Prueba de Chi cuadrado de independencia entre vacas con y sin cetosis comparado con el porcentaje de grasa

**Tabla cruzada GR\*Codificado**

|          |                   | Codificado |             | Total |
|----------|-------------------|------------|-------------|-------|
|          |                   | Normal     | Sub Clínica |       |
| GR <3,25 | Recuento          | 15         | 6           | 21    |
|          | Recuento esperado | 16,1       | 4,9         | 21,0  |
| GR >3,25 | Recuento          | 28         | 7           | 35    |
|          | Recuento esperado | 26,9       | 8,1         | 35,0  |
| Total    | Recuento          | 43         | 13          | 56    |
|          | Recuento esperado | 43,0       | 13,0        | 56,0  |

**Medidas simétricas**

|                         |                         | Valor  | Error estándar asintótico <sup>a</sup> | T aproximada <sup>b</sup> | Significación aproximada |
|-------------------------|-------------------------|--------|--|---------------------------|--------------------------|
| Intervalo por intervalo | R de Pearson            | -0,098 | 0,136                                  | -0,726                    | 0,471 <sup>c</sup>       |
| Ordinal por ordinal     | Correlación de Spearman | -0,098 | 0,136                                  | -0,726                    | 0,471 <sup>c</sup>       |
| N de casos válidos      |                         | 56     |  |                           |                          |

a. No se presupone la hipótesis nula.

b. Utilización del error estándar asintótico que presupone la hipótesis nula.

c. Se basa en aproximación normal.

**Anexo 4:** Prueba de Chi cuadrado de independencia entre vacas con y sin cetosis comparado con el porcentaje de Proteína

**Tabla cruzada Proteína\*Codificado**

|          |                   | Codificado        |             | Total |      |
|----------|-------------------|-------------------|-------------|-------|------|
|          |                   | Normal            | Sub Clínica |       |      |
| Proteína | menor a 3,2       | Recuento          | 25          | 5     | 30   |
|          |                   | Recuento esperado | 23,0        | 7,0   | 30,0 |
|          | Mayor 3,2         | Recuento          | 18          | 8     | 26   |
|          |                   | Recuento esperado | 20,0        | 6,0   | 26,0 |
| Total    | Recuento          | 43                | 13          | 56    |      |
|          | Recuento esperado | 43,0              | 13,0        | 56,0  |      |

### Pruebas de chi-cuadrado

|   | Valor              | df | Significación<br>asintótica<br>(bilateral) | Significación<br>exacta<br>(bilateral) | Significación<br>exacta<br>(unilateral) |
|---|--------------------|----|--|--|---|
| Chi-cuadrado de Pearson                   | 1,554 <sup>a</sup> | 1  | ,213                                       |  |   |
| Corrección de<br>continuidad <sup>b</sup> | ,864               | 1  | ,353                                       |  |   |
| Razón de verosimilitud                    | 1,557              | 1  | ,212                                       |  |   |
| Prueba exacta de Fisher                   |                    |    |  | ,342                                   | ,176                                    |
| Asociación lineal por<br>lineal           | 1,526              | 1  | ,217                                       |  |   |
| N de casos válidos                        | 56                 |    |  |  |   |

a. 0 casillas (0,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 6,04.

b. Sólo se ha calculado para una tabla 2x2

### Medidas simétricas

|   | Valor | Error<br>estándar<br>asintótico <sup>a</sup> | T<br>aproximada <sup>b</sup> | Significación<br>aproximada |
|---|-------|--|------------------------------|-----------------------------|
| Intervalo por<br>intervalo R de Pearson           | ,167  | ,132   | 1,242                        | ,220 <sup>c</sup>           |
| Ordinal por ordinal<br>Correlación de<br>Spearman | ,167  | ,132   | 1,242                        | ,220 <sup>c</sup>           |
| N de casos válidos                                | 56    |  |                              |                             |

a. No se presupone la hipótesis nula.

b. Utilización del error estándar asintótico que presupone la hipótesis nula.

c. Se basa en aproximación normal.

**Anexo 5:** Prueba de Chi cuadrado de independencia entre vacas con y sin cetosis comparado con el porcentaje Lactosa

**Tabla cruzada Lactosa\*Codificado**

|             |       | Codificado        |             | Total |      |
|-------------|-------|-------------------|-------------|-------|------|
|             |       | Normal            | Sub Clínica |       |      |
| Lactos<br>a | <4,19 | Recuento          | 12          | 3     | 15   |
|             |       | Recuento esperado | 11,5        | 3,5   | 15,0 |
|             | >4,2  | Recuento          | 31          | 10    | 41   |
|             |       | Recuento esperado | 31,5        | 9,5   | 41,0 |
| Total       |       | Recuento          | 43          | 13    | 56   |
|             |       | Recuento esperado | 43,0        | 13,0  | 56,0 |

**Pruebas de chi-cuadrado**

|   | Valor              | df | Significación<br>asintótica<br>(bilateral) | Significación<br>exacta<br>(bilateral) | Significación<br>exacta<br>(unilateral) |
|---|--------------------|----|--|--|---|
| Chi-cuadrado de Pearson                   | 0,119 <sup>a</sup> | 1  | 0,730                                      |  |   |
| Corrección de<br>continuidad <sup>b</sup> | 0,000              | 1  | 1,000                                      |  |   |
| Razón de verosimilitud                    | 0,121              | 1  | 0,727                                      |  |   |
| Prueba exacta de Fisher                   |                    |    |  | 1,000                                  | 0,517                                   |
| Asociación lineal por<br>lineal           | 0,117              | 1  | 0,733                                      |  |   |
| N de casos válidos                        | 56                 |    |  |  |   |

a. 1 casillas (25,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 3,48.

b. Sólo se ha calculado para una tabla 2x2

**Medidas simétricas**

|                         |                         | Valor | Error estándar asintótico <sup>a</sup> | T aproximada <sup>b</sup> | Significación aproximada |
|-------------------------|-------------------------|-------|--|---------------------------|--------------------------|
| Intervalo por intervalo | R de Pearson            | ,046  | 0,129                                  | 0,339                     | 0,736 <sup>c</sup>       |
| Ordinal por ordinal     | Correlación de Spearman | ,046  | 0,129                                  | 0,339                     | 0,736 <sup>c</sup>       |
| N de casos válidos      |                         | 56    |  |                           |                          |

a. No se presupone la hipótesis nula.

b. Utilización del error estándar asintótico que presupone la hipótesis nula.

c. Se basa en aproximación normal.

**Anexo 6:** Prueba de Chi cuadrado de independencia entre vacas con y sin cetosis comparado con la relación grasa/proteína

**Tabla cruzada G/P\*Codificado**

|       |                   |                   | Codificado |             | Total |
|-------|-------------------|-------------------|------------|-------------|-------|
|       |                   |                   | Normal     | Sub Clínica |       |
| Grasa | Menor a 1         | Recuento          | 24         | 8           | 32    |
|       |                   | Recuento esperado | 24,6       | 7,4         | 32,0  |
|       | 1 a 1,4           | Recuento          | 1          | 2           | 3     |
|       |                   | Recuento esperado | 2,3        | ,7          | 3,0   |
|       | mayor a 1,4       | Recuento          | 18         | 3           | 21    |
|       |                   | Recuento esperado | 16,1       | 4,9         | 21,0  |
| Total | Recuento          | 43                | 13         | 56          |       |
|       | Recuento esperado | 43,0              | 13,0       | 56,0        |       |

### Pruebas de chi-cuadrado

|                            |                            | Valor      | Error estándar<br>asintótico <sup>a</sup> | T<br>aproximada <sup>b</sup> | Significación<br>aproximada |
|----------------------------|----------------------------|------------|---|------------------------------|-----------------------------|
| Intervalo por<br>intervalo | R de Pearson               | -<br>0,109 | 0,122                                     | -0,803                       | 0,426 <sup>c</sup>          |
| Ordinal por<br>ordinal     | Correlación de<br>Spearman | -<br>0,098 | 0,124                                     | -0,720                       | 0,475 <sup>c</sup>          |
| N de casos válidos         |                            | 56         |   |                              |                             |

a. No se presupone la hipótesis nula.

b. Utilización del error estándar asintótico que presupone la hipótesis nula.

c. Se basa en aproximación normal.

|                                 | Valor              | df | Significación<br>asintótica<br>(bilateral) |
|---------------------------------|--------------------|----|--|
| Chi-cuadrado de Pearson         | 4,174 <sup>a</sup> | 2  | 0,124                                      |
| Razón de verosimilitud          | 3,654              | 2  | 0,161                                      |
| Asociación lineal por<br>lineal | 0,649              | 1  | 0,421                                      |
| N de casos válidos              |                    | 56 |  |

a. 3 casillas (50,0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,70.

### Medidas simétricas

**Anexo 7:** Prueba de Chi cuadrado de independencia entre vacas con y sin cetosis comparado con la condición corporal

#### Pruebas de chi-cuadrado

|                                 | Valor              | df | Significación<br>asintótica<br>(bilateral) |
|---------------------------------|--------------------|----|--|
| Chi-cuadrado de Pearson         | 0,232 <sup>a</sup> | 2  | 0,890                                      |
| Razón de verosimilitud          | 0,234              | 2  | 0,890                                      |
| Asociación lineal por<br>lineal | 0,123              | 1  | 0,726                                      |
| N de casos válidos              | 56                 |    |  |

a. 2 casillas (33,3%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 2,09.

### Medidas simétricas

|  | Valor | Error estándar<br>asintótico <sup>a</sup> | T<br>aproximada<br><sup>b</sup> | Significación<br>aproximada |
|--|-------|---|---------------------------------|-----------------------------|
| Intervalo por R de Pearson<br>intervalo        | 0,047 | 0,134                                     | 0,348                           | 0,729 <sup>c</sup>          |
| Ordinal por Correlación de<br>ordinal Spearman | 0,053 | 0,134                                     | 0,389                           | 0,699 <sup>c</sup>          |
| N de casos válidos                             | 56    |   |                                 |                             |

a. No se presupone la hipótesis nula.

b. Utilización del error estándar asintótico que presupone la hipótesis nula.

c. Se basa en aproximación normal.

**Anexo 8:** Imágenes de la realización del trabajo de investigación.



**Figura 4.** Toma del peso utilizando una cinta bovinometrica



**Figura 5.** Toma de muestra de sangre de la vena coccígea utilizando una jeringa de tuberculina.



**Figura 6.** Análisis de sangre extraída de la vena coccígea y se coloca en el cetómetro electrónico (Free Style Optium Neo).



**Figura 7.** Resultado obtenido del nivel de betahidroxibutirato en el cetómetro electrónico (Free Style Optium Neo)



Figura 8. Obtención de muestra de leche.

Figura 9. Registro de la producción de leche diaria.





**Figura 10.** Resultados de las muestras de leche analizadas, utilizando el Analizador ultrasónico (Lactoscan S)