

**EFFECTO DEL COBALTO SOLUBLE SOBRE EL CONSUMO DE MATERIA SECA,
DIGESTIBILIDAD APARENTE TOTAL, PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN EN LA
LECHE DE BOVINOS DE LA RAZA HOLSTEIN**

NICOLÁS FELIPE DÍAZ RUÍZ
CÓDIGO: 150211119

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE ZOOTECNIA
FUSAGASUGÁ
2016

**EFFECTO DEL COBALTO SOLUBLE SOBRE EL CONSUMO DE MATERIA SECA,
DIGESTIBILIDAD APARENTE TOTAL, PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN EN LA
LECHE DE BOVINOS DE LA RAZA HOLSTEIN**

Proyecto de grado opción investigación,
como requisito parcial para la obtención
del título de Zootecnista

NICOLAS FELIPE DIAZ RUIZ
CÓDIGO: 150211119

LAURA ALEXANDRA ROMERO SOLÓRZANO
Directora
Zootecnista
MSc. en ciencias en nutrición y producción animal

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
PROGRAMA DE ZOOTECCNIA
FUSAGASUGÁ
2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres que siempre me apoyaron y me dieron fuerzas para continuar con el estudio y finalmente a toda los profesionales, estudiantes y profesores de las ciencias agropecuarias que se encuentran enfocados en el área de la nutrición bovina, para que de alguna forma este trabajo apoye y se incentivó para muchas investigaciones en el campo de la nutrición bovina.

AGRADECIMIENTOS

Expreso ante todo mis agradecimientos a Dios por siempre permitirme estar bien para afrontar esta etapa de mi vida con disciplina y fortaleza, a mis padres por el apoyo económico y emocional, al señor Ricardo Camacho y todo el personal de la Hacienda Megaleche así como a la empresa Enancol por el apoyo económico y sobre todo la experiencia, a la profesora Laura Alexandra Romero por estar siempre apoyando el trabajo sin importar las problemas, siempre mantenerse dispuesta a ayudarme a pesar de que muchas veces el tiempo era la principal limitante, a Laura Catalina Campos que muchas veces fue mi apoyo en el trabajo de laboratorio así como un apoyo moral, al profesor Jairo Enrique Granados por su amplio conocimiento en el campo de la nutrición animal y por la colaboración en el trabajo de laboratorio y a todas las personas que de una u otra forma se vieron involucradas para la realización de esta investigación.

TABLA DE CONTENIDO.

1. INTRODUCCIÓN	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REVISION DE LITERATURA.....	15
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA RAZA HOLSTEIN.....	15
3.2 PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA LECHE DE LA RAZA HOLSTEIN.....	15
3.5 COBALTO EN LA DIETA DE RUMIANTES.	24
3.6 COBALTO SOLUBLE COMO ADITIVO.....	25
3.7 EFECTO DEL COBALTO SOLUBLE SOBRE EL CONSUMO DE MATERIA SECA.	27
3.8 DIGESTIÓN Y METABOLISMO DEL COBALTO SOLUBLE EN RUMIANTES.....	28
3.9 EFECTO DEL COBALTO SOLUBLE SOBRE EL DESEMPEÑO ANIMAL.	33
3.10 EFECTO DEL COBALTO SOLUBLE SOBRE LA PRODUCCIÓN Y LA COMPOSICIÓN DE LA LECHE.....	34
4. MATERIAL Y MÉTODOS	38
4.1 UBICACIÓN EXPERIMENTAL.....	38
4.2 ANIMALES E INSTALACIONES.....	38
4.3 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.	39
4.4 MANEJO NUTRICIONAL Y PERÍODO EXPERIMENTAL.	40
4.5 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN.	42
4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	45
5. RESULTADOS Y DISCUSION.....	46
5.1 CONSUMO DE MATERIA SECA Y DIGESTIBILIDAD APARENTE TOTAL.....	46
5.2 PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA LECHE.....	51
6. CONCLUSIONES	58
7. RECOMENDACIONES	59
8. BIBLIOGRAFIA.....	60

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Produccion de leche de la raza Holstein reportado por diferentes autores.	17
Tabla 2. Efecto de la adición de cobalto soluble sobre parámetros reproductivos en hatos lecheros.	34
Tabla 3. Proporción de ingredientes de la dieta basal, expresados en porcentaje de materia seca (%MS) y kilogramos (kg).	40
Tabla 4. Composición bromatológica estimada de la ración parcialmente mezclada (PMR) como dieta basal, expresada en porcentaje de materia seca (%MS).	41
Tabla 5. Efecto de la adición de cobalto soluble sobre el CMS y los coeficientes de digestibilidad de la PB y FDN.	46
Tabla 6. Efecto de la adición de cobalto soluble sobre la producción y composición de la leche.	51

LISTA DE GRAFICAS.

Gráfica 1. Efecto del cobalto soluble sobre la producción de leche.	53
Grafica 2. Efecto del cobalto soluble sobre la producción de lactosa.	54
Gráfica 3. Efecto del cobalto soluble sobre el porcentaje de Lactosa.	55
Gráfica 4. Efecto del cobalto soluble sobre la produccion de grasa lactea.....	56
Gráfica 5. Efecto del cobalto suluble sobre el porcentaje de grasa en la leche.	57

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1 Estructura de la Cianocobalamina.....	25
Figura 2. Conversion del propinil CoA a succinil CoA.....	29
Figura 3. Ciclos del Folato y la Metionina	30
Figura 4. Esquema de manejo por período experimental	42

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto fue evaluar el efecto del cobalto soluble sobre el consumo de materia seca, la digestibilidad aparente total de la materia seca, la producción y composición de la leche de bovinos. Diez animales bovinos de la raza Holstein, con peso vivo promedio de 609 ± 55 kg fueron distribuidos a una de las tres dietas experimentales variando según el nivel de inclusión de cobalto soluble utilizado, en un diseño experimental de medidas repetidas, siendo los tratamientos: 1) T Control: Dieta basal formada por una PMR y el aporte de forraje de la pradera, sin adición de cobalto soluble; 2) T 7g Co: Dieta basal con inclusión de 7 gramos de cobalto soluble y; 3) T 14g Co: Dieta basal con inclusión de 14 gramos de cobalto soluble. Cada período experimental fue constituido de 21 días, considerando los primeros 15 días para adaptación a las dietas y los últimos 6 días para colecta de datos de los parámetros a evaluar. Fue evaluado el efecto del cobalto soluble sobre el consumo de materia seca. Para determinar la digestibilidad de la materia seca y sus fracciones, fue utilizado el marcador de óxido de cromo. Las vacas se ordeñaron tres veces al día a las 3:00, 11:00 y 17:00 horas, para determinar la producción de leche diaria. A partir del día 21 las muestras de leche obtenidas fueron utilizadas para análisis de la composición de la leche para determinación de los porcentajes de grasa, proteína, lactosa. Los resultados fueron analizados por el programa Infostat. Los parámetros evaluados fueron sometidos a un ANAVA, donde el modelo incluía el efecto de tratamiento como factor fijo y los efectos de animal dentro de cada periodo como factores aleatorios, la comparación de los promedios se realizó por medio del test de Duncan.

Palabras claves: Cobalto soluble; digestibilidad; producción de leche

ABSTRACT

The aim of this project was to evaluate the effect of soluble cobalt on dry matter intake, total apparent digestibility of dry matter, production and composition of milk cattle. Ten animals cattle Holsteins, averaging 609 ± 55 kg liveweight were distributed to one of three experimental diets vary according to the level of inclusion of soluble cobalt used in an experimental design of repeated measures being treatments: 1) T Control: basal diet consisting of a PMR and contribution of fodder prairie, without addition of soluble cobalt; 2) T 7g Co: basal diet including 7 grams of soluble cobalt; 3) T 14g Co: basal diet including 14 grams of soluble cobalt. Each experimental period was made up of 21 days, considering the first 15 days to adapt to diets and the last six days for data collection parameters evaluated. It was evaluated the effect of soluble cobalt on dry matter intake. To determine the digestibility of dry matter and its fractions, he was used marker chromium oxide. Cows were milked three times a day at 3:00, 11:00 and 17:00, to determine the daily milk production. From day 21 milk samples obtained were used for analysis of milk composition for determining the percentages of fat, protein, lactose and pH. The results were analyzed by the Infostat program. The parameters evaluated were subjected to an ANOVA, where the model included the effect of treatment as fixed factor and the effects of animal within each period as random factors, comparison of averages was performed by the test of Duncan.

Keywords: Soluble cobalt; digestibility; milk production.

1. INTRODUCCIÓN

La alimentación de bovinos se basa en su mayoría en el suministro de forrajes, lo que puede ser un limitante de la productividad, debido a la baja concentración de nutrientes por unidad de masa y de la lenta tasa de degradación y escape, lo que puede restringir el consumo de alimento (Jung y Allen, 1995). En este sentido, el consumo de energía es determinado por la concentración energética y por la tasa de ingestión de la dieta lo que se constituye en un factor importante para la producción de leche debido a la interferencia en el consumo de forraje y la digestibilidad de la materia seca, así como, la eficiencia de utilización del propio forraje.

Al inicio de la lactancia, los animales de alta producción no alcanzan un consumo de alimento suficiente para atender sus exigencias energéticas. En la tentativa de suplir las exigencias, vacas de alta producción movilizan las reservas de los tejidos corporales, particularmente los depósitos de grasa, resultando en pérdida de peso y de la condición corporal. Una alternativa para el aumento de la eficiencia de la utilización de los nutrientes de la dieta, es el uso del cobalto soluble, el cual contribuye con la mejora de la ingesta del alimento y de la digestibilidad del mismo, reduciendo los nutrientes perdidos mediante excreción. Por otro lado, contribuye con la mejor digestibilidad de la fibra y a su vez con mayor conversión del alimento, lo que se traduce en mejor condición corporal, dentro de los parámetros productivos aumenta los niveles de producción de leche, así como la ganancia de peso en bovinos (Ralco Animal Nutrition, 2010), por todos estos beneficios se torna de gran importancia iniciar con investigaciones que contribuyan con un avance a nivel

nutricional de rumiantes y que generen datos nacionales sobre nuevas tendencias en la nutrición animal.

En el caso de vacas lecheras de alta producción, la adición del cobalto soluble en la dieta, no solo resulta en un aumento de la producción de leche, sino que también influye directamente en la composición de la misma, debido a que modifica las condiciones ruminales contribuyendo de esta forma en un mejor aporte energético (Ralco Animal Nutrition, 2010). Entre tanto, surge el interés de observar si los niveles de inclusión utilizados en el presente proyecto, tienen una influencia o no, tanto en la producción como en la composición de la leche de vacas lactantes en el primer tercio de lactación. Por lo tanto, el presente trabajo está dirigido a dilucidar el efecto del cobalto soluble sobre el consumo de materia seca, la digestibilidad aparente total, producción y composición en la leche de bovinos bajo las condiciones de producción de la sabana de Bogotá, ya que no se cuenta con estudios en Colombia que afirmen el efecto benéfico que tiene este aditivo sobre la nutrición de rumiantes, la composición y la calidad de la leche.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del cobalto soluble sobre el consumo de materia seca, la digestibilidad aparente total, producción y composición de la leche en bovinos de la raza Holstein en el primer tercio de lactancia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto del cobalto soluble sobre el consumo de materia seca de la dieta de bovinos.
- Verificar el efecto del cobalto soluble sobre la digestibilidad aparente total de la materia seca de la dieta y sus fracciones.
- Determinar el efecto de la dieta sobre la producción y composición de la leche de bovinos.

3. REVISION DE LITERATURA

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA RAZA HOLSTEIN

Es un animal grande de buena conformación que en su edad adulta alcanza a pesar 650 kilogramos, también es característico su pelaje de color blanco y negro o en algunas ocasiones blanco y rojo, igualmente con la selección genética se han acentuado algunos caracteres favorables como la buena conformación de ubre, los pezones y un mayor rendimiento en cuanto a producción de leche (Bernal y Gómez, 2006).

La raza Holstein tiene su origen en Alemania y los países bajos, de allí llegaron los primeros animales a Colombia, actualmente se encuentran diseminados por varios departamentos del país debido a sus grandes cualidades como la excelente producción de leche en cuanto a volumen se refiere, otorgándole a su vez características de ser un animal eficiente y rentable (Ariza, 2011). Sin embargo la información otorgada por Shook (2006) afirma que la presión de selección genética ha generado sobre esta raza un incremento en las producciones de leche, grasa y proteína, no obstante, el autor señala que durante este mismo tiempo se ha visto un deterioro en caracteres reproductivos como: los días abiertos, intervalo entre partos y servicios por concepción.

3.2 PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA LECHE DE LA RAZA HOLSTEIN

En Colombia la raza Holstein tiene gran importancia económica debido a que presenta una gran capacidad de producción llegando alrededor de 7250 kg de leche por lactancia (Ariza, 2011). Es así como Gonzales y Magofke (2008) señalan que

para animales Holstein de tres líneas diferentes con dietas altas en concentrados han alcanzado producciones de 7199 kg, grasa de 296 kg y proteína de 259 kg por lactancia.

Beaulieu et al. (1995), establecen que la producción de leche de la raza Holstein es mayor a la producida por otras razas, además de tener mayor contenido de proteína, por lo tanto, el autor reporta en su estudio que al presentar un mayor consumo de materia seca, los animales Holstein presentan una producción entre 35 y 37 L, siendo superiores si se comparan con la raza Jersey que presenta producciones entre 23 y 24 L por día. Sin embargo es conocido que la grasa producida por los animales Holstein es menor comparada con la Jersey. En estudio realizado por AbuGhazaleh et. al., (2002), encontraron una producción promedio en animales Holstein de $28,9 \pm 1,4$ kg/día, valor menor al reportado por Beaulieu et al., (1995).

AbuGhazaleh et. al., (2002), también encontró que el contenido de grasa presente en la leche de animales de la raza Holstein fue de 3,49 % o de 1 kg/d y el porcentaje de proteína de 3,08% o 0,88 kg/d valores diferentes a lo reportado por Beaulieu et al., (1995) quien obtuvo un valor de 1,08 kg/d de grasa.

Santos D'Angelo (2008), reporta una producción de leche para vacas Holstein de 32,27 a 30,46 Litros/día con la suplementación de fuentes de grasa como el aceite de soya y jabones de calcio, y adicionalmente reporta contenidos de grasa 0,84 a 1,06 kg/d dicha hipótesis afirma el gran potencial productivo que tiene la raza Holstein para en sistemas de lechería especializada.

Tabla 1. Producción de leche de la raza Holstein reportado por diferentes autores.

Autor	Año	Producción	Grasa	Proteína
Ariza	2011	7250 kg/lactancia	X	x
Gonzales y Magofke	2008	7199 kg/ lactancia	296 kg/Lactancia	254 kg/Lactancia
AbuGhazaleh et. al.	2002	28,9 kg/d	1 kg/d	0,88 kg/d
Beaulieu et.al,	1995	35 a 37 L/d	1,08 kg/d	x

3.3 CONSUMO Y DIGESTIBILIDAD.

En vacas de alta producción es importante y necesario promover el consumo de materia seca (CMS) para que estas a su vez puedan suplir sus requerimientos energéticos, evitando las pérdidas dentro de la producción y manteniendo los animales en excelente estado de salud (Allen, 2000).

El consumo de voluntario depende de varios factores, que se resumen principalmente el llenado físico del retículo-rumen, metabolitos de retroalimentación y el consumo de oxígeno, son algunas de las teorías usadas para estimar el consumo voluntario de materia seca (NRC, 2001).

La regulación del CMS de acuerdo a lo anterior se da principalmente por dos mecanismos, siendo estos, uno de tipo metabólico y otro de tipo físico. No obstante, se puede presentar cualquiera de los dos mecanismos, dependiendo del tipo de alimento suministrado al animal. Dentro de los factores que regulan el consumo de materia seca por parte de los alimentos, se encuentra la producción de ácidos grasos de cadena corta, el contenido de agua de los alimentos, el porcentaje de FDN de la dieta, el tipo de fibra y el estado de madurez de los forrajes, la motilidad ruminal, la tasa de pasaje, entre otros (Tahir, 2008).

El consumo de materia seca se ve influenciado por varios factores que interactúan entre sí. Uno de los principales limitantes está relacionado con el volumen del alimento, siendo este efecto conocido como efecto de llenado físico el cual inhibe el consumo de materia seca por la estimulación de algunos receptores de tensión mediante la distensión del retículo-rumen, en el cual se envían mensajes al centro de saciedad ubicado en el hipotálamo ventro-medial, de modo tal que el animal cesa el mecanismo de ingestión de alimentos. Adicionalmente, la tasa de digestión y la tasa de pasaje juegan un papel importante en la regulación del consumo de materia seca ya que, a medida que la tasa de digestión aumenta y consecuentemente la tasa de pasaje, se genera un aumento del CMS. Un efecto diferente de forma negativa ocurre en el caso de alimentos o dietas de baja calidad los cuales van tener una menor digestión ruminal y por consiguiente menor tasa de pasaje, proceso este, que conlleva al llenado físico del rumen (Tahir, 2008).

Los rumiantes como los bovinos tienen una dieta basada principalmente en gramíneas y leguminosas. Dependiendo de la estructura de la pared celular de los vegetales, se puede generar una baja digestibilidad de los nutrientes. En el caso de la fibra en detergente neutro digestible (FDND), esta se encuentra estrechamente relacionada con la digestión de la fibra proveniente de los forrajes a nivel ruminal. En este sentido, la FDND es un parámetro que determina la calidad de la fibra, parámetro este, influenciado por la fase de madurez del forraje. Tahir (2008), reporta que con una disminución en la dieta de FDN se puede aumentar el consumo de materia seca generando de esta forma, un aumento en la producción de leche.

Según el NRC 2001, en las paredes del retículo rumen y posiblemente en el abomaso existen receptores de tensión sensibles al peso así como al volumen de la ingesta ocasionando que cuando esta se acumula el consumo de materia seca se vea

afectado negativamente, además señala que la FDN ocasiona bajas tasas de digestión y es considerado como la fracción del alimento que está principalmente asociado con el efecto de llenado.

Referente a la regulación del consumo de alimento desde el punto de vista metabólico se basa principalmente en el aumento de los metabolitos, productos de la fermentación, constituyéndose en la fuente energética principal en animales rumiantes. Los metabolitos que tienen efecto directo en la regulación del consumo son el propionato y algunos aminoácidos como leucina. Dichos metabolitos son oxidados en el hipotálamo donde se genera una reducción del neuropéptido tirosina, agente este, que estimula el apetito y motivo por el cual se genera una reducción del consumo de materia seca (Relling y Mattioli, 2007). Por otro lado, el hígado posee receptores específicos para el propionato y fibras aferentes las cuales envían la información sobre el estado energético del animal al centro de saciedad, haciendo que el consumo se inhiba o sea estimulado. Otra de las hipótesis, es que el propionato afecta la secreción de insulina por el páncreas generando un aumento de esta y una reducción del consumo de materia seca (Allen, 2000).

De acuerdo al NRC 2001, cuando la absorción de nutrientes principalmente, energía y proteína, sobrepasa los requerimientos o cuando se absorben algunos nutrientes que desbalancean los requerimientos del animal ocurre una retroalimentación negativa que impacta directamente el consumo de materia seca.

Sin embargo, existen ciertos factores que dependen directamente del estado de cada animal, como lo menciona Weiss (2015) argumentando que el estado de lactancia, la producción de leche y el peso vivo afectan el consumo de materia seca es así como una vaca que produce más de 20 kg/d de leche puede hacer que el consumo de materia seca aumente entre 6 y 7 kg/d, mientras que el peso vivo genera una menor

variación ya que por cada 100 kg el consumo puede aumentar alrededor de 1.5 kg de materia seca.

Adicionalmente, la suplementación de animales en el último tercio de lactancia con ácidos grasos insaturados de cadena larga genera una disminución en el consumo debido a que si estos exceden el 5% de la dieta las poblaciones microbianas que degradan la fibra pueden verse afectados (Hutjens, 2005).

Dentro del estudio de Holcomb et. al. (2001), hallaron que animales Holstein, 28 d antes del parto consumieron aproximadamente 14.1 kg/d de materia seca, mientras que, durante los 28 d postparto el consumo notoriamente se elevó llegando a ser de 20.5 kg/d de materia seca, dicho hallazgo refuerza lo argumentado por Weiss (2015) dejando claro que el estado fisiológico es un fuerte pilar que incide en el comportamiento de la alimentación animal.

3.4 FISILOGIA DE LA LACTANCIA.

El inicio de la lactancia está marcada por la estimulación de la glándula mamaria a partir de varias hormonas, que durante la fase gestacional no pueden actuar ya que los receptores por los que tiene afinidad no pueden ser expresados debido a los niveles de progesterona en sangre, posterior al parto la glándula mamaria se encuentra expuesta a las hormonas lactogénicas dentro de las cuales se encuentran los glucocorticoides, insulina, prolactina y factores de crecimiento, que están encargados del desarrollo y crecimiento de los alveolos dentro de la glándula mamaria (Veiga y Laranja, 2004; Dan et. al., 2015).

Dentro de las hormonas más importantes se encuentra la prolactina la cual se encarga de incrementar la tasa de transcripción del RNA mensajero que codifica para los genes de las proteínas presentes en leche y disminuye la tasa de degradación de la

misma. También se encuentran involucradas hormonas tiroideas que regulan la velocidad en que son sintetizados los componentes de la leche, igualmente, la hormona paratiroidea necesaria para sensibilizar los alveolos durante la captación del calcio sanguíneo. Adicionalmente, hormonas como los glucocorticoides y la hormona del crecimiento se encuentran involucradas en la maduración de organelos celulares importantes: retículos endoplásmicos, aparato de Golgi y del aumento del número de células alveolares (Husveth, 2011).

Dentro de los aspectos de la fisiología y el desarrollo de la glándula mamaria, se destaca el rol que tiene la prolactina sobre la expresión de genes que codifican para la producción de proteínas en la leche, adicionalmente dichos genes codifican para la producción mamaria de la enzima triptófano hidroxilasa, la que es necesaria para la síntesis de serotonina, este nuevo descubrimiento conduce a que la glándula mamaria posee un sistema de homeostasis autocrino-paracrino que se comunica por un sistema serotoninergico (Matsuda et. al., 2004).

Según Matsuda et al. (2004), la serotonina dentro de la glándula mamaria tiene una función reguladora ya que cuando esta se encuentra en el estroma de la glándula mamaria el órgano se halla en su mayoría compuesto de tejido fibroso, las células lóbulo-alveolares se observan con un núcleo dividido, citoplasma encogido y los conductos secretores son estrechos por lo tanto el autor plantea que el neurotransmisor dentro de la glándula mamaria es necesario en las fases de involución, además de sensibilizar la glándula para la captación del calcio extracelular.

3.4.1 Síntesis de la grasa de la leche: Alrededor del 95% de la grasa de la leche está conformada por triglicéridos, 46 % de los ácidos grasos son de cadena larga derivados principalmente de la grasa suministrada en la dieta, los ácidos grasos de

cadena corta son sintetizados de nuevo por las células epiteliales de la glándula mamaria provenientes de la fermentación ruminal (Veiga y Laranja, 2004). En bovinos la composición y cantidad de grasa en la leche suele estar influenciada por la dieta lo que ha permitido modificar el perfil de la grasa a partir del manejo de las condiciones ruminales otorgándole a la composición de la grasa la propiedad de ser manipulada de acuerdo a las necesidades de la industria (Palmquist, 2006).

El requerimiento para la síntesis de la grasa de la leche es una fuente de carbonos y un agente reductor en forma de NADPH^+H , en los rumiantes las fuentes de carbono utilizados en primera instancia son el acetato y β – hidroxibutirato posteriormente los ácidos grasos son modificados por la vía del Malonyl-CoA en el citoplasma y la mitocondria de las células alveolares ocasionando que la actividad enzimática así como la utilización de los sustratos por el tejido mamario incrementen dramáticamente durante el avance de la lactancia (Palmquist, 2006).

Dentro de la célula estos ácidos grasos son unidos al glicerol donde generalmente los de cadena corta y el ácido oleico representan la mayor proporción de ácidos grasos unidos al carbono 3 aproximadamente el 44 y 27% respectivamente, alrededor del 56-62% de los ácidos grasos se ubican en los carbonos de la posición 1 y 2 son de cadena larga y media con 10-18 carbonos. La distribución depende de la afinidad que tiene cada ácido graso por la enzima aciltransferasa, todo el proceso sucede dentro del retículo endoplásmico liso, donde los triglicéridos se agrupan en forma de microgotas de grasa, luego con la unión proteínas del citosol forman gotas de mayor tamaño que migran a través del citoplasma hasta la membrana apical orientadas por microtubulos y envueltas en vesículas que serán liberadas al lumen por exocitosis (Ma, 2012).

3.4.2 Síntesis de la proteína de la leche: La cantidad y la composición de las proteínas de la leche se ven ampliamente vinculadas con factores genéticos y es difícil la modificación a partir de la nutrición. Sin embargo, debido a los altos requerimientos de energía para la síntesis de proteína la misma puede ser afectada por el contenido de energía en la ración. Se ha observado que con cambios de los niveles de energía de la dieta de igual forma se ha visto modificado el porcentaje de proteína de la leche (Bionnaz et. al. 2012).

En leche la proteína puede ser clasificada en dos grupos: las caseínas y proteínas del suero de la leche. La caseína es sintetizada en las células epiteliales de la glándula mamaria que componen alrededor del 80% de la proteína de la leche. Dentro de las principales proteínas del suero se encuentran las lactoglobulinas y lactoalbuminas, además de lactoferrina, transferrina, ceruplasmina y la albumina así como las inmonoglobulinas que se sintetizan en el hígado y son transportadas por el torrente sanguíneo hasta la glándula mamaria (Veiga y Laranja, 2004). En resumen la síntesis de las proteínas ya mencionadas se puede cambiar debido a la composición de la dieta, por lo que se espera que con la adición de minerales que optimicen el metabolismo energético, la producción de dicha proteína se vea alterada de una forma positiva.

El inicio de la síntesis de proteína está regulado por la insulina y el aporte de aminoácidos a la glándula mamaria por medio de una cascada de señales dicho proceso ocurre dentro de las células alveolares en el retículo endoplasmático rugoso, donde la estructura de dicha proteína tiene su información predeterminada en el ADN dentro de cada célula alveolar, este sirve como molde para la síntesis de mRNA el cual va a contener la secuencia de aminoácidos necesarios para la formación de un péptido que posteriormente pasará al aparato de Golgi donde finalmente se formarán las

proteínas, y posteriormente, son empacadas en vesículas que luego son secretadas al lumen envueltas en una membrana lipídica que se forma al fusionarse con la parte apical de las células (Riuss et. al., 2010).

3.5 COBALTO EN LA DIETA DE RUMIANTES.

El cobalto es denominado como un mineral traza ya que en la dieta de rumiantes se utiliza en muy bajas cantidades (0.11 ppm) de acuerdo al NRC (2001) y cumple funciones metabólicas que pueden ser claves durante el desarrollo productivo de los animales (Hussein et. al., 1994).

La función principal del cobalto dentro de cualquier organismo es la elaboración de la vitamina B12 o cianocobalamina (Figura 1) la cual es importante ya que desempeña funciones importantes de hematopoyesis, además del metabolismo de las grasas específicamente en la mielinización de las neuronas, lo cual se ve ampliamente involucrado en la transmisión del impulso nervioso y el metabolismo de los carbohidratos en el hígado para el aprovechamiento de energía por parte de los animales (Lopez-Guisa et. al., 1992). En la dieta de los rumiantes este cobalto es aprovechado por las bacterias celulolíticas, igualmente para la síntesis de vitamina B12 y para su crecimiento tanto en número como en tamaño poblacional lo que hace más eficiente la digestión de las partículas fibrosas que ingresan al rumen (Hussein et. al., 1994; Kisidayova et. al., 2001).

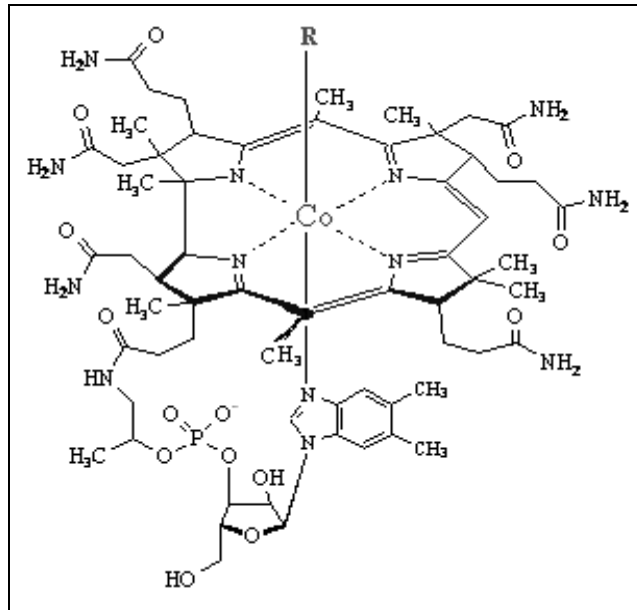


Figura 1 Estructura de la Cianocobalamina.

Tomado de Atkins et al (2012).

El conjunto de minerales que se ofrecen a los rumiantes en pequeñas cantidades pero que igualmente juegan un papel importante en los procesos metabólicos como cofactores son denominados como minerales traza y estos a su vez tienen funciones que se desempeñan en todos los tejidos y órganos siendo importantes en el sistema digestivo, reproductor e inmune (Olson et. al., 1974; Kendall et. al., 2001; Kendall et. al., 2012), por lo tanto, si no se ofrecen en la cantidad necesaria o de buena calidad se verá reflejado esto en los parámetros productivos, lo cual puede afectar tanto la salud de los animales como la salud del consumidor final por presencia de minerales en elevadas cantidades en los productos finales ya sea en carne o leche o sus productos derivados ya transformados.

3.6 COBALTO SOLUBLE COMO ADITIVO.

Son pocos los estudios que existen con este aditivo, sin embargo, se recomienda un nivel de inclusión de cobalto diario de alimentación de 7 o 14

g/animal/d, teniendo en cuenta que este último nivel incluye el 20% de los requerimientos diarios de minerales traza. Es un aditivo que le proporciona a las bacterias del rumen el cobalto que necesitan para una mejor fermentación (Ralco Animal Nutrition, 2010).

Según Ralco Animal Nutrition (2010), los beneficios económicos son:

- Mejor calificación de condición corporal (CCC) y capacidad de mejora de los parámetros reproductivos.
- Mejor crecimiento de los terneros.
- Pesos al destete sistemáticamente mejores.

La solubilidad de este aditivo es la que impulsa el desempeño del animal y ello está relacionado con la eficiencia de la microbiota ruminal. De acuerdo a esto, las bacterias ruminales requieren cobalto para producir vitaminas B12 y ácidos grasos de cadena corta, entre los que se incluye al propionato. Este producto permite que el cobalto permanezca soluble en todo el ambiente del rumen, lo que quiere decir que cuando este se mezcla con el líquido ruminal, se torna disponible para todas las bacterias, incluso para aquellas degradadoras de componentes fibrosos. Esto es muy importante en dietas altas en fibra, porque el pasto tiende a flotar en los líquidos y la mayoría de las bacterias que digieren la fibra siguen al alimento (Ralco Animal Nutrition, 2010).

Otra de las características de este aditivo, es que no se sedimenta, lo cual garantiza el suministro de cobalto a las bacterias ruminales sin importar la dieta, a diferencia del carbonato de cobalto que es insoluble y se sedimenta rápidamente en el fondo del rumen. Por este motivo, el aditivo aumenta la digestibilidad de la fibra,

porque el cobalto que proporciona a las bacterias las hace más productivas. Durante la descomposición de la fibra de la dieta, las bacterias ruminales sintetizan la vitamina B12 y producen los ácidos grasos de cadena corta, que incluyen al propionato. Cuando la vitamina B12 y el propionato se transportan al hígado, el proceso de la gluconeogénesis genera glucosa, lo que produce la energía que el bovino requiere para su desempeño (Ralco Animal Nutrition, 2010).

3.7 EFECTO DEL COBALTO SOLUBLE SOBRE EL CONSUMO DE MATERIA SECA.

Debido a la importancia que tienen los minerales traza, en el desempeño zootécnico y en la salud de los animales, se ha establecido que una de las principales dificultades en el consumo de materia seca de los rumiantes, es la falta de suministro de cobalto, por ser componente estructural de la vitamina B12 que está involucrada en el metabolismo energético esencial del propionato; siendo el más importante combustible metabólico porque a partir de este es sintetizada la glucosa necesaria para funciones vitales del animal, además la acumulación del mismo es un limitante metabólico para el consumo de los bovinos (Hedrich et al., 1973, Eugene et al., 1974, Wang et al., 2010). El efecto de la suplementación con cobalto sobre el consumo de materia seca fue evaluado en cabras alimentadas con forrajes de baja calidad, resaltando el alto contenido de fibra de heno de *Panicum máximum*, donde la suplementación con cobalto arrojó resultados favorables, aumentando el consumo de materia seca de 22,71 a 28,08 y 28,31 g/kg de peso vivo/día con 0, 1.0 y 2.0 mg/animal de cobalto, respectivamente (Yousuf et. al., 2009). Esto probablemente fue dado por la necesidad de cobalto por parte de algunas bacterias ruminales, las cuales necesitan de esta para la generación de vitamina B12 necesaria para la formación de

propionato a partir del succinato (EFSA, 2009). Lo anterior, es lo contrario a lo reportado por Akins (2012) quien afirma que el consumo de materia seca (11,8 kg de MS/día) no fue afectado por la inclusión de cobalto en cantidades de 25 mg/día hasta 75mg/día en vacas de la raza Holstein.

En otros estudios donde se realizó la suplementación con cobalto no se presentaron cambios en las variables evaluadas como la composición y producción de leche además del consumo de materia seca durante las primeras 5 semanas postparto, utilizando diferentes concentraciones de cobalto adicionada al alimento de 0.93, 0.19 o 0.57mg/Kg de MS (Kincaid y Socha, 2007).

3.8 DIGESTIÓN Y METABOLISMO DEL COBALTO SOLUBLE EN RUMIANTES.

La digestión y el metabolismo del cobalto soluble en los rumiantes está a cargo principalmente de la población ruminal debido a que este cobalto es aprovechado por las bacterias celulolíticas y algunas poblaciones de protozoos para la síntesis de vitamina B12 (Kisidayova et. al., 2001).

Según Eugene et. al., (1974) la vitamina B12 producida por el cobalto suplementado y por las bacterias ruminales, posteriormente se absorbe por medio del epitelio ruminal junto con el ácido propiónico, debido a que se encuentra envuelta en el metabolismo del propionato, esto por ser cofactor importante y necesario en la oxidación del ácido propiónico al momento de entrar en el ciclo de los ácidos tricarboxílicos (figura 2). Este componente, tiene una destacada función ya que contribuirá al aumento del consumo de materia seca y por consiguiente, disminuye el

efecto de saciedad metabólica producido por el ácido propiónico (Allen 2000; Yuosuf et .al., 2009). Además, el cobalto tiene un rol importante sobre la cinética ruminal ya que favorece ciertas poblaciones de bacterias especialmente las degradadoras de fibra, haciendo que el perfil de ácidos grasos producidos en el rumen sea diferente, beneficiando principalmente la producción de ácido acético y butírico (Kisidayova et. al., 2001). Adicionalmente, algunos autores resaltan el efecto benéfico indirecto del cobalto soluble en la digestión y metabolismo de los rumiantes (Yuosuf et .al., 2009; Lopez-Guisa y Satter, 1992) debido, a su elevada afinidad con la vitamina B12 tiende a mejorar los parámetros fermentativos del rumen entre los cuales se encuentra el aumento de la digestibilidad de la fibra. Yousuf (2009) afirma que con la suplementación de cobalto en ovejas alimentadas con *Panicum maximun* en África, el consumo de materia seca presentó un aumento de 6 g/kg de peso vivo /día, afirmando a su vez en este estudio que el coeficiente de digestibilidad presentó un aumento con relación a la dieta control, adicionalmente se incrementó la digestibilidad de la proteína al igual que su consumo, así como, la retención de nitrógeno.

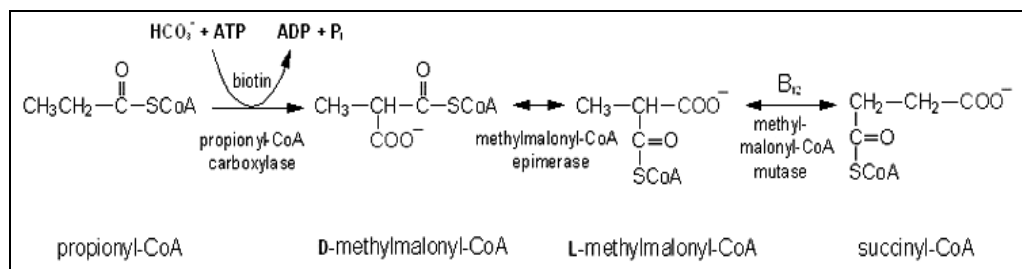


Figura 2. Conversión del propinil CoA a succinil CoA
Tomado de Atkins et al (2012).

A modo de resumen, se puede decir que el aumento en el coeficiente de digestibilidad, la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) y el consumo de materia seca con el suministro de cobalto soluble en rumiantes ha sido ampliamente

documentado, se ha relacionado desde el punto de vista metabólico y fisiológico como el precursor de la vitamina B12, la cual se encuentra vinculada con la preservación de los microorganismos ruminales, la oxidación del ácido propiónico, así como con la adhesión de las bacterias celulolíticas a las partículas fibrosas por su carga iónica (Eugene et. al., 1974; Lopez-Guisa y Satter, 1992; Kisidayova et. al., 2001).

Adicionalmente, el cobalto por medio de la cobalamina se encuentra relacionado con las reacciones de metilación para la formación del aminoácido limitante metionina a partir de la homocisteína y obteniendo el grupo metil del 5-metil-tetrahidrofolato, de esta forma también se regenera el tetrahidrofolato el cual es necesario para la correcta formación de los glóbulos rojos y la prevención de la anemia megaloblastica (Akins 2012; Wang et al., 2010) (figura 3).

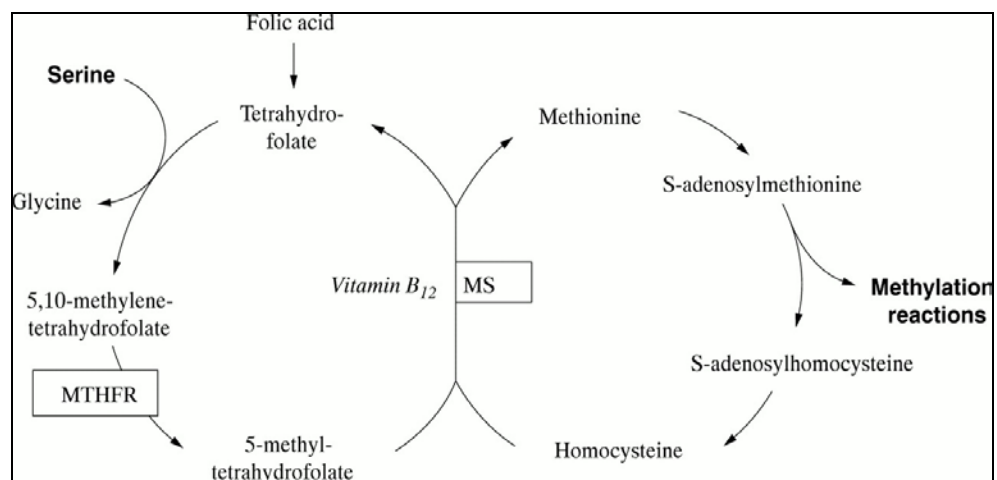


Figura 3. Ciclos del Folato y la Metionina

Adaptado de: Atkins et al, (2012)

Este aditivo mejora la digestibilidad y el consumo en dietas altas en forraje, no limitando estos parámetros por un llenado ruminal generado por baja tasa de pasaje, sino por el contrario aumentándola y mejorando el aprovechamiento de los componentes del propio forraje. De acuerdo a esto, con este mineral se puede obtener

más producción con dietas altas en forraje y de baja calidad, esto porque al adicionar este producto en la dieta de bovinos, se le permite a las bacterias del rumen extraer más energía de las dietas de baja calidad ocasionando una mejor digestibilidad de la fibra. Las bacterias ruminales más productivas son capaces de descomponer mejor la fibra y de manera más rápida que las bacterias que no reciben suplementación adecuada de cobalto. Cuando se utiliza mejor la fibra, se brinda mayor espacio a más forraje, por el favorecimiento de la cinética ruminal lo que lleva a un aumento del consumo de alimento (Ralco Animal Nutrition, 2010).

Según las concentraciones de vitamina B12 reportadas por Kincaid y Socha (2007) de 2.0, 2.4, y 1.2 ng/mL en el suero de vacas postparto aproximadamente de 55 días en leche, demuestran lo esencial y necesario que se hace la suplementación con cobalto tanto para la salud como para la productividad de los animales.

En el estudio de Akins (2012) donde se evaluó la concentración de algunos metabolitos como glucosa, ácidos grasos no esterificados y β -hidroxibutirato en el plasma sanguíneo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos; comparando la fuente y la cantidad de cobalto siendo; 25mg/día de carbonato de Co., 25 mg/ día de glucoheptonato de Co., y 75 mg/día de glucoheptonato de Co. Sin embargo, las concentraciones de cobalto y vitamina B12 en plasma si se vieron afectadas por la dieta, el estado fisiológico y la fuente, donde aumentaron ligeramente cuando aumentó la concentración en días alrededor del parto, para posteriormente disminuir, esto debido a la secreción de ambos metabolitos en la leche.

3.8.1 Transporte y absorción del cobalto.

La absorción del cobalto se da indirectamente ya que está vinculado con la vitamina B12 entonces al absorberse esta, se absorbe igualmente el cobalto. Debido a la naturaleza polar de la vitamina B12 es enlazada a proteínas microbiales, posteriormente es liberada en el estómago glandular bajo las condiciones de pH ácido y proteolíticas, luego rápidamente se vincula a proteínas de alta afinidad presentes en el jugo gástrico formando un complejo estable bajo pH ácido. Cuando pasa al intestino delgado estas proteínas son degradadas por enzimas pancreáticas que liberan la vitamina B12 y ligada rápidamente a una proteína de alta afinidad llamada factor intrínseco (FI), el FI es liberado de las células parietales del estómago y tiene gran afinidad por la vitamina B12 y sus análogos. El complejo factor intrínseco y vitamina viaja a través del íleon donde enlazado con un receptor en las células epiteliales del íleon y es absorbido por endocitosis (McDowell, 2000).

Una vez en el enterocito por medio de lisosomas, pH ácido y proteólisis del FI, la vitamina B12 es liberada y ligada a otra proteína de gran afinidad llamada transcobalamina-II, una vez que se forma este complejo la vitamina B12 es llevada desde la célula epitelial del intestino, a través del torrente sanguíneo hasta que encuentre su receptor en los tejidos periféricos. Aunque con altas dosis orales de vitamina B12 la difusión pasiva se ha visto observada en bovinos de leche, igualmente se ha calculado que la absorción de la vitamina directamente desde el rúmen es aproximadamente de 4×10^{-6} , esto medido en la arteria ruminal derecha y la vena ruminal izquierda (Akins, 2012).

Para el transporte y almacenamiento de la vitamina B12 se encuentran algunas proteínas de alta afinidad llamadas Transcobalaminas (TC-I, TC-II, TC- III) de las cuales la TC-I es la encargada del almacenamiento en las células del cuerpo principalmente Hígado, Músculos y Riñones, la TC-II es la encargada del transporte desde los intestinos hasta los tejidos del cuerpo y depende de un receptor para ser captada por endocitosis, y la TC-III es la encargada de hacer recircular nuevamente los la vitamina por el torrente sanguíneo o de la excreción de las vitamina por medio de las bilis (McDowell, 2000).

3.9 EFECTO DEL COBALTO SOLUBLE SOBRE EL DESEMPEÑO ANIMAL.

La condición corporal es un parámetro importante que puede afectar la capacidad de la vaca de volverse a reproducir, de producir leche y de estimular crecimiento al ternero. Se ha observado que vacas suplementadas con cobalto experimentan una mejor calificación de condición corporal (CC) y mejoran los parámetros anteriormente mencionados, cuando comparadas con vacas testigo durante toda la temporada de pastoreo (Ralco Animal Nutrition, 2010). Tanto la mejora de la condición corporal como el aumento de la producción de leche, están relacionadas con el aumento de la producción del ácido propiónico, el cual, en presencia de la vitamina B12, se convierte de forma más eficiente por la vía gluconeogénica en glucosa y posteriormente esta energía va hacia la glándula mamaria para estimular mayor producción de leche (Ralco Animal Nutrition, 2010).

Sin embargo, los efectos de la suplementación con minerales traza también han sido medidos en parámetros reproductivos dentro de hatos lecheros, teniendo efectos positivos sobre los mismos incluyendo tasa de concepción postparto al primer

servicio, así como el uso de dispositivos intravaginales de liberación lenta de progesterona evidenciado en la Tabla 1, demostrando que los dos parámetros fueron disminuidos para efectos positivos, mejorando la rentabilidad y la productividad para los productores dentro de los hatos lecheros con la suplementación diaria de glucoheptonato de cobalto (12 mg/día).

Tabla 2. Efecto de la adición de cobalto soluble sobre parámetros reproductivos en hatos lecheros.

Ítem	control	CTM	P
Frecuencia inicio del celo (casos/100 vacas)			5
21 días	66	69	0,45
28 días	71	72	0,83
Tasa de concepción al primer servicio (casos/100 vacas)	70	75	0,19
Vacas no preñadas	18	13	0,10
Uso de dispositivo intravaginal	26	16	<0,01
Vacas que no conciben luego de 48 días pos parto (casos/100 vacas)	39	34	0,23

CTM: complejo de minerales traza.

Tomado de Griffiths et. al. (2007).

3.10 EFECTO DEL COBALTO SOLUBLE SOBRE LA PRODUCCIÓN Y LA COMPOSICIÓN DE LA LECHE.

Dentro de los efectos benéficos de la suplementación con cobalto (12 mg/animal/día) se ha demostrado el aumento de la producción de leche alrededor de un 6.3% con respecto a los animales que no fueron suplementados (Griffiths et. al., 2007) como una respuesta al tratamiento en el que se suministraron minerales incluyendo el cobalto ligado al glucoheptonato y otros en forma de bolos. También se evidenció el incremento en la producción de grasa de la leche 0,73 vs 0,78 kg/día y de proteína 0,58 vs 0,62 kg/día, por consiguiente, esto se vio reflejado en el aumento de los sólidos totales. Igualmente, hubo una disminución en la presencia de los casos de

mastitis dentro del grupo que estuvo bajo los tratamientos con la administración del complejo de minerales traza.

Según Karkoodi (2004), la suplementación con cobalto tiene un efecto significativo sobre la producción de leche corregida al 3,5% y producción de sus componentes sobre todo grasa con 0.632 kg/día el control, contra (0.653, 0.663 y 0,668 kg/día) con la suplementación de cobalto: 30 mg, 40 mg y 50 mg por día respectivamente y proteína (0,833 kg/día) versus el tratamiento con 30 mg/día (0,853 kg/d), sin embargo, no se presentan cambios significativos en los porcentajes de grasa, proteína, sólidos totales, lactosa y sólidos no grasos. En otros estudios donde se evaluó el efecto del cobalto a partir de diferentes fuentes sobre el desempeño en la lactancia en términos de producción y composición no se observaron cambios aparte de una tendencia hacia el aumento de la producción de leche con la suplementación de cobalto enlazado a glucoheptonato, con respecto a otras fuentes como el carbonato de cobalto (42,9 vs 39,7 kg/d). Igualmente la producción de grasa no presentó diferencias estadísticas pero si numéricas con el tratamiento de alta concentración de cobalto vinculado con glucoheptonato, en este caso, el tratamiento que incluía inyecciones de vitamina B12, presentó una leve tendencia hacia el aumento del contenido de proteína en la síntesis de la leche (Akins, 2012). Además se incrementó la producción de leche corregida al 3.5% en vacas multíparas, sin embargo, cuando el ensayo se replicó en vacas primerizas la leche corregida fue similar entre los tratamientos (Kincaid y Socha, 2007). Según los autores la falta de respuestas de los tratamientos sobre la lactancia puede ser debido a que el suministro de cobalto fue mayor a lo recomendado por el NRC (2001) esto adicional a que es necesario suplementar junto con la vitamina

B12, metionina y ácido fólico para observar algún tipo de efecto sobre la lactancia como lo concluyen Girard y Mate (2005a).

Por otra parte Akins (2012) también evaluó la suplementación de cobalto e inyecciones intramusculares de vitamina B12 sobre el efecto en la composición del calostro y la leche, presentando un incremento de la vitamina B12 con las inyecciones de la misma hasta dos veces mayor comparado con los tratamientos de cobalto ligados a glucoheptonato de alta (75 mg/día) y baja (25 mg/día) concentración, esto puede ser explicado ya que el mayor aporte de cobalto hacia el rumen incrementa la síntesis de vitamina B12. Adicionalmente la medición del MUN arrojó un aumento (nitrógeno ureico en leche) con la suplementación de cobalto en forma inorgánica (CoCarb 13,8 mg/dL vs 12 mg/dL en promedio de los demás tratamientos).

En resumen, la cantidad de cobalto presente en leche es impactada tendiendo a aumentar a partir del suministro de fuentes orgánicas de cobalto vs las fuentes inorgánicas, esto dado también a que la producción de leche es impactada de manera positiva por las fuentes orgánicas de cobalto en bajas concentraciones de acuerdo a lo presentado por Akins, (2012), Kincaid et. al.,(2003) y Kincaid y Socha, (2007).

Del mismo modo Shingfield et al, (2008) reporta que al suministrar cobalto se modificó la composición de la leche principalmente por su interacción con la enzima λ 9- desaturasa, enzima que está involucrada con el metabolismo de los lípidos en la glándula mamaria de rumiantes, la administración de cobalto EDTA (CoEDTA) en dosis de 1.6 mg/d modificó el perfil de ácidos grasos de la leche incrementando las cantidades de ácidos grasos saturados de cadena corta y disminuyendo ácidos grasos

de cadena larga como CLA (18:2), *trans* vaccenico (18:1), araquidónico (20:1) y docosahexaenoico (22:1).

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 UBICACIÓN EXPERIMENTAL.

El presente proyecto se llevó a cabo en un sistema de producción de leche especializada en la hacienda “Megaleche”, ubicada en el municipio de Facatativá – Cundinamarca, a una altitud de 2600 msnm, una temperatura promedio de 14°C, con Latitud Norte de 4°45' 25" y Longitud Occidental de 74° 21'00"

4.2 ANIMALES E INSTALACIONES.

Fueron utilizadas 10 vacas de la raza Holstein, animales caracterizados por ser de alta producción, con peso vivo promedio de 609 ± 55 kg, vacas en su tercera lactancia, que se encontraban en los primeros 100 días de lactancia. Los animales se distribuyeron a un sistema de pastoreo en franjas con un sistema de cuerdas móviles dotado de 7 comederos y 3 bebederos cada uno con una capacidad de 1000 L. El modelo productivo se caracterizó por ser pastoreo en franjas, en el cual se realizaba un corte del pasto antes de la entrada de los animales al potrero, con el fin de reducir pérdidas por pisoteo, generar mejor aprovechamiento del pasto y reducir la pérdida de energía al momento del pastoreo. Adicional a ello, con el objetivo de generar un racionamiento del forraje por franja en el sistema de pastoreo, las cuerdas se corrían aproximadamente 5 metros al día, con el fin de minimizar las pérdidas por pisoteo permitiendo exclusivamente que el animal consumiera el alimento necesario por cada frecuencia alimenticia. Dentro del sistema de pastoreo, se tenían otros 20 animales considerados como reguladores del sistema, esto con el fin de evitar pérdidas del forraje y también eran animales que se encontraban en el mismo lote por presentar el

mismo nivel de producción de leche, sin embargo, estos animales no fueron analizados durante el experimento. Los animales fueron seleccionados de acuerdo sus parámetros productivos donde se tuvo en cuenta: días en lactancia, producción de leche y número de lactancias.

4.3 TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.

Los animales fueron distribuidos a tres tratamientos, conformados por una dieta basal, isoprotéica (18.15% de PB), formulada con el programa *CNCPS* versión 6.1, variando los tratamientos según el nivel de inclusión de cobalto soluble, siendo las dietas experimentales: 1) T Control: Dieta basal formada por una ración parcialmente mezclada (PMR) y el aporte de forraje de la pradera, sin adición de cobalto soluble; 2) T 7g Co: Dieta basal con inclusión de 7 g de cobalto soluble y; 3) T 14g Co: Dieta basal con inclusión de 14 g de cobalto soluble. Dentro del diseño experimental cada uno de los animales pasó por cada uno de los tratamientos, evaluando los efectos intra-sujetos.

Para estudiar el efecto de las tres dietas experimentales con diferentes niveles de concentración de cobalto soluble (0, 7 y 14 g) se empleó un diseño experimental de Medidas Repetidas. La unidad experimental fue el animal dentro de cada periodo. El factor a analizar fue el efecto de la dieta el cual fue considerado como la variable independiente, mientras que las variables dependientes eran los parámetros a analizar. El experimento contó con 10 unidades experimentales que fueron rotadas por los 3 tratamientos.

4.4 MANEJO NUTRICIONAL Y PERÍODO EXPERIMENTAL.

Para el consumo de alimentos, la ración parcialmente mezclada (PMR) fue suministrada una vez al día, a las 07:00 horas, debido al otro tipo de labores que se realizaban dentro del sistema productivo, mientras que la oferta de forraje en pastoreo, fue distribuida en tres frecuencias alimenticias, siendo estas a las 7:00 h; 11:00 h y 17:00 h del día, controladas mediante sistema de cuerdas eléctricas. En todos los tratamientos, la fuente de forraje utilizada fue el pasto kikuyo Rye Grass Megaleche. Las proporciones de los diversos ingredientes de la dieta basal y la composición bromatológica de la misma están descritas en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Proporción de ingredientes de la dieta basal, expresados en porcentaje de materia seca (%MS) y kilogramos (kg).

Ingrediente¹	Dieta basal kg	Dieta basal (%)
Pasto Rye Grass Kikuyo Megaleche	1,47	6,08
Pasto Santa Marta	4,85	20,07
Silo de caña de maíz	2,4	9,93
Ganadero 2000	4,64	19,20
Torta de soya	1,20	4,96
Semilla de algodón	1,23	5,09
Maíz molido	4,64	19,20
Granos de destilería	2,41	9,97
Urea	0,09	0,37
Sal	0,25	1,03
Carbonato de calcio	0,25	1,03
Melaza	0,74	3,06
Total	24,17 kg de MS	

1- Formulado en el programa CNCPS versión 6.1.

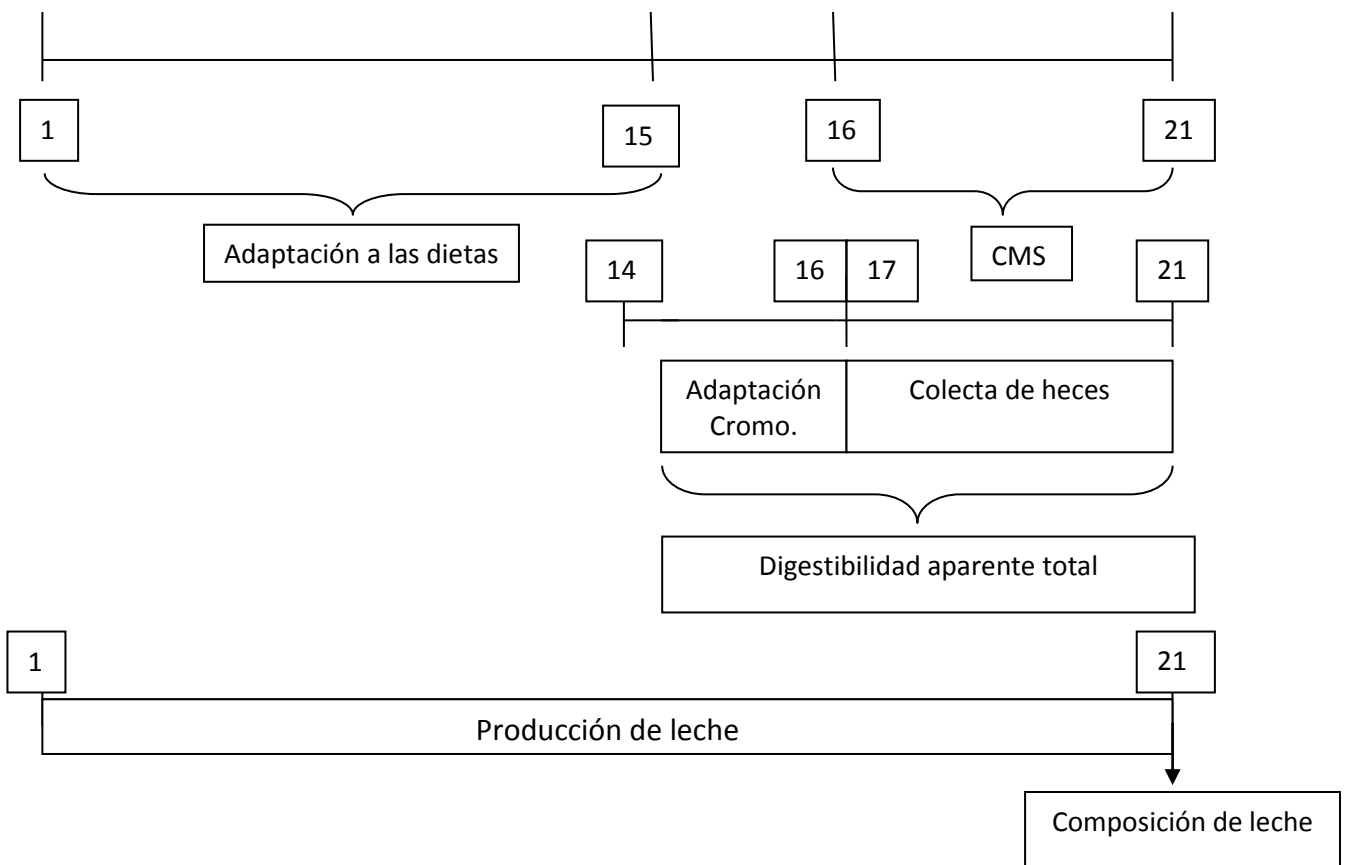
Tabla 4. Composición bromatológica estimada de la ración parcialmente mezclada (PMR) como dieta basal, expresada en porcentaje de materia seca (%MS).

Composición bromatológica¹	Dieta basal
Materia Seca (%)	45,7
Forraje (%MS)	44.1
PB (%MS)	18.15
RDP (%MS)	10.41
FDN (%MS)	33.01
FDN Forraje (%FDN)	71.47
FDN Forraje (%FBW)	0.86
EE (%MS)	5.7
LCFA (%MS)	4.5
Lys (%PM)	5.4
Met (%PM)	1.81
Lis: Met	3.00
NDT (%MS)	66.6
ME (Mcal/kg)	2.53
Azúcar - A4 (%MS)	5.8
Almidón - B1 (%MS)	19.1
Fibra Sol - B2 (%MS)	10.5
Fibra Fermentable - B3 (%MS)	27.7
Lignina (FDN %)	5.89
Lignina (% MS)	1.94
CNF (%MS)	36.3
CHO Fermentable (%MS)	38.8
	56.1 % CHO
FDN Fermentable (%MS)	13.5
	40.9 % FDN
Almidón Fermentable (%MS)	12.7
	66.7 % Almidón
Fibra Fermentable Sol. (%MS)	8.1
	76.8 % Fibra soluble
Azúcar Fermentable (%MS)	4.2
	72.2 % Azúcar
DCAD1 meq/kg	395

MS: materia seca; PB: proteína bruta; RDP: Proteína degradable en rumen; FDN: fibra en detergente neutro; EE: extracto etéreo; LCFA: ácidos grasos de cadena larga; Lys: Lisina; Met: Metionina; PM: Proteína Metabolizable; NDT: Nutrientes Digestibles Totales; ME: Energía metabolizable; CNF: Carbohidratos no Fibrosos; DCAD: Balance Cation-Anion. 1; Estimado según programa CNCPS versión 6.1

Cada período experimental fue constituido de 21 días (Figura 4), considerando los primeros 15 días para adaptación a las dietas y los últimos 6 días para colecta de datos de los parámetros a evaluar. Luego de haber pasado los días de cada tratamiento, al día siguiente se iniciaba con el periodo de adaptación a las concentraciones de cobalto del siguiente tratamiento. Durante los días de registro de datos diariamente se pesó la cantidad de ración ofertada, así como, las sobras para estimar el consumo por animal, igualmente se recogieron muestras de heces para estimar los parámetros de digestibilidad aparente total.

Figura 4. Esquema de manejo por período experimental



4.5 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN.

4.5.1 Consumo de materia seca. El consumo de materia seca (CMS) fue evaluado diariamente, entre el día 16 hasta el día 21 de cada período experimental.

Para el consumo de la fuente de voluminoso (forraje), fueron realizados 6 aforos antes y 6 después del ingreso de los animales a cada franja del sistema de pastoreo. De acuerdo a esto, antes del ingreso de los animales a cada franja, se calculó el forraje o biomasa inicial disponible por franja y luego de la salida de los animales se realizó un aforo final para estimar la sobra de alimento o biomasa final de la pradera. Adicionalmente, fue calculado el consumo de la ración parcialmente mezclada (PMR) durante los mismos seis días, teniendo en cuenta la cantidad de alimento suministrado así como el alimento rechazado que fue tomado y pesado a la mañana siguiente antes del nuevo suministro de alimento, luego los datos se multiplicaron por el porcentaje de materia seca (MS) del alimento y se dividió por 100 $((\text{Ofertado} - \text{sobras}) * \% \text{MS}) / 100$). De acuerdo a lo anterior, tanto para el consumo de voluminoso como de concentrado se obtuvo el consumo total por lote.

Posterior a la obtención del consumo total de cada componente de la dieta, este fue dividido por el total de animales por lote, con el fin de estimar el consumo individual tanto de voluminoso como de PMR.

4.5.2 Análisis nutricional. Las muestras de los alimentos utilizados en las dietas fueron analizadas para determinar el porcentaje de materia seca - %MS (Método 2001.12), materia mineral – MM (Método 935.12), proteína bruta - PB (Método 968.06), conforme metodologías descritas por AOAC (2006) y Fibra en Detergente Neutro – FDN, según Van Soest (1994).

4.5.3 Digestibilidad aparente total. La digestibilidad aparente total de la MS de la dieta y sus fracciones (PB y FDN) fueron determinadas por medio del marcador de óxido de cromo (Cr_2O_3), de acuerdo a técnica mencionada por Bateman (1970).

Para tal, entre el día 14 hasta el día 21 de suministro de las dietas de cada periodo experimental, se administró una vez al día, vía oral, 5 g / día del marcador de Cr₂O₃ por animal, a través de envolturas confeccionadas en papel absorbente. El ensayo de digestibilidad estuvo constituido de dos fases, siendo los tres primeros días para adaptación al marcador (días 14 al 16) y los cinco últimos días para colecta de heces (días 17 al 21).

Para análisis de la composición de las muestras de heces, se retiró una alícuota de 200 g por animal directamente del recto, la cual se conservó en envoltura plástica previamente identificada por cada animal y período experimental. Durante ese mismo período, fueron colectados, aproximadamente 200 g de cada alimento suministrado, es decir de la ración parcialmente mezclada (PMR) y del forraje y posteriormente, congeladas hasta su análisis en laboratorio. Las muestras de los alimentos y de las heces fueron homogenizadas y sometidas a pre-secado en estufa de ventilación forzada a 65°C por 72 horas. Consecutivamente, fueron trituradas en molino utilizándose un tamiz de 1.0 mm y acopladas en frascos cerrados para determinación de la concentración de Cr₂O₃, conforme metodología descrita por Conceição et al (2007), y demás análisis de laboratorio.

Los coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de la materia seca y sus fracciones fueron calculados con base en el porcentaje de óxido de cromo de la ración y de las heces, así como, de acuerdo al porcentaje de nutrientes de la dieta y de las heces mediante la siguiente formula:

$$CDA_{(n)} = 100 - \left[100 \left(\frac{\% Cr_2O_{3r}}{\% Cr_2O_{3f}} \right) \times \left(\frac{\% Nf}{\% Nr} \right) \right]$$

Donde:

$CDA_{(n)}$ = Coeficiente de digestibilidad aparente del nutriente;

% Cr_2O_3r = % de óxido de cromo en la ración;

% Cr_2O_3f = % de óxido de cromo en las heces;

% Nr = % de nutrientes en la ración;

%Nf = % de nutrientes en las heces.

4.5.4 Producción y composición de la leche. Las vacas fueron ordeñadas de forma mecánica tres veces al día a las 3:00, 11:00 y 17:00 horas, siendo la producción de leche registrada diariamente durante todo el periodo experimental.

Las muestras utilizadas para análisis de la composición de la leche fueron obtenidas en el día 21 de cada periodo experimental, posteriormente fueron conservadas y refrigeradas a 4°C hasta su análisis, siendo cada muestra proveniente de los dos últimos ordeños diarios (a las 11:00 y 17:00 horas). Para la determinación de los porcentajes y la producción de grasa, proteína, sólidos no grasos y lactosa. Se utilizó el equipo LACTOSCAN del laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Cundinamarca, así como se obtuvo un análisis en los laboratorios de COLANTA.

4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Los resultados fueron analizados por el programa Infostat, Versión estudiantil (2008), el consumo, la digestibilidad aparente total, la producción y la composición de leche fue analizado por una ANAVA, donde el modelo incluía el efecto de tratamiento como factor fijo y los efectos de animal dentro de cada periodo como factores aleatorios, la comparación de los promedios se realizó por medio del test de Duncan, adicionalmente se utilizó el programa Excel de Microsoft Office (2010).

5. RESULTADOS Y DISCUSION.

5.1 CONSUMO DE MATERIA SECA Y DIGESTIBILIDAD APARENTE TOTAL

El consumo de materia seca del forraje (CMSF) fue afectado significativamente ($P < 0,05$) por los tratamientos, resultando en un menor consumo con la inclusión de 7 y 14g de Co/día, cuando se compara con el tratamiento control (0g de Co/día), sin embargo el promedio de CMSF durante el tratamiento de 14 gramos tuvo una tendencia al aumento (Tabla 5). Adicionalmente, el consumo de materia seca de la ración parcialmente mezclada (CMS-mix), presentó diferencias estadísticas ($P < 0,05$), siendo mayor para los animales que recibieron una concentración de cobalto de 14g/día superando el consumo del tratamiento control y de 7g/día, lo que evidenció un aumento del consumo a medida que se incrementó la dosis de cobalto suministrada.

Tabla 5. Efecto de la adición de cobalto soluble sobre el CMS y los coeficientes de digestibilidad de la MS, MO, PB y FDN.

Variable	Tratamientos			P- Valor
	Control	7 g	14 g	
CMSF/animal (kg MS/día)	8,76± 1,02 b	3,44± 1,45 a	4,70±0,63 a	<0,0001
CMS-Mix (kg MS/día)	19,04±1,6 a	19,18±0,4 a	21,70± 0,5b	0,0022
CDMS (%)	72,54 ± 1,88 c	63,18 ± 2,05 a	70,29 ± 2,21 b	<0,0001
CDMO (%)	72,43 ± 1,88 c	62,99 ± 2 a	70,28 ± 2,20 b	<0,0001
CDPB (%)	84,68 ± 1,63 c	78,59 ± 2,55 a	82,22 ±2,84 b	<0,0001
CDFDN (%)	66,22 ± 5,13 b	51,96 ± 4,24 a	68,94 ± 3,58b	<0,0001

CMSF: consumo de materia seca del forraje CMS-Mix: consumo de materia seca de la ración parcialmente mezclada
CDMS: coeficiente de digestibilidad de la materia seca. CDMO: coeficiente de digestibilidad de la materia orgánica.
CDPB: coeficiente de digestibilidad de la proteína bruta CDFDN: coeficiente de digestibilidad de la fibra en detergente neutro. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

Según Karlengen et al. (2013) al suministrar el cobalto en forma de infusiones ruminales de acetato de cobalto (5,3g de Co/kg de PV) observaron que el consumo de materia seca del ensilaje con altas dosis de cobalto se vio afectado de manera negativa ($P < 0,05$), un

comportamiento similar se evidenció en el presente estudio con el CMSF, donde los animales presentaron un descenso marcado entre el tratamiento control y 7g.

Los efectos del Co sobre el consumo de materia seca han sido descritos en anteriores investigaciones y en diferentes especies de rumiantes como en bovinos (Tiffany et al., 2005; Kincaid y Socha, 2007; Atkins et al., 2012 y Karlengen et al., 2013) ovinos (Yousuf et al., 2009; Frutos et al., 2014) y caprinos (Kadim et al., 2003), principalmente tratando de dilucidar el modo de acción por medio del cual el cobalto logra deprimir el consumo, hallando principalmente que los rumiantes pueden soportar dosis mayores a las reportadas como seguras según el NRC (2001) de 0,11 ppm, incluso este nivel suele ser considerado como deficiente para el funcionamiento óptimo de los microorganismos ruminales (Wang et al., 2007). No obstante con consumos de Co en niveles de 25 a 75 mg/día/ animal no se han demostrado variaciones en el CMS, en animales consumiendo en promedio 11,8 kg/día de forraje en base seca (Atkins et al., 2012), sin embargo Kincaid y Socha (2007) reportaron un descenso en el CMS durante las primeras cinco semanas de lactancia con la suplementación de Co en concentraciones de 0,93 mg/kg de MS comparadas con 0,19 o 0,57 mg/kg de MS. Con infusiones ruminales de acetato de Co en concentraciones de 5.3 g/día el consumo se deprime según la investigación de Karlengen et al. (2013), del mismo modo, Frutos et al. (2014) argumenta que con niveles de Co superiores a 10 mg/kg de PV en ovejas el consumo se ve afectado ampliamente de forma negativa junto con la producción de leche, tal afirmación está soportada por los hallazgos en el estudio de Toral et al. (2015) donde el consumo no fue afectado de forma estadística, pero sí numéricamente con respecto al tratamiento control cuando el suministro fue de 9 mg/kg de PV. Sin embargo, Tiffany et al. (2005) reporta resultados diferentes con la administración de cobalto en niveles de 0,05 y 0,15 mg/kg de MS con los cuales el CMS incrementó al igual que la ganancia de peso en novillos durante el periodo de engorde hasta el sacrificio, también Osorio et al. (2016)

encontró que, suministrando glucoheptonato de cobalto (1 mg/kg de MS) a vacas postparto, el consumo durante los primeros 15 días tendió a incrementarse significativamente con respecto al grupo de vacas alimentadas con un tratamiento control. Como ha sido documentado por las investigaciones citadas anteriormente, no existe una convergencia entre los diferentes reportes, por lo tanto los resultados obtenidos en el presente estudio sobre la disminución en el CMSF puede ser debido principalmente a que las concentraciones de Co suplementadas son demasiado altas con respecto a las que se nombran en estudios previos. Sin embargo el CMS-mix durante el tratamiento de 7g evidenció una tendencia de incremento, probablemente, debido a la palatabilidad de este que tuvo más aceptación por parte de los animales y que no se vio influenciado de forma negativa, cuando hubo una inclusión del cobalto. De acuerdo a esto, la disminución del consumo del forraje se debe a un periodo de estrés ocasionado al animal por el suministro del cobalto y su posterior tendencia al aumento sea ocasionada por la adaptación de los animales puntualmente, las bacterias ruminales a las dosis de cobalto tan altas que se manejaron en el experimento. Adicionalmente estos efectos son debidos a que durante el tratamiento de 7g se manifestó un periodo de heladas lo que dificultó el desarrollo vegetativo de los pastos y por lo tanto la oferta y calidad forrajera disminuyó.

Referente al coeficiente de digestibilidad de la materia seca (CDMS) y sus fracciones, estos se presentan en la Tabla 5. Para el coeficiente de digestibilidad de la MS, MO y PB, todos los tratamientos presentaron diferencias ($P < 0,0001$) entre sí, siendo que, el tratamiento con inclusión de 7 g de Cobalto, presentó una menor digestibilidad en comparación con el tratamiento control, el cual presentó la mayor digestibilidad de estos nutrientes.

Con relación al coeficiente de digestibilidad de la FDN, el tratamiento con 7 g de inclusión de cobalto se diferenció de los tratamientos control y de 14 g de Co, no presentando diferencias entre sí, estos dos últimos. De acuerdo a esto, el tratamiento con 7 g presentó

disminución de la digestibilidad de la fibra de la dieta, sin embargo, con una inclusión de 14 g de cobalto, la digestibilidad de la fibra aumentó, siendo inclusive mejorada al ser comparada con el tratamiento control. Este efecto, estuvo muy relacionado con el consumo de materia seca del forraje obtenido, el cual también fue menor cuando los animales recibieron una dieta con 7 g de Co. Entre tanto, este efecto pudo ser debido a la calidad y disponibilidad de forraje para este tratamiento, ya que se trató de un forraje que pasó por un periodo de heladas.

Kadim et al. (2003) y Yousuf et al. (2009), Reportan que el coeficiente de digestibilidad de la proteína bruta fue incrementado de 50,72% a 57,36% con la suplementación de 1 mg de Co/kg de MS, igualmente redujo las pérdidas de nitrógeno en heces por las dosis de cobalto utilizadas a través del ensayo, a pesar de que fue usado en niveles muy inferiores (1,0 y 2,0 mg/kg de MS) a los usados durante el presente estudio. Karlengen et al. (2013) afirman que durante su experimento el CDPB de las vacas suplementadas con 5,3 g de Co/día disminuyó, pero la causa principal fue la depresión sobre el CMS, este resultado es similar a lo reportado en el presente estudio en el cual el tratamiento de 7g tuvo el menor coeficiente de digestibilidad de la PB y a su vez , se caracterizó por un bajo CMS con respecto a los tratamientos control y 14 g. Este efecto, puede ser atribuido a cambios en la actividad de la microbiota ruminal (Scholljegerdes et al., 2010), probablemente cambios que son otorgados a la síntesis de cianocobalamina o sus análogos que son utilizados por los propios microorganismos ruminales para la proliferación celular microbiana lo que explica el aumento de los coeficientes de digestibilidad durante el tratamiento de 14 g (Kadim et al. 2003).

Wang et al. (2007) al trabajar con ovinos, argumenta un mejoramiento del CDPB con la suplementación de cobalto en niveles de 0,5 mg de Co/kg de MS con respecto al tratamiento control (0,703 vs 0,715), del mismo modo a medida que aumentó los niveles de

cobalto, también incrementó el CDFDN. Abd el et al. (2009) demostró que el mejor valor para el CDPB (70,76 %) lo encontró con el tratamiento en el cual los animales se suplementaron con dosis de cobalto entre 0,7 y 1,0 mg/kg de MS. Karlengen et al. (2013) no reportó diferencias significativas en el CDFDN con la suplementación de 5,3 g de Co/día con respecto al tratamiento donde suministraron 4 mg de Co/día (0,715 vs 0,743 respectivamente). En otro estudio Kisidayova et al. (2001) no encontró cambios en la degradabilidad de la MS, MO, FDN y FDA con niveles de 2, 4 y 8 mg/kg de la MS, sin embargo, la degradabilidad de la celulosa incrementó significativamente con el consumo de cobalto de 8 mg/kg de MS. Según Wang et al., (2010) asegura que con el suministro de cobalto (0,06 mg/kg de MS) y cobre (20 mg/kg de MS) el coeficiente de digestibilidad de la PB no fue modificado estadísticamente, mientras que el CDFDN fue incrementado significativamente con respecto a los demás tratamientos.

De acuerdo a lo anterior, los resultados hallados en el presente estudio son similares a los reportados en otros ensayos donde se ha dilucidado el aumento en los coeficientes de digestibilidad, con cantidades mucho más bajas de cobalto. La mejora de la digestibilidad de la PB y FDN cuando los animales recibieron una inclusión de 14 g de cobalto se debe a que la microbiota del rumen se encontraba adaptada al aditivo, esto porque los animales venían recibiendo una inclusión de 7 g de cobalto, lo cual con el aumento de la inclusión de cobalto pudo haberse generado un crecimiento de la población microbiana debido a una mayor síntesis ruminal de cianocobalamina (Kincaid et al., 2003). Este efecto generado, es muy importante en el metabolismo energético y proteico tanto de las bacterias como de los tejidos animales (Kadim et al., 2003), de esta forma se incrementa la cantidad de microorganismos (Kisidayova et al., 2001) así como su actividad sobre la fracción fibrosa del alimento (Tiffany et al., 2003).

5. 2 PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA LECHE.

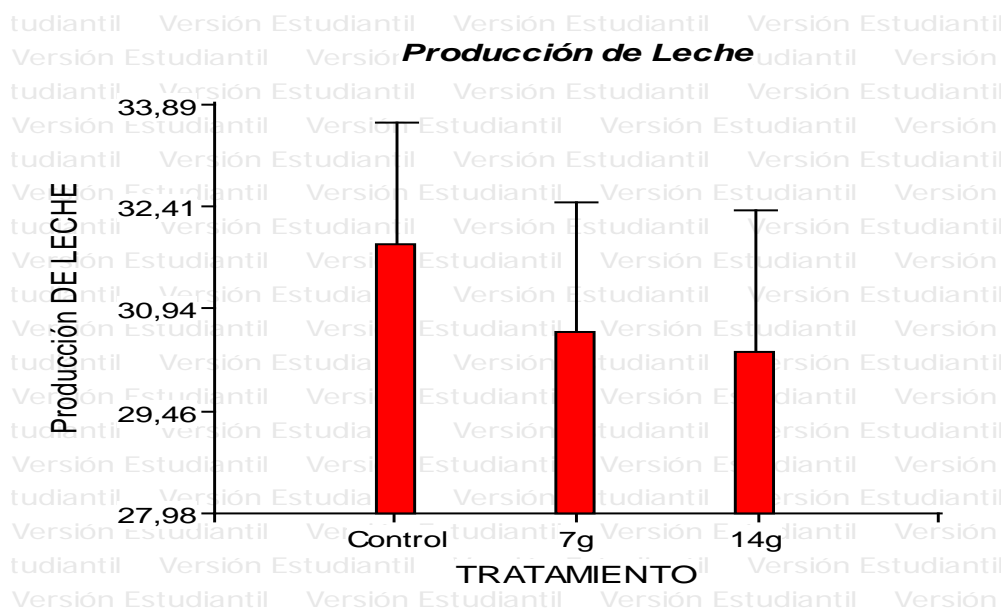
La producción de leche no presentó cambios significativos ($P>0,05$) con el suministro de cobalto en la dieta de los animales, pero si se observa que existe una tendencia de disminuir la producción a medida que aumentan las concentraciones en la dieta (Gráfico 1). El porcentaje de grasa, la producción de grasa, el porcentaje de proteína, la producción de proteína y la producción de lactosa no fueron afectados estadísticamente ($P>0,05$) por las concentraciones de cobalto administradas a los animales, sin embargo la producción de grasa tuvo la tendencia a disminuir cuando se incluyó el cobalto, adicionalmente el porcentaje de proteína y la producción de proteína y lactosa aumentaron numéricamente con el nivel de 7 g/día, pero posteriormente disminuyeron con el tratamiento de 14 g de Co/día. El porcentaje de lactosa evidenció diferencias significativas con la suplementación de cobalto ($P<0,0001$), donde el tratamiento con inclusión de 7 g de Co/día/animal aumentó este parámetro con respecto a los demás tratamientos. Igualmente, el porcentaje de sólidos no grasos (SNG) fue afectado estadísticamente, siendo que el tratamiento de 7 g de Co/día también aumentó esta variable en leche en comparación con el tratamiento control y 14 g de Co/día/ animal (Tabla 6).

Tabla 6. Efecto de la adición de cobalto soluble sobre la producción y composición de la leche.

Variable	Tratamientos			P-Valor
	Control	7g	14g	
Producción de Leche (L/día)	31,88± a	30,61± a	30,31 ±a	0,8248
Concentración (%)				
Grasa	4,08 ±1,18 a	3,52±0,37 a	3,38 ±0,55a	0,2874
Proteína	3,12 ±0,10 a	3,22± 0,19 a	3,07 ±0,05 a	0,1570
Lactosa	4,40± 0,13 a	4,87± 0,12 b	4,37± 0,1 a	<0,0001
SNG	8,33±0,24 a	10,32±0,47 b	8,18 ±0,19 a	<0,0001
Producción (kg/día)				
Grasa	1,35±0,42 a	1,15± 0,14a	1,15± 0,26a	0,4200
Proteína	1,05±0,14 a	1,07±0,08 a	0,97 ±0,20a	0,4663
Lactosa	1,50±0,18 a	1,63± 0,20a	1,40±0,18 a	0,2193

SNG: sólidos no grasos. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P<0,05$)

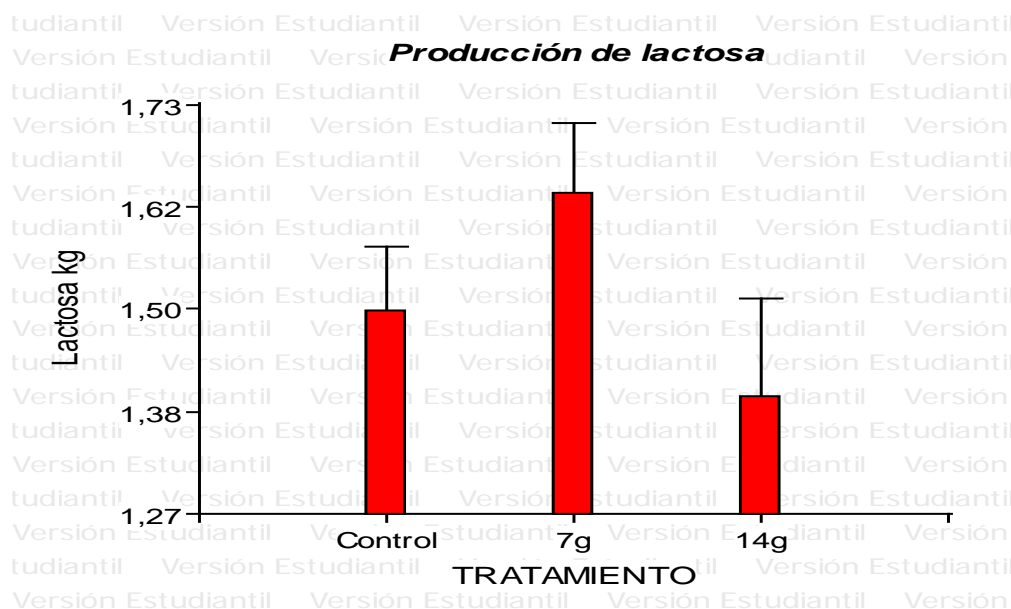
En previos estudios se ha revisado el efecto que tiene el cobalto sobre la producción y la composición de la leche, Akins et al., (2012) con la adición de cobalto de diferentes fuentes (glucoheptonato y carbonato) no encontró diferencias significativas para el efecto de tratamientos, sin embargo el glucoheptonato de Co (25mg/d) tendió a generar una mayor producción de leche que el carbonato de cobalto (25 mg/d) 42,5 kg/día vs 39,7 kg/día. Kincaid et al., (2003) reporta que los animales suplementados con cobalto tuvieron mayor producción de leche a medida que se aumentaron los niveles del aditivo, es decir el grupo de 1,26 mg de Co/kg de MS presentó un incremento con respecto a los tratamiento de 0,37 y 0,63 mg/kg de MS. En la investigación de Karkoodi (2010) se ratifica que la inclusión de cobalto en la dieta eleva el volumen de leche producido, cabe resaltar que el mejor resultado lo obtuvo con la concentración de Co de 30 mg/kg de MS con respecto al suministro de 40 y 50 mg/kg de MS. Similares resultados fueron hallados con el uso del cobalto ligado a glucoheptonato cuando se suplementó en animales con 120 días en lactancia encontrando una elevada producción de leche con respecto a los animales que recibieron el tratamiento del mineral inorgánico (38,30 vs 41,40 kg/día) (Osorio et al., 2015). Los resultados mencionados anteriormente son contradictorios a los hallados en el presente estudio, igualmente son similares a los reportados por Akins et al., (2012). Toral et al., (2015) afirma que el uso del cobalto (9 mg/kg de peso vivo) no evidenció diferencias estadísticamente significativas en la producción de leche, pero si fue observada una diferencia numérica con respecto al control. Frutos et al., (2014) también encontró con concentraciones de Co de 10 mg/kg de peso vivo que este disminuyó la producción de leche. De acuerdo a lo revisado anteriormente el efecto del cobalto sobre la producción de leche no ha sido dilucidado claramente, ya que algunos reportan un aumento, mientras que otros han hallado una disminución en la producción, posiblemente tal efecto sea debido a condiciones indirectas causadas por el mineral sobre la fisiología de los animales lactantes.



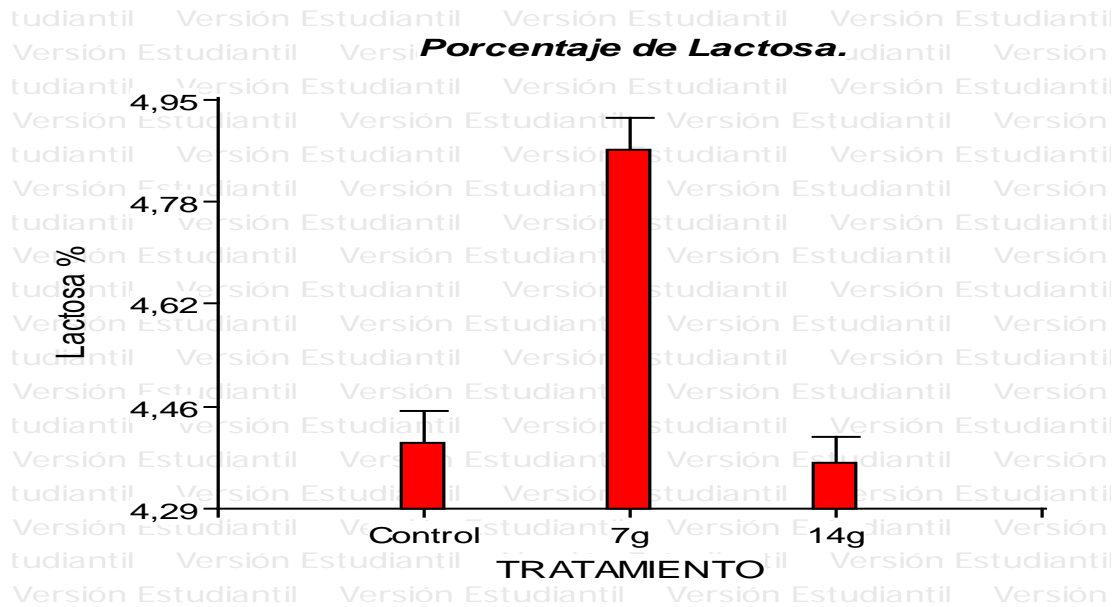
Gráfica 1. Efecto del cobalto soluble sobre la producción de leche.

La composición de la leche también ha sido estudiada con el suministro de Co en la dieta, donde igualmente los hallazgos han sido diversos de acuerdo con la concentración en la que se suministre este aditivo, por ejemplo, Griffiths et al., (2007) observaron un aumento del contenido de sólidos totales en la leche con la adición de 12 mg de Co/kg de MS con respecto a los animales que no fueron tratados. Según Karkoodi, (2010), no encontró diferencias significativas en los porcentajes ni en la producción de grasa, proteína, lactosa o sólidos totales ($P > 0,05$) con diferentes niveles de cobalto utilizados entre 30 y 50 mg/kg de MS. De acuerdo a Akins et al., (2012) al evaluar la inclusión de Co a partir de diferentes fuentes (carbonato y glucoheptonato) en diferentes concentraciones (25mg y 75mg/día) en vacas lactantes no observaron cambios en la composición de la leche, sin embargo, resaltan el aumento numérico de la producción de lactosa en los animales suplementados con glucoheptonato de Co en niveles de 75 mg/día, igualmente se encontró un aumento en el porcentaje de lactosa. Dicha investigación reporta resultados similares a los del presente estudio ya que para el tratamiento de 7g se observó un aumento significativo ($P < 0,05$) en el

porcentaje de lactosa con respecto a los demás tratamientos (Grafico 3), lo que posiblemente puede ser atribuido al aumento de los niveles de glucosa en sangre (Tiffany et al., 2003; Wang et al., 2010) debido a la mayor disponibilidad de adenosilcobalamina la cual es necesaria para la transformación del propionato proveniente del rumen en succinato dentro de las células principalmente del hígado, de esta forma el succinato por medio del ciclo de Krebs y posteriormente gluconeogénesis, es transformado en glucosa (Eugene et al., 1974). Con el aumento de esta hay mayor cantidad de los precursores para la síntesis de lactosa y por ende un aumento en el porcentaje de esta en leche, no obstante la posterior disminución durante el tratamiento de 14g puede ser debido a un mecanismo de adaptación fisiológico donde el aumento de la glucosa, pudo haber generado que las concentraciones de insulina se incrementaran haciendo que se promoviera principalmente la lipogénesis, por lo tanto aumentando los depósitos de grasa (Matthew, 2008).



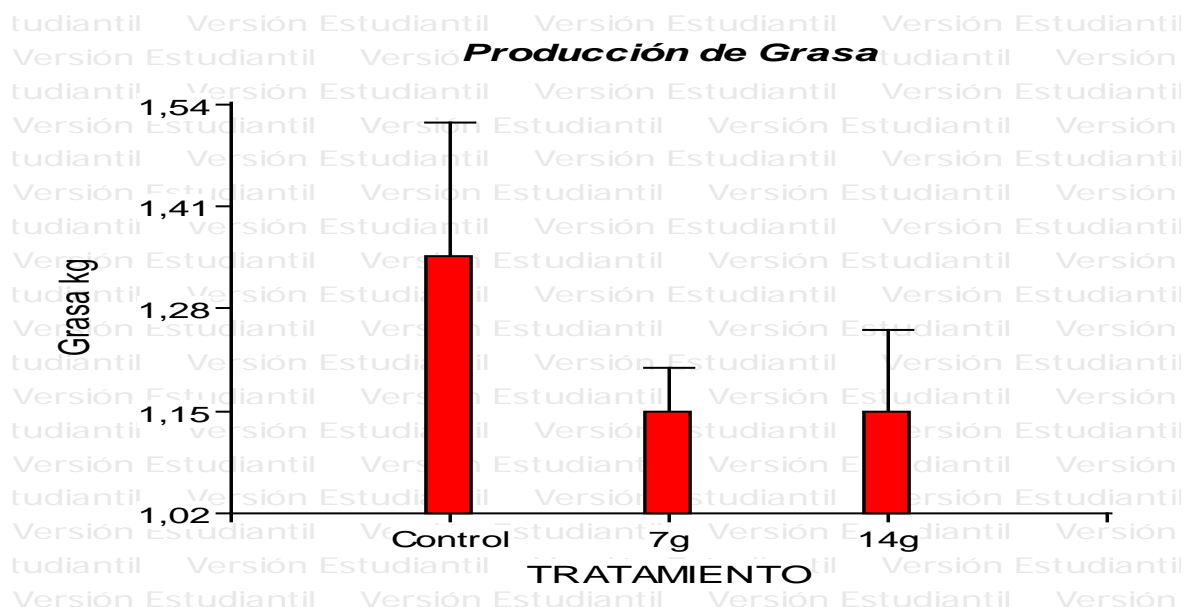
Grafica 2. Efecto del cobalto soluble sobre la producción de lactosa.



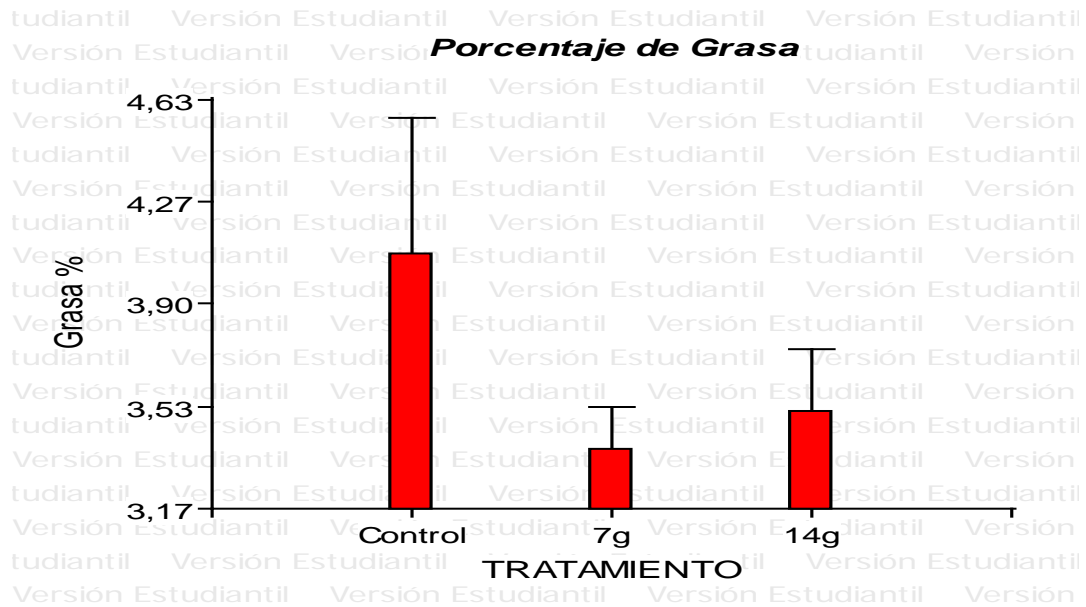
Grafica 3. Efecto del cobalto soluble sobre el porcentaje de Lactosa.

El porcentaje así como la producción de grasa y proteína aunque no fueron modificados estadísticamente ($P > 0,05$) si presentaron grandes diferencias numéricas que también han sido halladas en anteriores estudios. Según Toral et al., (2015) afirman que la producción de grasa y proteína no fue modificada por la inclusión de Co en la dieta, pero si presentaron una tendencia a disminuir con el suministro de 9 mg/kg de peso vivo. Igualmente, Karlengen et al., (2013) reportan la disminución en el porcentaje de grasa cuando se administró a los animales la mayor dosis de Co (5,3 g/día). Resultados muy similares, fueron encontrados en la presente investigación (Gráfico 4 y 5). La depresión en la grasa de la leche ha sido ampliamente descrita ya que este síndrome es causado principalmente por factores nutricionales (Palmquist., 2006), aunque los efectos del cobalto sobre la grasa de la leche no ha sido bien establecidos. Probablemente esté aditivo está relacionado con efectos sobre la enzima Esteroil CoA desaturasa (SCD) la cual tiene la función de la nueva síntesis de ácidos grasos dentro de la glándula mamaria, así como la desaturación de ácidos grasos provenientes del metabolismo ruminal (Shingfield et al., 2008). La enzima consta de 3 componentes: NADH-citocromo b5 reductasa, citocromo b5 y la desaturasa terminal (Frutos

et al., 2015), probablemente el efecto del Co sea sobre el citocromo b5 ya que esta es una hemoproteína; a partir de esto se han planteado varias hipótesis, la primera donde el aumento de los niveles de cobalto generan la producción de la enzima hemo-oxigenasa la cual puede liberar del grupo hemo el ion hierro del citocromo lo que inhibiría la acción de la SCD (Karlengen et al.,2013) y la otra probable hipótesis es que el Co^{2+} puede desplazar el ion Fe^{2+} afectando igualmente la enzima y por lo tanto la desaturación (Frutos et al., 2014), así como, disminuyendo la síntesis de ácidos grasos de nuevo en la glándula mamaria. Adicionalmente al impedir la desaturacion de ácidos grasos provenientes del rumen principalmente trans-10, cis-12 estos tienen un efecto negativo sobre la expresión del mRNA para enzimas como lipoproteína lipasa (Palmquist., 2006), por otro lado, el aumento de los niveles de insulina impiden la extracción de ácidos grasos desde el tejido adiposo. Todos estos factores pudieron haber provocado la disminución en el porcentaje y la producción de grasa durante los tratamientos de 7 y 14 g de Co/día.



Grafica 4. Efecto del cobalto soluble sobre la produccion de grasa lactea



Grafica 5. Efecto del cobalto soluble sobre el porcentaje de grasa en la leche.

El aumento significativo de los sólidos no grasos ($P < 0,05$) durante el tratamiento de 7g/día de Co es debido principalmente a que el porcentaje de lactosa y proteína hacen parte de la fracción libre de grasa (Souza Junior et al., 2016).

6. CONCLUSIONES

- Las concentraciones de cobalto pueden afectar negativamente el consumo de materia seca, mientras los microorganismos ruminales y el metabolismo del animal se adaptan a los altos niveles de cobalto administrados durante el experimento, no obstante, luego de su adaptación el consumo de materia seca tiende a aumentar
- Los coeficientes de digestibilidad fueron disminuidos junto con el consumo de materia seca cuando los animales recibieron el tratamiento con 7 g de cobalto, siendo esto debido al efecto del aditivo, puesto que los animales no estaban adaptados a la dieta y por otro lado, a un efecto de baja calidad y disponibilidad de forraje, ya que en este periodo se presentó una época de heladas en la zona donde se llevó a cabo el experimento.
- El porcentaje de lactosa y de sólidos no grasos fue aumentado por la inclusión de 7 g de cobalto en la dieta, posiblemente debido a los altos niveles de glucosa en sangre que los animales pudieron presentar al no haber estado adaptados a la dieta. La depresión que se observó en la producción y concentración de grasa en la leche, aunque no mostró diferencias significativas probablemente pudo haber sido por la acción del Cobalto sobre las enzimas de la glándula mamaria encargadas de sintetizar los ácidos grasos, que prevalecen en la grasa láctea y a favorecer ácidos grasos que inhiben la traducción del ARN para la síntesis de otras enzimas.

7. RECOMENDACIONES

- Evaluar el uso de niveles más bajos de cobalto dentro de la dieta de animales de alta producción, no solamente en la sabana de Bogotá sino en otros ambientes donde se pueda reafirmar los efectos benéficos del Cobalto en los sistemas de producción lechera especializada.
- Se recomienda en posteriores estudios con el suministro del cobalto medir otro tipo de parámetros como: metabolitos producidos en el rumen, población microbiana del rumen, perfil de algunas hormonas (insulina y hormona del crecimiento) en plasma, nitrógeno amoniacal en rumen y metabolitos en plasma (AGV, glucosa y ácidos grasos no esterificados) que permitan tener más certeza de los efectos del cobalto ya sea en la producción así como en la fisiología de los animales de alto merito genético.

8. BIBLIOGRAFIA

AbuGhazaleh, A.A., Schingoethe, D.J., Hippen A.R., Kalscheur, K.F., Whitlock, L.A. (2002). Fatty Acid Profiles of Milk and Rumen Digesta From Cows Fed Fish Oil, Extruded Soybeans or Their Blend. *J. Dairy. Sci.* 85: 2266–2276.

Allen, M. S. (2000). Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v.83, n.7, p.1598-1624.

Akins, M.S, Bertics, S.J, Socha. M.T, Shaver. D. V,(2012). Effects of cobalt supplementation and vitamin B12 injections on lactation performance and metabolism of Holstein dairy cows. Department of dairy science, University of Wisconsin Madison.

AOAC. (2006). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists*. 18th ed. 1st rev. AOAC Int., Gaithersburg, MD.

Ariza, C.C. (2011). Análisis Productivo Y Reproductivo De Un Hato Lechero. Corporacion Universitaria Lasallista.19-23.

Bateman, J. (1970). *Nutricion animal: manual de métodos analíticos*. México: Herrero Hermanos.

Beaulieu, A.D., Palmquist, D.L. (1995). Differential Effects of High Fat Diets on Fatty Acid Composition in Milk of Jersey and Holstein Cows. *J. Dairy. Sci.* 78: 1336-1344.

Bernal, F. A. y Gomez, C. A. (2006). Analisis productivo de Ganado lechero Holstein y Jersey en Dos Fincas de la Sabana de Bogota. Universidad de la Salle. 46-48.

Bionnaz, M., Hurley, W., Loor, J. (2012). Milk Protein Synthesis in the Lactating Mammary Gland: Insights from Transcriptomics Analyses. *Biochemistry, Genetics and Molecular Biology*. 9.

Casper, D. (2015). Can supplemental cobalt increase nutrient digestibility in Dairy cows? Disponible en: <http://igrow.org/livestock/dairy/can-supplemental-cobalt-increase-nutrient-digestibility-in-dairy-cows/>.

Coelho, D.T., Rocha, J.A.A. (1977). Práticas de processamento de produtos animais. Viosa, MG: Universidade Federal de Viosa. 79p.

Conceição, D.; Jacques, R.; Bento, F.; Simonetti, A.; Pedro Selbach, P.; Camargo, F. (2007). Redução de cromo hexavalente por bactérias isoladas de solos contaminados com cromo. *Ciência Rural*, v. 37(6): 1661-1667.

Cordoba, A., Ceballos, J. B., Meneses, B. (2000). Causa moleculares de la homocisteinemia. *Acta Med Colomb*. 25: 122-133.

Correa, H. J., Echeverri, N. P. (2009). El papel de la insulina en la regulación de síntesis de proteínas lácteas en bovinos. *Rev Colomb. Cienc. Pecu*. 22: 597-606.

Dan, C., Zhang, N., Xue-mei, N., Qing-Zhang, L., Xue-jun, G. (2016). Potential Genes for Regulation of Milk Protein Synthesis in Dairy Goat Mammary Gland. *Journal of Northeast Agricultural University*. Vol. 23 No. 1 50-56

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. (2008). InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Eugene, P. Frenkel, R. L., Kitchens, Louis, B.H., Frenkel, R. (1974). Effect of Vitamin B12 Deprivation on the in Vivo Levels of Coenzyme A Intermediates Associated with Propionate Metabolism. *J. Biol. Chem*. 249: 6984-6991.

European Food Safety Authority (EFSA), (2009). Scientific Opinion on the use of cobalt compounds as additives in animal nutrition. *EFSA. Journal*. 7(12): 1383

Frutos, P, Toral, P. G, Ramos-Morales, E, Shingfield, K. J, Belenguer, A, Hervás, J. (2014) Oral administration of cobalt acetate alters milk fatty composition, consistent with an inhibition of stearoyl-coenzyme A desaturase in lactating ewes. *J. Dairy Sci.* 97: 1036-1046.

Girard, C.L. and J.J. Matte. 2005a. Effects of intramuscular injections of vitamin B12 on lactation performance of dairy cows fed dietary supplements of folic acid and rumen-protected methionine. *J. Dairy Sci.* 88:671-676.

Girard, C.L., H. Lapierre, J.J. Matte, and G.E. Lobley. 2005b. Effects of dietary supplements of folic acid and rumen-protected methionine on lactational performance and folate metabolism of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88:660–670.

Gonzales, V. H., Magofke, J. C. (2008). Comportamiento de diferentes líneas de ganado Holstein en sistemas de producción basados en pastoreo. Universidad de Chile. p - 11.

Griffiths, L.M., Loeffler, S.H., Socha, M.T., Tomlinson, D.J., Jhonson, A.B. (2006). Effects of supplementing complexed zinc, manganese, copper and cobalt on lactation and reproductive performance of intensively grazed lactating dairy cattle on the South Island of New Zealand. *J. Anim. Sci.* 137:69-83.

Grovum, W. L., and Gonzalez, J. S. (2000). Control of salivation and motility of the reticulorumen by the Brain in Sheep. *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction*: 41-44.

Hedrich, M. F., Elliot, J. M., Lowe, J. E. (1973). Response in Vitamin B-12 Production and Absorption to Increasing Cobalt Intake in the Sheep. *J. Nutr.* 103:1646-1651.

Holcomb, C. S., Van Horn, H. H., Head, H. H., Hall, M. B., Wilcox, C. J. (2001). Effects of Parturition Dry Matter Intake and Forage Percentage on Postpartum Performance of Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 84:2051–2058

Hussein, H.S., Fahey, G.C., Wolf, B.W., Berger, L.L. (1994). Effects of Cobalt on In Vitro Fiber Digestion of Forages and By-products Containing Fiber. *J. Dairy. Sci.* 77: 3432-3440.

Husveth, F., (2011). Physiological and reproductional aspects of animal production. Disponible en: http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_angol_05_termeles_elettan/ch14s02.html

Hutjens, M. F., (2005). Dairy Efficiency and Dry Matter Intake. Proceedings of the 7th Western Dairy Management Conference. 71-76.

Jung, H.G., Allen, M.S. (1995). Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forage by ruminants. *J. Anim. Sci.*, 73: 2774-2790.

Kadim. I. T, Johnson. E. H, Maghoub. O, Srikanthakumar. A, Al-Ajmi. D, Ritchie. A, Annamalai. K, Al-Halhali. A. (2003). Effect of low levels of dietary cobalt on apparent nutrient digestibility in Omani goats. *Ani. Feed. Sci.* 109: 209-216.

Karlengen. I. J, Taugbol. O, Salbu. B, Aastveit. A. H, Harstad. O. M. (2013). Effect of different levels of supplied cobalt on the fatty acid composition of bovine milk. *British Journal of Nutrition.* 109: 834-843.

Karkoodi, K. (2004). Effect of cobalt extra-supplementation on milk production and composition of heat stressed lactating Holstein dairy cows. Islamic Azad University. 288.

Kendall, N. R., Mackenzie, A. M., Telfer, S. B. (2001). Effect of a copper, cobalt and selenium soluble glass bolus given to grazing sheep. *Liv. Prod. Sci.* 68: 31-39.

Kendall, N. R., Mackenzie, A. M., Telfer, S. B. (2012). The trace element and humoral immune response of lambs administered a zinc, cobalt and selenium soluble glass bolus. *Liv. Sci.*, 148: 81-86.

Kincaid, R.L., L.E. Lefebvre, J.D. Cronrath, M.T. Socha, and A.B. Johnson. 2003. Effect of dietary cobalt supplementation on cobalt metabolism and performance of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:1405-1411.

Kincaid, R.L. and M.T. Socha. 2007. Effect of cobalt supplementation during late gestation and early lactation on milk and serum measures. *J. Dairy Sci.* 90:1880-1886.

Kisidayova, S., Sviatko. P., Siroka. P., Jalc, D. (2001). Effect of elevated cobalt intake on fermentative parameters on protozoan population in RUSITEC. *Ani. Feed. Sci.* 91:223-232.

Lopez-Guisa, J. M., & Satter, L. D. (1992). Effect of copper and cobalt addition on digestion and growth in heifers fed diets containing alfalfa silage or corn crop residues. *Journal of dairy science*, 75(1), 247-256.

Ma, L. (2012). Regulatory factors of milk fat synthesis in dairy cows. Blacksburg, University of Virginia. 4-25.

Matsuda, M. Imaoka, T. Vomachka, T. Gudelsky, G. Hou, Z. Mistry, M. Bailey, J. Nieport, K. Walther, D. Bader, M. Horseman, N. (2004). Serotonin Regulates Mammary Gland Development via an Autocrine-Paracrine Loop. *Developmental Cell*, Vol. 6, 193–203.

Matthew. C.L, (2008). Repartición de los nutrientes y función reproductiva en vacas lecheras. Department of animal sciences, University of Missouri, Columbia. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar

McDowell, L. R. 2000. *Vitamins in Animal and Human Nutrition* 2nd ed. Iowa State University Press, Ames, IA..

NRC, National Research Council (2001) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (7th rev. ed.). National Academy Press. Washington DC.

Olson H.H., Grubaugh, W.R. (1974). Effect of Methionine Hydroxy Analog Feeding on Yield and Composition of Bovine Milk. *J. Dairy. Sci.* 57:695-697.

Osorio. J. S, Trevisi. E, Li. C, Drackley. J. K, Socha. M. T, Looor. J.J. (2016). Supplementing Zn, Mn and Cu form amino acids complexes and Co from cobalt glucoheptonate during the peripartal period benefits postpartal cow performance and blood neutrophil function. *J. Dairy Sci.* 99: 1868-1863.

Palmquist, D. L., (2006). Milk Fat: Origin of Fatty Acids and Influence of Nutritional Factors Thereon. *Advanced Dairy Chemistry, Volume 2: Lipids*, 3rd edition: 43-92

Ralco Animal Nutrition, 2010. Roughage Mate Como Fuente de Recuperación Económica. Beef Roughage Mate- SP-11-2010. Disponible en: www.ralconutrition.com/roughagemate.

Riuss, A. G., Appuhamy, J. A. D. R. N., Cyriac, J., Kirovski, D., Becvar, O., Escobar, J., McGilliard, M. L., Bequette, B. J., Akers, R. M., Hanigan, M. D. (2010). Regulation of Protein Synthesis In Mammary Glands Of Lactating Dairy Cows By Starch And Amino Acids. *J. Dairy Sci.* 93 :3114–3127

Relling, A.E., Mattioli, G. A., (2007). Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. *Fac. Cs. Veterinarias-UNLP*.

Santos D'Angelo, L. (2009). Fontes De Gordura Na Alimentação De Vacas Leiteiras No Periodo De Transição E Inicio De Lactação. Universidade de Sao Paulo, Faculdade de Medicina Veterinaria e Zootecnia. Departamento de Nutricao e Producao Animal. Pirasununga.

Scholljegerdes. E. J, Hill. W.J, Purvis. H. T, Voight. L. A, Schauer. C. S. (2010). Effects of supplemental cobalt on nutrient digestion and nitrogen balance in Lambs feed forage-based diets. *Sheep and Goat Research Journal.* 25: 74- 77.

Souza Junior. A. H, Paula Lana. R, Viana. C.R, Pies. M, Mattos. C, Renno. L. (2016) Protected fat and variable level of protein in diets of crossbreed cows in early lactation. *Acta Scientiarum. Animal Science.* 38:107-112.

Shingfield, K. J., Aro^o la, A., Ahvenjarvi, S. Vanhatalo, A., Toivonen, V., Griinari, J. M., Huhtanen, P. (2008). Ruminal Infusions of Cobalt-EDTA Reduce Mammary D9-Desaturase Index and Alter Milk Fatty Acid Composition in Lactating Cows. *J. Nutr.* 138: 710-717.

Shook, G. E. 2006. Major advances in determining appropriate selection goals. *J. Dairy Sci.* 89: 1349-1361

Tahir, N. M. (2008). Voluntary feed intake by dairy cattle. Department of Agricultural Research for Northern Sweden.

Toral. P.G, Hervas. G, Frutos. P. (2015). Reduction in milk Δ^9 desaturation ratios to oral dosing of cobalt-acetate are accompanied by down regulation of SCD1 in lactating ewes. *J. Dairy Sci.* 98: 1961-1971.

Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. 2. ed. New York: Cornell University Press. 476 p.

Veiga. M. y Laranja. L. F. (2004), Composicao e propiedades f^{is}ico- qu^{im}icas do leite. Facultad de medicina veterinaria e zootecnia. Universidad de Sao Paulo: Agripoint: 7-12

Yousuf, M. B., Belewu, M. A., Badmus, A. H. A. (2009). Effects of cobalt supplements on performance of panicum maximum hay fed goats. *Sci Edition.* 16:1-6

Wang. R. L, Kong. X. H, Zhang. Y.Z, Zung. X. P, Narenbatu, Jia. Z.H. (2007). Influence of dietary cobalt on performance, nutrient digestibility and plasma metabolites in lambs. *Ani. Feed. Sci.* 135: 346-352.

Wang, R.L., Zhang, W., Zhu, Xp., Jia, Z. (2010). Influence of Different Ratios of Cobalt and Copper Supplementation on Vitamin B12 Status and Nutrient Utilization in Sheep. *Agri. Sci. Chi.* 9(12): 1829-1835.

Weiss, B.(2015). Optimizing and Evaluating Dry Matter Intake of Dairy Cows. *WCDS Advances in Dairy Technology.* 27: 189-200.