

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias de la Salud

Análisis del uso de fuentes energéticas como el ATP en la fertilidad de bovinos productores de leche

Daniela Nicole Granda Benavides

Medicina Veterinaria

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Medico Veterinario

Quito, 18 de mayo de 2022

Universidad San Francisco de Quito USFQ

Colegio de Ciencias de la Salud

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Análisis del uso de fuentes energéticas como el ATP en la fertilidad de
bovinos productores de leche**

Daniela Nicole Granda Benavides

Nombre del profesor, Título académico

Lenin Vinueza ,M.Sc DMVZ

Quito, 18 de mayo de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Daniela Nicole Granda Benavides

Código: 00201668

Cédula de identidad: 1726443110

Lugar y fecha: Quito, 18 de mayo de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

En el manejo de la fertilidad la nutrición y en especial la energía tiene un papel determinante. El objetivo de este trabajo fue el analizar fuentes bibliográficas sobre los efectos de la energía en la fertilidad en el ganado bovino productor de leche. Se dividió la búsqueda de información en tres temas: el ATP como fuente de energía, la energía en la fertilidad y el balance energético negativo y sus efectos en el inicio de la actividad ovárica. Dentro de las fuentes revisadas se eliminaron 10 por parámetros de exclusión, dejando un total de 33 fuentes que se usaron como referencia en el trabajo. Con los resultados obtenidos se determinó que hay disponibilidad de fuentes para establecer la relación de la energía con la fertilidad. La energía tiene una relación favorable, disminuyendo problemas metabólicos relacionados con la energía, manteniendo un desarrollo folicular apto, evitando el retraso en la ovulación, y manteniendo una ciclicidad óptima.

Palabras Clave: *fertility , bovine, production, ATP, dairy, cows, adenosin, triphosphate, mechanism, energy, reproduction.*

ABSTRACT

In the maintenance of fertility, nutrition and specially energy plays a determinant role. The objective of this work was to analyze bibliographic sources on the effects of energy on fertility in dairy cattle. The search for information was divided into three main topics: ATP as a source of energy, energy in fertility and negative energy balance and its effects on the onset of ovarian activity. Among the sources reviewed, 10 were eliminated due to exclusion parameters, leaving a total of 33 sources that were used as reference in this work. With the results obtained, it was determined that there are sources available to establish the relationship between energy and fertility. Energy has a favorable relationship, decreasing metabolic problems related to energy, maintaining an appropriate follicular development, avoiding the delay in ovulation, and maintaining an optimal cyclicity.

Palabras Clave: *fertility , bovine, production, ATP, dairy, cows, adenosin, triphosphate, mechanism, energy, reproduction.*

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDOS	2
<i>Introducción</i>	<i>10</i>
<i>Desarrollo del Tema</i>	<i>11</i>
<i>Metodología:</i>	<i>11</i>
Búsqueda de literatura	11
Criterios de Elegibilidad	11
Manejo de fuentes bibliográficas	11
<i>Resultados</i>	<i>12</i>
El ATP	14
Fertilidad y Energía	16
Balance energético negativo y sus efectos en el inicio de la actividad ovárica post parto	20
<i>Discusión</i>	<i>21</i>
<i>Conclusiones</i>	<i>26</i>
<i>Referencias bibliográficas</i>	<i>27</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<p>TABLA N° 1 AUTOR, AÑO Y TÍTULO DE LAS PUBLICACIONES UTILIZADAS PARA EL DESARROLLO DE LOS TEMAS RELACIONADOS CON “ATP”, “FERTILIDAD”, “BALANCE ENERGÉTICO”; PRESENTADAS EN ORDEN ALFABÉTICO DE ACUERDO AL AUTOR. LA “X” MUESTRA INFORMACIÓN QUE APORTÓ EL AUTOR.</p>	13
<p>TABLA N° 2 AUTOR Y AÑO DE LAS PUBLICACIONES USADAS EN LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DEL ATP CLASIFICADOS SEGÚN EL APORTE EN “FISIOLOGÍA”, "SÍNTESIS", "METABOLISMO", "REGULACIÓN". EL SÍMBOLO + MUESTRA LA CANTIDAD DE VECES QUE FUE CITADO CADA AUTOR SIENDO "+" BAJO,.....</p>	14
<p>TABLA N° 3 AUTOR Y AÑO DE LAS PUBLICACIONES UTILIZADAS EN LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EN RELACIÓN A LA FERTILIDAD Y LA ENERGÍA DIVIDIDA EN: “PERIODO DE TRANSICIÓN”, “ACTIVIDAD OVÁRICA”, “REPRODUCCIÓN”, “ENERGÍA”.....</p>	16
<p>TABLA N° 4 EL BALANCE ENERGÉTICO, SUS SIGLAS Y EXPLICACIÓN.....</p>	18
<p>TABLA N° 5 BALANCE ENERGÉTICO, SUS METABOLITOS Y HORMONAS.</p>	19
<p>TABLA N° 6 AUTOR Y AÑO DE LAS PUBLICACIONES USADAS EN LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EN RELACIÓN AL BALANCE ENERGÉTICO NEGATIVO Y SUS EFECTOS EN EL POST PARTO CLASIFICADOS SEGÚN SU APORTE EN: "BALANCE ENERGÉTICO", "CONDICIÓN CORPORAL”, “ACTIVIDAD OVÁRICA”, "DESARR.....</p>	20

ÍNDICE DE FIGURAS

GRÁFICO 1 CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES EN PORCENTAJE _____	12
GRÁFICO 2 NÚMERO DE PUBLICACIÓN POR TEMA PLANTEADO _____	12
GRÁFICO 3 AUTORES Y NUMERO DE APORTACIONES EN EL DOCUMENTO. _____	17
GRÁFICO 4 PORCENTAJE DE PUBLICACIONES POR TEMA. _____	17
IMAGEN N° 1 FORMACIÓN DEL ATP POR MEDIO DE LA GLUCOSA Y LOS ÁCIDOS GRASOS.	
IMAGEN GENERADA A PARTIR DE LA INFORMACIÓN DE BORONA, ET AL (2012) _____	15
IMAGEN N° 2 PROCESO DE HIDRÓLISIS DEL ATP QUE MUESTRA LA LIBERACIÓN DE ENERGÍA.	
ELABORACIÓN: DANIELA GRANDA _____	15
IMAGEN N° 3 ETAPAS FISIOLÓGICAS Y REPRODUCTIVAS EN LA VACA LECHERA (HERNÁNDEZ, J., 2016). _____	
2016). _____	18
IMAGEN N° 4 RESUMEN DE LA RELACIÓN DE LA ENERGÍA Y LA FERTILIDAD EN EL CUADRO A)SE OBSERVA CUAL ES LA RELACIÓN DE UNA ALTA ENERGÍA EN LA FERTILIDAD Y LOS PROCESOS Y METABOLITOS RELACIONADOS CON LA MISMA. EN EL CUADRO B) SE DESCRIBE LA RELACIÓN DEL BALANCE NEGATIVO _____	
DESCRIBE LA RELACIÓN DEL BALANCE NEGATIVO _____	19

INTRODUCCIÓN

La fertilidad es la capacidad de concebir y mantener la gestación si hay servicio en un tiempo apropiado en relación con la ovulación (Pryce, 2004). La fertilidad puede estar afectada tanto por factores como el manejo, ambiente, salud, estado nutricional, genética, y epigenética. La nutrición es un factor clave en la fertilidad ya que afecta el desarrollo del folículo ovárico por cambios en hormonas metabólicas y reproductivas, así como en el suplemento nutricional que va al ovario y útero afectando su función y la habilidad para mantener el crecimiento de un embrión y la implantación (Bach, 2019). En la nutrición un factor determinante es la energía. Durante las 3 semanas antes y 3 semanas después del parto las vacas se encuentran en una etapa crucial ya que la producción de leche y la ingesta de materia seca aumentan drásticamente y lo que se busca es evitar que los animales entren un estado de balance energético negativo y asegurar de esta manera la adecuada función reproductiva.

El ATP o Adenosintrifosfato es la fuente de energía para uso y almacenamiento a un nivel celular y es conocido como moneda energética. La mayor parte del ATP se sintetiza en la respiración celular y es consumido como energía en procesos como transporte, contracción muscular, propagación de impulsos nerviosos, fosforilación de sustancia y la síntesis de químicos (Dunn, 2021).

En el Ecuador la principal fuente de nutrición de los bovinos se basa en el pastoreo. Los pastos ofrecen una alimentación barata para el consumo de los bovinos y con su correcto manejo pueden llegar a brindar una alimentación completa para el desarrollo de los animales y la producción (León, 2018). Debido al mal manejo de los pastos para la suplementación nutricional de los bovinos, estos pueden proporcionar una escasa nutrición, esta situación va a traducirse en problemas con relación a la fertilidad aumentando el balance energético negativo en los bovinos.

El objetivo del presente trabajo es la recopilación y análisis de información sobre la importancia del ATP como energía en la fertilidad de bovinos productores de leche.

DESARROLLO DEL TEMA

METODOLOGÍA:

El presente trabajo se realizará una recopilación y análisis de la información presentada en investigaciones y revisiones literarias sobre el efecto del ATP en la fertilidad de bovinos productores de leche.

Búsqueda de literatura

Se utilizarán buscadores como Scopus, Google Académico, Pub Med, Elsevier que permitan la recopilación de la información en relación a la fertilidad de los bovinos y la influencia del ATP en esta. Se usarán palabras clave como: fertility , bovine, production, ATP, dairy, cows, adenosin triphosphate, mechanism, energy, reproduction.

Se usará palabras claves booleanas como AND y OR.

Criterios de Elegibilidad

Se tomará en cuenta un rango de datos del 2000 hasta el 2022 con el objetivo de tener información actualizada. Con lo que se realizara una base de datos para el análisis. Se utilizará criterios de exclusión en base a la actualidad de la bibliografía

Con la información obtenida se realizará un análisis y se la presentará de una manera ordenada en la que se pueda evidenciar los diferentes por los cuales el ATP como una podría mejorar la fertilidad.

Manejo de fuentes bibliográficas

Se utilizará Zotero como gestor de fuentes bibliográficas y las referencias serán citadas en formato APA 7ma edición.

RESULTADOS

En la recopilación de la información se realizó una base de datos de 32 fuentes de la que integran artículos de revistas académicas, una tesis y dos libros, que abordan los diferentes temas planteados en los objetivos. Los artículos de revista representan un 91% de las fuentes obtenidas, las tesis un 3% y los libros un 6% , lo cual se ve reflejado en el Gráfico N°1.

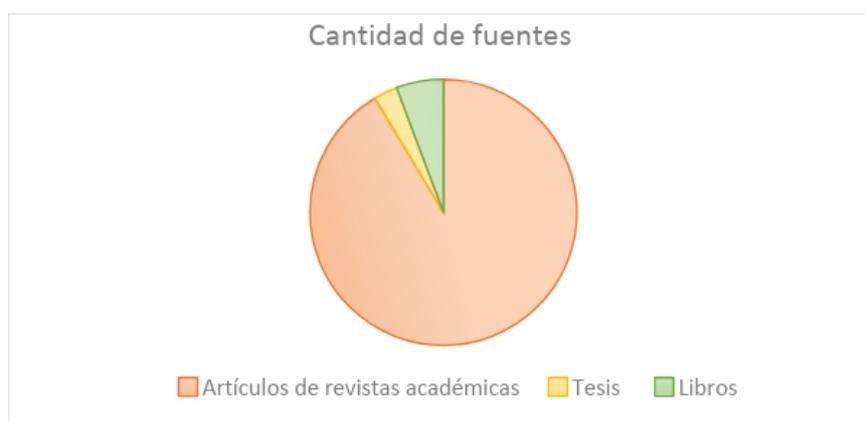


Gráfico 1 Clasificación de las fuentes en porcentaje

Las fuentes utilizadas se dividieron en los diferentes temas que se abordan como se muestra en la Tabla N°1. Se organizó la información con el título de artículo, el nombre del autor, el año de publicación y a qué tema hacen relación. La mayor cantidad de publicaciones se centraron en el área de fertilidad, seguidos del balance energético (Gráfico 2).

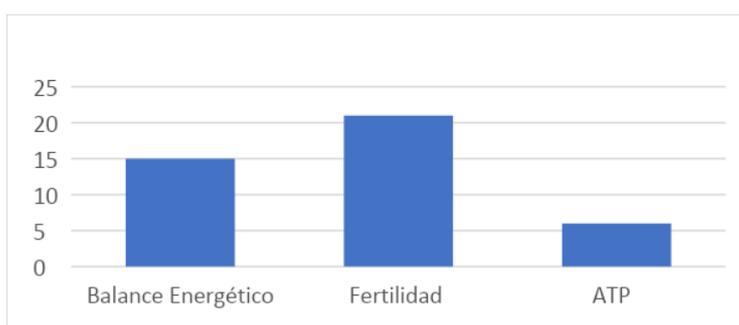


Gráfico 2 Número de publicación por tema planteado

Tabla N° 1 Autor, año y título de las publicaciones utilizadas para el desarrollo de los temas relacionados con “ATP”, “Fertilidad”, “Balance energético”; presentadas en orden alfabético de acuerdo al autor. La “x” muestra información que aportó el autor.

Título	Autores	Año	ATP	Fertilidad	Balance energético
ATP synthesis and storage	Bonora	2012	X		
Nutrition, negative energy balance on cyclicity	Butler	2005		X	X
Relationship of Negative Energy with Fertility	Butler	2005		X	X
Metabolic and Energy status during the dry period	Castro, et al.	2012		X	
Relationship between energy balance during early lactation	Cavero, et al.	2021		X	X
Physiology, Adenosine Triphosphate	Dunn, y Gridre	2021	X		
Interactions between negative energy balance, metabolic diseases uterine health and immune response in transition cows	Esposito, et al.	2014			X
Energy balance in transition cows and its association	Furken, et al.	2015			X
El peri parto en las vacas lecheras	Giuliodori	2012		X	
Fisiología Clínica de la Reproducción de Bovinos	Hernández, .	2016		X	
Metabolismo	Judge y Dodd	2020	X		
Nutritional Factors That Regulate Ovulation of the Dominant Follicle During the First Follicular Wave Postpartum in High-producing Dairy Cows	Kawashima, et al.	2012		X	X
Analysis of the genetic architecture of energy balance and its major determinants dry matter intake and energy-corrected milk yield in primiparous Holstein cows	Krattenmacher, et al.	2019		X	
Energy and protein nutrition management of transition dairy cows	Lean, et al.	2013		X	X
Dry period plane of energy: Effects on feed intake, energy balance, milk production, and composition in transition dairy cows	Mann, et al.	2015		X	
The association between metabolic parameters and oocyte quality early and late postpartum in Holstein dairy cows	Matoba, et al.	2012			X
Reproduction during lactation of dairy cattle: Integrating nutritional aspects of reproductive control in a systems research approach	McNamara y Shields.	2013		X	
Standard Gibbs energy of metabolic reactions: II. Glucose-6-phosphatase reaction and ATP hydrolysis	Meurer, et al.	2017		X	X
Association between prepartum metabolic status and resumption of postpartum ovulation in dairy cows	Miqueo, et al.	2019		X	X
Effect of energy balance profiles on metabolic and reproductive response in Holstein and Swedish Red cows	Montiel, et al.	2017		X	
Effect of energy balance profiles on metabolic and reproductive response in Holstein and Swedish Red cows	Natallaris, et al.	2017		X	
Imaging Adenosine Triphosphate (ATP)	Rajendran, et al.	2016	X		
Cell energy metabolism: An update	Rigoulet, et al.	2020	X		
Fertility and the transition dairy cow	Roche, et al.	2018		X	X
Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare	Roche, et al.	2009		X	X
Energy Transfer from Adenosine Triphosphate	Ross	2006	X		
Adaptaciones metabólicas en la gestación	Solá Izquierdo, et al.	2003		X	
Effect of Negative Energy Balance on Plasma Metabolites, Minerals, Hormones, Cytokines and Ovarian Follicular Growth Rate in Holstein Dairy Cows	Song, et al.	2021			X
Postpartum hormone and energy profiles and their influence on the resumption of ovarian cyclicity in Curraleiro Pé-Duro cows	Teixeira, et al..	2017		X	
Metabolic and immunological changes in transition dairy cows: A review	Wankhade, et al.	2017			X

Influence of negative energy balance on cyclicity and fertility in the high producing dairy cow	Wathes, et al.	2007		X	X
---	----------------	------	--	---	---

El ATP

En relación con el ATP para la recopilación de información se utilizaron 6 fuentes de las ya descritas anteriormente en la Tabla N°1. La información se clasificó en 4 temas que son: fisiología, síntesis, metabolismo y regulación del ATP (Tabla N°2).

Los autores más veces citados fueron Dunn y Grider (2021) aportando en el tema de fisiología, quienes publicaron información pertinente al funcionamiento del ATP como molécula (Tabla N°2).

Tabla N° 2 Autor y año de las publicaciones usadas en la recopilación de información del ATP clasificados según el aporte en "Fisiología", "Síntesis", "Metabolismo", "Regulación". El símbolo + muestra la cantidad de veces que fue citado cada autor siendo "+" bajo,

Autor	Año	Fisiología	Síntesis	Metabolismo	Regulación
Bonora, et al.	2012	+	+		+
Dunn y Grider	2021	+++			
Judge y Dodd	2020		++	+	
Meurer, et al.	2017			+	
Rajendran, et al.	2016			+	
Ross	2006	++			

Tanto la glucosa como los ácidos grasos pueden formar ATP. La síntesis del ATP (Imagen N°1) se inicia con la glucosa que pasa por tres fases que son la glucólisis, ciclo de Krebs y fosforilación oxidativa. Para los ácidos grasos la producción del ATP está relacionada con la beta oxidación y la formación de cuerpos cetónicos (Imagen N° 1).

Una vez formado el ATP la generación de energía a partir del mismo se da por un proceso de hidrólisis el cual se describe en la Imagen N° 2. Este proceso de hidrólisis va a separar al ATP en ADP, AMP y sus grupos fosfatos inorgánicos. La energía producida por el ATP va a ser usada en diferentes procesos en el sistema.

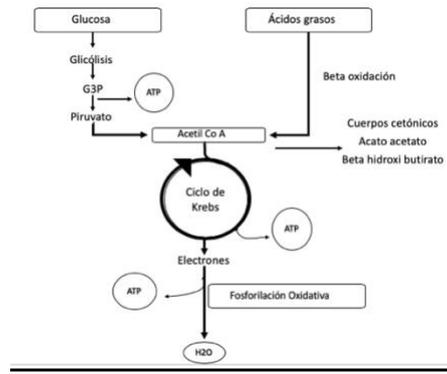


Imagen N° 1 Formación del ATP por medio de la glucosa y los ácidos grasos. Imagen generada a partir de la información de Borona, et al (2012)

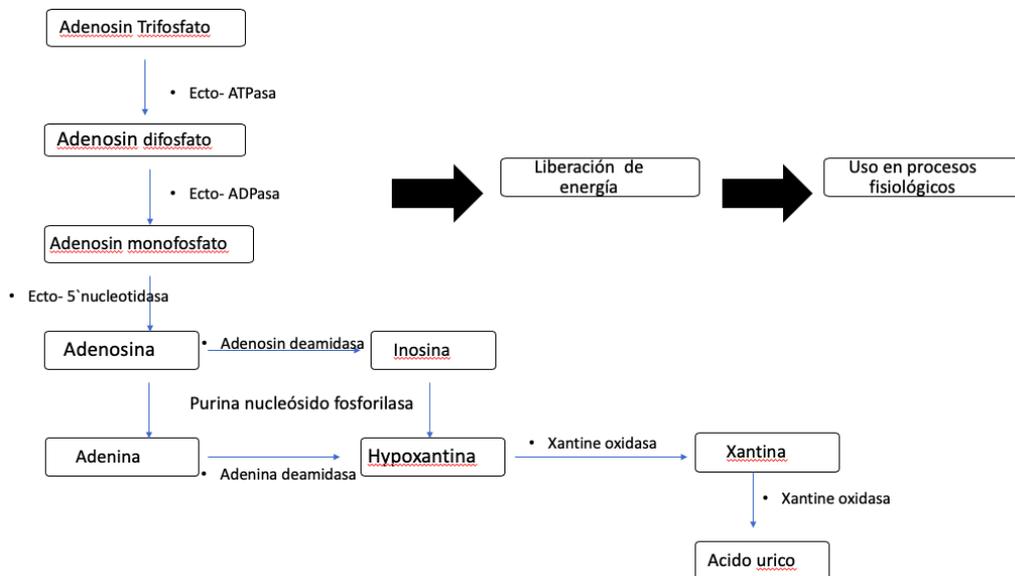


Imagen N° 2 Proceso de hidrólisis del ATP que muestra la liberación de energía. Elaboración: Daniela Granda

Fertilidad y Energía

En el caso de fertilidad y energía para la recopilación de la información, se utilizaron 16 fuentes que se ordenaron en los siguientes temas: el periodo de transición, actividad ovárica, reproducción y energía. En la Tabla N°3 se puede evidenciar los autores, el año de publicación y en qué aspecto aportó cada autor con información.

Tabla N° 3 Autor y año de las publicaciones utilizadas en la recopilación de información en relación a la fertilidad y la energía dividida en: “Periodo de transición”, “Actividad ovárica”, “Reproducción”, “Energía”.

Autores	Año	Periodo de transición	Actividad ovárica	Reproducción	Energía
Castro, et al.	2017	x			x
Cavero, et al.	2020		x	x	x
D`Occhio, M.	2018		x		
Giuliodori, M.	2012	x	x	x	
Hernández	2016		x	x	
Kawashima, et al.	2012		x	x	
Mann, et al.	2015	x			x
McNamara, J.	2013				x
Ntallerís, et al.	2017	x			x
Roche, et al .	2009	x			x
Teixiera.	2017		x		x
Wathes, et al.	2007	x		x	x
Roche, et al.	2018	x			
Miqueo, et al	2019		x		x
Matoba, et al	2012		x		x
Lean, et al	2013	x			x

Wathes, et al (2007), Giuliodori (2012) y Cavero (202) fueron los autores que aportaron en más campos que integraron actividad ovárica, reproducción y energía (Gráfico 3)

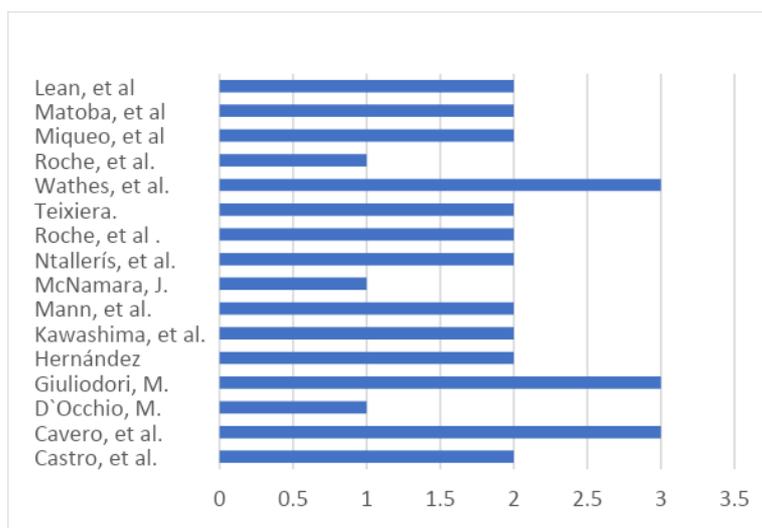


Gráfico 3 Autores y número de aportaciones en el documento.

La energía fue el campo con mayor cantidad de información con un 34% seguido del periodo de transición y de la actividad ovárica con un 25% y al final la reproducción con un 16% (Gráfico 4).

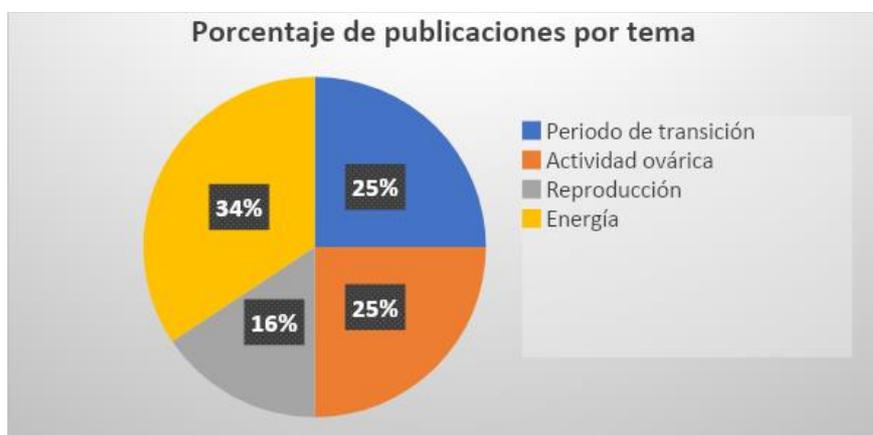


Gráfico 4 Porcentaje de publicaciones por tema.

Según los autores, la vaca lechera atraviesa por diferentes etapas fisiológicas y reproductivas (Imagen N° 3). La vaca empieza en su día 0 con el parto, a los 21 días entra en un estado conocido como el periodo de espera voluntario. A los 50-60 días entra a servicio y pasa a (la etapa- el periodo de) gestación. En el 7° (séptimo) mes de gestación se las considera

como vacas secas y vuelven al día 0, al parto. Entre el día - 21 y 21 es el periodo de transición donde encontramos el reto energético en la etapa reproductiva.



Imagen N° 3 Etapas fisiológicas y reproductivas en la vaca lechera (Hernández, J., 2016).

La reproducción está influenciada por el balance energético que se describe en dos estados: el balance energético positivo y el balance energético negativo (Tabla N° 4). El balance energético está representado tanto por metabolitos como los AGNE, BHB y la glucosa, como por hormonas como la leptina, IGF-1 y la insulina (Tabla N° 5).

Tabla N° 4 El balance energético, sus siglas y explicación

Balance energético	Siglas	Explicación	Autor
Positivo	BNP	Se cubren las demandas energéticas del cuerpo	(Giuliodori, M., 2012)
Negativo	BEN	No se logran cubrir las demandas energéticas del cuerpo	(Roche, et al., 2018)

Tabla N° 5 Balance energético, sus metabolitos y hormonas.

Balance Energético	Representación	Autor
Metabolito	<ul style="list-style-type: none"> • grasos no esteroïdales (AGNE) • el ácido beta-hidroxibutírico (BHB) • glucosa 	Roche, et al., 2018
Hormona	<ul style="list-style-type: none"> • Insulina • IGF-1 • leptina 	Roche, et al., 2018

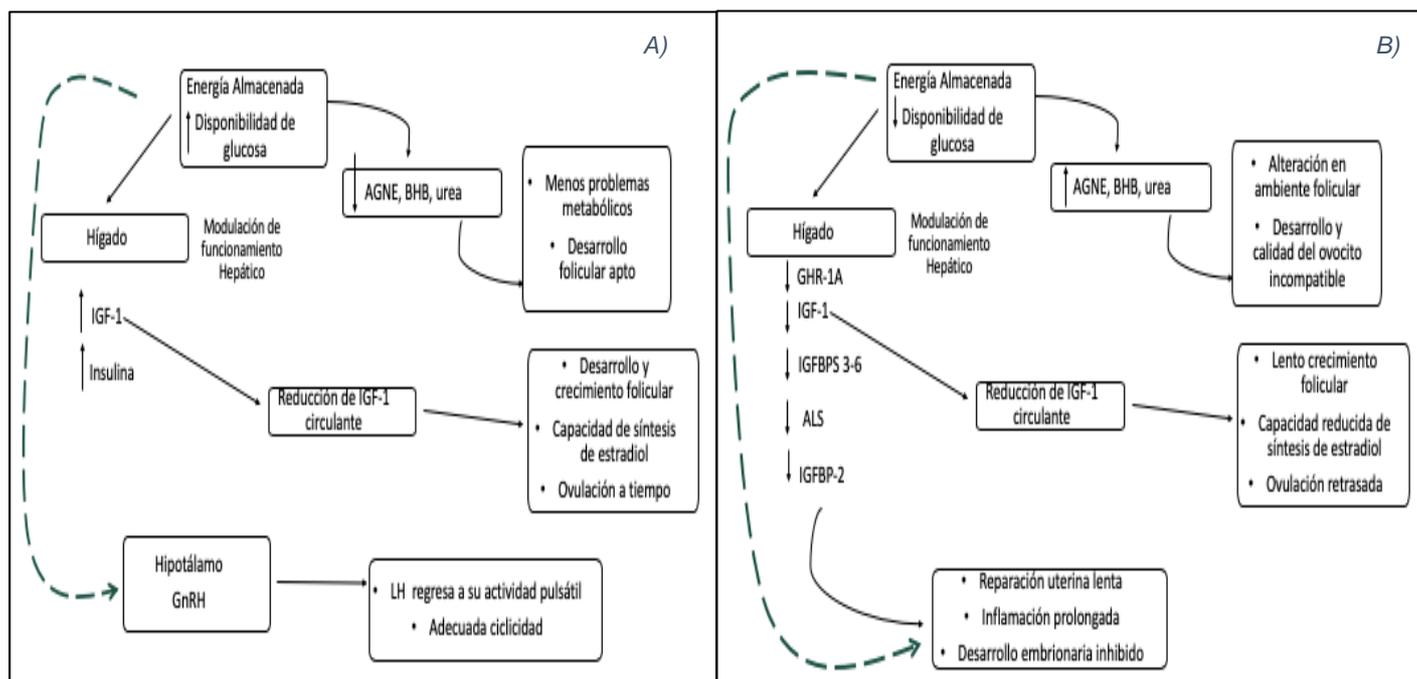


Imagen N° 4 Resumen de la relación de la energía y la fertilidad en el cuadro A) se observa cual es la relación de una alta energía en la fertilidad y los procesos y metabolitos relacionados con la misma. En el cuadro B) se describe la relación del balance negativo

Los procesos reproductivos y la energía están relacionados como se puede observar en la Imagen N°4. Esta imagen muestra un resumen de cómo la energía va a tener efectos favorables en la fertilidad cuando está en un balance positivo, así evitando problemas metabólicos, facilitando (dando) un desarrollo folicular apto, garantizando la ovulación a tiempo y una ciclicidad adecuada.

Balance energético negativo y sus efectos en el inicio de la actividad ovárica post parto

Para este tema se dividió la búsqueda de información en: balance energético, condición corporal, actividad ovárica y desarrollo folicular. En la Tabla N°4 se describen las fuentes utilizadas las cuales constan de: los autores, año de publicación y los diferentes campos en los que cada autor fue citado y la cantidad en la que el autor fue citado.

Wathes, et al (2007) fue el autor con mayor cantidad de citas y de aporte en este apartado, seguido de Roche, et al (2009).

Tabla N° 6 Autor y año de las publicaciones usadas en la recopilación de información en relación al balance energético negativo y sus efectos en el post parto clasificados según su aporte en: "Balance energético", "Condición corporal", "Actividad ovárica", "Desarr

Autores	Año	Balance energético	Condición Corporal	Actividad ovárica	Desarrollo folicular
Furken, et al.	2015	+		+	+
Giuliodori	2012	+		+	
Kawashima, et al.	2012	+		+	
Roche, et al.	2009	++	++	++	+
Roche, et al	2018	++		+	
Teixeira, et al.	2017			+	+
Wankhade, et al.	2017		+	+	
Wathes, et al.	2007	++	++		+++
Butler	2005			+	+
Butler	2005	+		+	
Song, et al	2021	+			
Krattenmacher, et al	2012		+	+	

La relación de la energía con la fertilidad que se generó en base a la información proporcionada por los autores en los que se basó este trabajo se representa en la Imagen N°4 . En el caso del balance energético negativo, se describen las reacciones adversas que se tiene en la fertilidad, los metabolitos y las hormonas que están involucradas, y cómo varían los niveles entre ellas.

DISCUSIÓN

El objetivo del presente trabajo fue el análisis de información de los efectos de la energía sobre la fertilidad en bovinos productores de leche. Para esto se dividió la búsqueda de información en tres temas: el ATP como fuente de energía , la energía en la fertilidad y el balance energético negativo y sus efectos en el inicio de la actividad ovárica post parto.

Dentro de las fuentes por parámetros de exclusión establecidos se eliminaron 10, dejando un total de 33 fuentes que se usaron como referencias en el trabajo (Tabla N°1). Con los resultados obtenidos se determina que hay disponibilidad de fuentes para establecer la relación que tiene la energía con la fertilidad en el área de la producción lechera de bovinos.

La mayor parte de la información se obtuvo de artículos de revistas científicas (Gráfico 1), lo que muestra el gran interés en la fertilidad y el seguir estudiando y generando información sobre este tema. Dando información relevante relacionada con estudios experimentales con la energía y su efecto en la fertilidad como Roche, et al 2018; Kawashima, et al 2007, Wathes, et al 2007. La tesis de Giuliadori 2012 aportó con información por su semejanza al presente trabajo en relación al estado de las vacas en el peri parto, el balance energético y el funcionamiento ovárico. El libro de Hernández 2016 dio las bases de la fisiología de la reproducción.

Es importante mencionar que la mayoría de los trabajos sistematizados en la investigación provinieron de revistas de alto impacto. Esta selección asegura la fiabilidad de las fuentes y su revisión por pares dándoles más relevancia y credibilidad.

Se establecieron tres temas para la relación de los efectos de la energía en la fertilidad ya que de esta manera se puede presentar la información con mayor claridad (Tabla N°1).

Siendo el tema central del trabajo, la fertilidad fue el tema con mayor cantidad de información (Grafico 2).

Para hablar de la relación de la fertilidad con la energía es importante empezar por las bases de la energía celular. Para esto se sistematizó la información referente al ATP (Tabla N°2).

El ATP o adenosín trifosfato es conocido como la moneda energética del cuerpo siendo una de las biomoléculas más importantes en la célula (Judge, A., 2020; Dunn, J., 2021), la cual, por su estructura, provee cuatro caras negativas lo que lo hace una molécula altamente cargada.

La liberación de energía por parte del ATP está relacionada con la hidrólisis del mismo (Imagen N°2). La hidrólisis del ATP provoca la separación del mismo en ADP (adenosin difosfato), AMP (adenosin monofosfato) y en sus grupos fosfatos. La energía liberada se mide generalmente con la energía libre de Gibbs. Esta energía es medida solo en parámetros estándar, para el ATP es de $-7,3 \text{ cal/mol}$ (Meurer, F., 2017; Ross, 2006). Como el cuerpo no tiene parámetros estándares, para procesos celulares, se recomienda el uso de la medición del cambio de energía libre, que se acerca a valores más realistas como lo describe Judge, et al (2020). Para el ATP la liberación de un fosfato va a generar -31 KJ/mol . Esta energía liberada es requerida para impulsar reacciones que requieran de energía en todo el organismo.

Para que el ATP pueda liberar energía tiene que formarse. La formación del mismo va a depender del estado metabólico en el que se encuentre la vaca, lo cual se puede dar por la glucosa como principal fuente de energía o por los lípidos (Imagen N°1). En el caso de la glucosa, esta va a pasar por el proceso de glucólisis, ciclo de Krebs y la fosforilación oxidativa (Bonora, M., 2012). En este proceso la glucosa se convierte en piruvato, que pasa a acetyl coenzima A (Acetyl CoA), que va a entrar al ciclo de Krebs para producir NADH. El NADH llega a la cadena respiratoria para generar un gradiente de protones en la pared de la mitocondria para la producción de ATP por la ATP sintasa (Bonora, M., 2012).

Estos procesos de síntesis de ATP han sido descritos anteriormente como lo es el ciclo de Krebs que fue descrito por Hans Krebs en 1940 y demostrado por Kennedy and Lehninger en 1949. Así mismo, la cadena respiratoria y la fosforilación oxidativa otorgaron el premio Nobel a Peter Mitchell en 1978 y en 1997 a Paul Boyer y John Walker, respectivamente.

La glucosa es la principal vía de formación de ATP, sin embargo, los ácidos grasos, por su capacidad de empaquetarse en TAG, pueden llegar a producir mayor cantidad de ATP (Judge y Dodd, 2020). Los ácidos grasos son la fuente principal de energía cuando hay periodos

largos de ayuno. Para transformarse en energía estos pasan por la beta oxidación y como parte de sus resultados está la producción de cetonas. Las principales cetonas son: el acetoacetato y el B-hidroxibutirato (Judge y Dodd, 2020). Las cetonas se encuentran en la sangre a niveles bajos. El uso de los ácidos grasos provoca una elevación de las cetonas en sangre bajando el pH en sangre, y en casos extremos, llegando a la muerte.

El balance del ATP es crucial para asegurar la cantidad del mismo en el cuerpo y de esta manera mantener los procesos metabólicos y la función celular de una forma adecuada.

En la reproducción, la fertilidad y la energía son temas de alto interés donde se concentra una gran cantidad de información (Gráfico 4). Autores como Teixeira, Cavero, et al, y Guliodori, han enfocado su información en este tema y han aportado la mayor cantidad de información en este trabajo.

Las vacas lecheras atraviesan por diferentes estados fisiológicos y reproductivos (Imagen N°3). Este es un esquema general de lo que se espera del transcurso de la reproducción en el bovino. Lo que se busca es que el parto tenga intervalos de 12 a 13 meses y que se logre la preñez dentro de los 90 a 120 días post-parto (Giuliodoro, 2012), siendo lo ideal un máximo de 90 días para considerar que la vaca tiene un potencial reproductivo (Teixeira, et al, 2017). Para el retorno al parto está implicado el reinicio del ciclo estral y la ovulación, también la normalidad de las estructuras y funciones del tracto reproductivo (Giuliodoro, 2012). Para que estos procesos de retorno a la actividad ovárica y de reparación de los tejidos se den es necesaria la energía.

En la reproducción, en el caso de la energía, se habla del balance energético. El balance energético está relacionado con la cantidad de energía consumida y la energía requerida para el mantenimiento. Si todas las demandas energéticas del cuerpo se logran cubrir, el balance energético es positivo, pero si no se logran cubrir hay un balance energético negativo (Tabla N°4).

Para conocer el balance energético se lo representa con metabolitos y hormonas. En la Tabla N°5 están descritos los metabolitos que son: ácidos grasos no esteroideos (AGNE), ácido beta-hidroxibutirico (BHB) y glucosa; y las hormonas metabólicas que son: la insulina, IGF-1 y la leptina. Estas hormonas y metabolitos van a variar de acuerdo al estado metabólico. En el caso del balance energético negativo este va a estar representado por una disminución de glucosa, insulina y IGF-1. Por otro lado, los niveles de AGNE y la producción de BHB van a estar aumentados (Roche, et al., 2018; Kawashima, et al., 2007; Wathes, et al., 2007). Esto

quiere decir que cuando no hay suficiente energía consumida el cuerpo va a aumentar los ácidos grasos para compensar la falta de glucosa y así poder generar energía en forma de ATP.

Entre el periodo de gestación y lactancia temprana, que conlleva las semanas 6-8, se presenta el periodo de transición. Este periodo es representado por una alta demanda energética y de nutrientes (Roche, et al., 2018). Lo que se busca es mantener una adecuada demanda de energía para evitar caer en un balance energético negativo.

Hay un debate sobre cuál es la mejor forma de mantener este ingreso de energía. Mann, et al. (2015), usando tres grupos experimentales con dietas de alta, media, y energía controlada, buscó identificar la mejor forma de manejar el periodo de transición. Los resultados mostraron que la alimentación controlada minimiza el balance negativo post- parto, la hipercetosis, y puede prevenir los eventos negativos relacionados con el aumento del ácido beta-hidroxibutirato. Al contrario, Natallaris, et al. (2017) mostró el impacto de las dietas de alta energía entre las razas Holstein y Rojo Sueco, entre las cuales se encontraron diferencias. El Rojo Sueco tuvo una mejor adaptación al inicio de la lactancia con la dieta de alta energía, resultando en una menor movilización de grasas, a diferencia de las vacas Holstein. Con las vacas Curraleiro Pé-Duro se mostró que, teniendo la misma alimentación, las vacas que superaron con mayor rapidez el periodo de transición no tenían una diferencia significativa en el balance energético (Teixiera, et al., 2017). Estas diferencias sugieren una influencia de la genética y el balance energético.

El reinicio de la actividad ovárica y el ciclo estral están controlados por la actividad hormonal de las gonadotropinas. La LH (hormona lutenizante) es esencial para el reinicio del ciclo estral y es necesario el regreso de su actividad pulsátil. Para esto se requiere de la GnRH quien va a controlar la pulsatilidad de la LH. La GnRh está regulada por el balance energético, principalmente por las concentraciones séricas de insulina, IGF-1 y leptina (Kawashama, et al., 2012; Hernández, et al., 2016). Se a visto que el reinicio de la ciclicidad coincide con un aumento en los niveles de insulina, IGF-1 y leptina (Hernández. 2016). El incremento de estas hormonas muestra cómo el mantener un buen balance energético va a mantener la ciclicidad, como también lo demostró Ceviero, et al (2021). El estatus energético influencia tanto positiva o negativamente (Imagen N°4).

El balance energético negativo es otro componente fundamental en el reinicio de la ciclicidad en los bovinos, su actividad ovárica, y la condición corporal (Tabla N°6). Es fundamental que se logre manejar esta exigencia energética del periodo de transición para

evitar que el balance energético negativo sea muy prolongado y que cause problemas en la fertilidad (Wankhade, et al., 2017).

Para compensar la demanda de energía requerida en este periodo, la vaca recurre a la movilización de grasas. Esta movilización se da en forma de ácidos grasos no esteroidales (AGNE) y la acumulación de ácido beta-hidroxibutírico (Roche, et al., 2015). La movilización de tejido adiposo se ve presente en los primeros 10-12 días después del parto, valor que es mencionado tanto en Roche, et al (2015) como en Wankhade, et al. (2017). Al aumentar la cantidad de ácidos grasos, el balance energético negativo reduce la cantidad de IGF-1, insulina y glucosa en plasma (Kawashuma, et al., 2012; Giuliodori, 2012); al contrario de lo que pasa con un balance energético positivo donde aumentan los niveles de insulina e IGF-1.

Al mantenerse el balance energético negativo, los valores de las cetonas y las concentraciones de los TAG van a coincidir con el reinicio de la actividad ovárica, el desarrollo de los folículos, la involución uterina y la remodelación de las estructuras uterinas. El aumento de colesterol y la producción de estradiol retrasa la ciclicidad ovárica por la retroalimentación negativa que ocurre con la LH (Texiera, et al., 2017). La LH también se ve afectada por la GnRH. La GnRH está controlada por el balance energético; y un balance energético negativo suprime la liberación de la misma y por consiguiente la liberación de la LH (Giuliodori, 2012), afectando así el reinicio de la actividad ovárica.

El desarrollo folicular también se ve afectado ya que los folículos que deben ovular al comienzo de período de servicio, pasan por sus primeras etapas del desarrollo durante el balance energético negativo (Wathes, et al., 2007). Los AGNE tienen un efecto tóxico en la célula de la granulosa lo que provoca la disminución de la proliferación de células y la génesis de esteroides (Wathes, et al. 2007). Furken, et al (2015) reveló que en concentraciones de 0,4 mmol/L de AGNE ante partum tiene un mayor riesgo de no tener actividad ovárica post parto y una cetosis subclínica. Si las concentraciones son de 1,1mmol/L en la primera semana post parto tiene una mayor prevalencia de cetosis clínica. Estos resultados son también respaldados por Kawashima, et al.(2007). Esto sustenta el hecho de que los AGNE tienen un efecto negativo para la reproducción de las vacas.

Al haber un descenso en la insulina y la IGF-1 también va a afectar al desarrollo folicular. Se detectó que en los folículos de los bovinos hay receptores para IGF-1 y de insulina. La insulina y la IGF-1 estimulan la proliferación y la esteroidogénesis la cual tiene un efecto en la ovulación. La IGF-1 circulante y la IGF-1 derivada del hígado son un factor para la regulación de la maduración de los folículos dominantes en la primera oleada post parto

(Kawashima, et al. 2012). La baja concentración de insulina es responsable del descenso de la producción de la IGF-1 en el hígado lo que reduce la respuesta del ovario a las gonadotropinas (Butler, et al., 2005; Wathes, et al., 2007).

Esta relación entre el balance energético tanto positivo como negativo se logró resumir en la Imagen N° 4, en la que se compara los mismos y los efectos que tienen en la fertilidad.

CONCLUSIONES

Se logró demostrar la hipótesis y responder a la pregunta de investigación planteada en este trabajo. La información obtenida a partir del análisis sistemático, permite establecer los mecanismos por los cuales el ATP o energía afectan la fertilidad en bovinos productores de leche; siendo esta una relación favorable, disminuyendo problemas metabólicos relacionados con la energía, manteniendo un desarrollo folicular apto, evitando el retraso en la ovulación, y manteniendo una ciclicidad óptima. Hay que tomar en cuenta que la fertilidad no solo está influenciada por la energía, si no que por diversos factores como la genética.

Esta revisión se centró en la fertilidad y la energía en el ganado lechero y en el periodo de post parto. Se recomienda para futuras investigaciones relacionadas a este tema establecer un periodo de tiempo más corto debido a la cantidad de información disponible y la rápida actualización de información relacionada a la fertilidad. A su vez, establecer parámetros de búsqueda específicos y delimitados para tener resultados más acordes al tipo de búsqueda que se desea realizar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berry, D., Friggens, N., Lucy, M., & Roche, J. (2016). Milk Production and Fertility in Cattle. *Annual Review of Animal Biosciences*, 4(1), 269–290.
<https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021815-111406>
- Butler, W., & Smith, R. (1989). Interrelationships Between Energy Balance and Postpartum Reproductive Function in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 72(3), 767–783.
[https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(89\)79169-4](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(89)79169-4)
- Bach, À. (2019). Effects of nutrition and genetics on fertility in dairy cows. *Reproduction, Fertility and Development*, 31(1), 40. doi:10.1071/rd18364
- Balarezo, L., García, J., Hernández, M., Garcia, R. (2016). Metabolic and Reproductive state of Holstein cattle in the Carchi region, Ecuador. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 50(3),381-392
- Castro, N., Kawashima, C., van Dorland, H., Morel, I., Miyamoto, A., & Bruckmaier, R. (2012). Metabolic and energy status during the dry period is crucial for the resumption of ovarian activity postpartum in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(10), 5804–5812. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5666>
- Civiero, M., Cabezas-Garcia, E., Ribeiro-Filho, H., Gordon, A., & Ferris, C. (2021). Relationships between energy balance during early lactation and cow performance, blood metabolites, and fertility: A meta-analysis of individual cow data. *Journal of Dairy Science*, 104(6), 7233–7251. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19607>
- D’Occhio, M. J., Baruselli, P. S., & Campanile, G. (2019). Influence of nutrition, body condition, and metabolic status on reproduction in female beef cattle: A review. *Theriogenology*, 125, 277–284.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.11.010>
- Dunn J, Grider MH. Physiology, Adenosine Triphosphate. In: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL); 2021. PMID: 31985968.

- Esposito, G., Irons, P. C., Webb, E. C., & Chapwanya, A. (2014). Interactions between negative energy balance, metabolic diseases, uterine health and immune response in transition dairy cows. *Animal Reproduction Science*, *144*(3–4), 60–71.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2013.11.007>
- Giuliodori, M. J. (2012). El periparto en las vacas lecheras: balance energético, actividad ovárica, salud uterina y eficiencia reproductiva. *Universidad Nacional de la Plata*.
<https://doi.org/10.35537/10915/18105>
- Hernández, J. (2016). *Fisiología Clínica de la Reproducción de Bovinos Lecheros* (1 ed., Vol. 1). Universidad Nacional Autónoma de México.
- KAWASHIMA, C., MATSUI, M., SHIMIZU, T., KIDA, K., & MIYAMOTO, A. (2012). Nutritional Factors That Regulate Ovulation of the Dominant Follicle During the First Follicular Wave Postpartum in High-producing Dairy Cows. *Journal of Reproduction and Development*, *58*(1), 10–16. <https://doi.org/10.1262/jrd.11-139n>
- Krattenmacher, N., Thaller, G., & Tetens, J. (2019). Analysis of the genetic architecture of energy balance and its major determinants dry matter intake and energy-corrected milk yield in primiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, *102*(4), 3241–3253. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15480>
- Lean, I. J., van Saun, R., & DeGaris, P. J. (2013). Energy and Protein Nutrition Management of Transition Dairy Cows. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, *29*(2), 337–366. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2013.03.005>
- León, R., Bonifaz, N., Guitiérrez, F. (2018). Pastos y Forrajes del Ecuador, Siembra y producción de pasturas. Editorial Universitaria Abya-Yala
- Mann, S., Yepes, F., Overton, T., Wakshlag, J., Lock, A., Ryan, C., & Nydam, D. (2015). Dry period plane of energy: Effects on feed intake, energy balance, milk production, and composition in transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *98*(5), 3366–3382. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9024>
- Matoba, S., O'Hara, L., Carter, F., Kelly, A., Fair, T., Rizos, D., & Lonergan, P. (2012). The association between metabolic parameters and oocyte quality early and late

- postpartum in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(3), 1257–1266.
<https://doi.org/10.3168/jds.2011-4649>
- McNamara, J. P., & Shields, S. L. (2013). Reproduction during lactation of dairy cattle: Integrating nutritional aspects of reproductive control in a systems research approach. *Animal Frontiers*, 3(4), 76–83. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0037>
- Meurer, F., Do, H. T., Sadowski, G., & Held, C. (2017). Standard Gibbs energy of metabolic reactions: II. Glucose-6-phosphatase reaction and ATP hydrolysis. *Biophysical Chemistry*, 223, 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.bpc.2017.02.005>
- Miqueo, E., Chiarle, A., Giuliadori, M., & Relling, A. (2019). Association between prepartum metabolic status and resumption of postpartum ovulation in dairy cows. *Domestic Animal Endocrinology*, 69, 62–67.
<https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2019.04.005>
- MITCHELL, P. (1961). Coupling of Phosphorylation to Electron and Hydrogen Transfer by a Chemi-Osmotic type of Mechanism. *Nature*, 191(4784), 144–148.
<https://doi.org/10.1038/191144a0>
- Montiel, F., Galina, C. S., Lamothe, C., & Castañeda, O. (2007). Effect of a feed supplementation during the mid-lactating period on body condition, milk yield, metabolic profile and pregnancy rate of grazing dual-purpose cows in the Mexican humid tropic. *Archivos de medicina veterinaria*, 39(3). <https://doi.org/10.4067/s0301-732x2007000300003>
- Nakao, T., Hoedemaker, M., & Furken, C. (2015). Energy balance in transition cows and its association with health, reproduction and milk production. *Tierärztliche Praxis Ausgabe G: Großtiere / Nutztiere*, 43(06), 341–349. <https://doi.org/10.15653/tpg-150371>
- Ntallaris, T., Humblot, P., Båge, R., Sjunnesson, Y., Dupont, J., & Berglund, B. (2017a). Effect of energy balance profiles on metabolic and reproductive response in Holstein and Swedish Red cows. *Theriogenology*, 90, 276–283.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.12.012>

- Ntallaris, T., Humblot, P., Båge, R., Sjunnesson, Y., Dupont, J., & Berglund, B. (2017b). Effect of energy balance profiles on metabolic and reproductive response in Holstein and Swedish Red cows. *Theriogenology*, *90*, 276–283.
<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.12.012>
- Pryce, J. E., Royal, M. D., Garnsworthy, P. C., & Mao, I. L. (2004). Fertility in the high-producing dairy cow. *Livestock Production Science*, *86*(1-3), 125–135.
[doi:10.1016/s0301-6226\(03\)00145-3](https://doi.org/10.1016/s0301-6226(03)00145-3)
- Rajendran, M., Dane, E., Conley, J., & Tantama, M. (2016). Imaging Adenosine Triphosphate (ATP). *The Biological Bulletin*, *231*(1), 73–84.
<https://doi.org/10.1086/689592>
- Ramaiah, A., Hathaway, J. A., & Atkinson, D. E. (1964). Adenylate as a Metabolic Regulator. *Journal of Biological Chemistry*, *239*(11), 3619–3622.
[https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)91181-6](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)91181-6)
- Rigoulet, M., Bouchez, C., Paumard, P., Ransac, S., Cuvellier, S., Duvezin-Caubet, S., Mazat, J., & Devin, A. (2020a). Cell energy metabolism: An update. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, *1861*(11), 148276.
<https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2020.148276>
- Rigoulet, M., Bouchez, C., Paumard, P., Ransac, S., Cuvellier, S., Duvezin-Caubet, S., Mazat, J., & Devin, A. (2020b). Cell energy metabolism: An update. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, *1861*(11), 148276.
<https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2020.148276>
- Roche, J., Friggens, N., Kay, J., Fisher, M., Stafford, K., & Berry, D. (2009). Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*, *92*(12), 5769–5801.
<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2431>
- Roche, J., Meier, S., Heiser, A., Mitchell, M., Walker, C., Crookenden, M., Riboni, M., Loor, J., & Kay, J. (2015). Effects of precalving body condition score and prepartum feeding level on production, reproduction, and health parameters in pasture-based

- transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(10), 7164–7182.
<https://doi.org/10.3168/jds.2014-9269>
- Roche, J. R., Burke, C. R., Crookenden, M. A., Heiser, A., Looor, J. L., Meier, S., Mitchell, M. D., Phyn, C. V. C., & Turner, S. A. (2018). Fertility and the transition dairy cow. *Reproduction, Fertility and Development*, 30(1), 85.
<https://doi.org/10.1071/rd17412>
- Ross, J. (2006). Energy Transfer from Adenosine Triphosphate. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110(13), 6987–6990. <https://doi.org/10.1021/jp0556862>
- Song, Y., Wang, Z., Zhao, C., Bai, Y., Xia, C., & Xu, C. (2021). Effect of negative energy balance on plasma metabolites, minerals, hormones, cytokines and ovarian follicular growth rate in Holstein dairy cows. *Journal of Veterinary Research*, 65(3), 361–368.
<https://doi.org/10.2478/jvetres-2021-0035>
- Teixeira, H. C. A., Barbosa, E. A., Souto, P. L. G., Mariante, A. D. S., & Ramos, A. F. (2017). Postpartum hormone and energy profiles and their influence on the resumption of ovarian cyclicity in Curraleiro Pé-Duro cows. *Theriogenology*, 95, 133–140. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.03.013>
- Wankhade, P. R., Manimaran, A., Kumaresan, A., Jeyakumar, S., Ramesha, K. P., Sejian, V., Rajendran, D., & Varghese, M. R. (2017). Metabolic and immunological changes in transition dairy cows: A review. *Veterinary World*, 10(11), 1367–1377.
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1367-1377>
- Wathes, D., Fenwick, M., Cheng, Z., Bourne, N., Llewellyn, S., Morris, D., Kenny, D., Murphy, J., & Fitzpatrick, R. (2007). Influence of negative energy balance on cyclicity and fertility in the high producing dairy cow. *Theriogenology*, 68, S232-S241. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.04.006>