

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFECTO DEL AJUSTE DE SÓLIDOS TOTALES DE LA LECHE AL 15% SOBRE EL
CRECIMIENTO DE BECERRAS HOLSTEIN EN LA COMARCA LAGUNERA Y SU
DESARROLLO DE LA GLÁNDULA MAMARIA.

Tesis

Que presenta EVARISTO CARRILLO MORENO

como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

Torreón, Coahuila

Agosto 2020

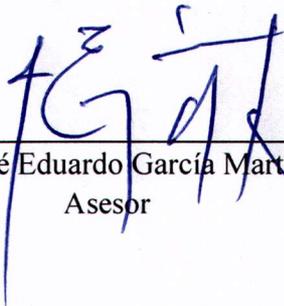
EFFECTO DEL AJUSTE DE SÓLIDOS TOTALES DE LA LECHE AL 15% SOBRE EL
CRECIMIENTO DE BECERRAS HOLSTEIN EN LA COMARCA LAGUNERA Y SU
DESARROLLO DE LA GLÁNDULA MAMARIA

Tesis

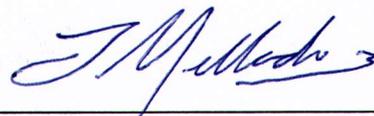
Elaborada por EVARISTO CARRILLO MORENO como requisito parcial para obtener el
grado de Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria con la supervisión y aprobación
del Comité de Asesoría



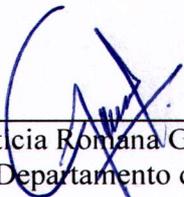
Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque
Asesor Principal



Dr. José Eduardo García Martínez
Asesor



Dr. Jesús Alberto Mellado Bosque
Asesor



Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán
Jefa de Departamento de Postgrado



Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente
Subdirector de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

En general al programa de posgrado en Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por todo el apoyo recibido por parte de maestros y personal de dicha institución y contribuir a la formación académica y científica de los alumnos.

En especial a mis asesores el Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque, el Dr. José Eduardo García Martínez y el Dr. Jesús Alberto Mellado Bosque por su gran apoyo y respaldo para el desarrollo de esta investigación y el proceso de mi maestría.

A mis compañeros de maestría que me apoyaron en este proceso.

Una mención muy especial de agradecimiento a la familia García Lespron y al Ing. Sergio Reyes propietarios de la P.P. La Victoria por todo el apoyo recibido, primeramente, por el tiempo que se le dedico a este proyecto y por apoyar y autorizar la idea de investigación que se tenía, por permitirme utilizar las instalaciones y becerras del establo y por el financiamiento para el desarrollo de dicha investigación al igual que el apoyo recibido por parte del personal del establo.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

DR. EVARISTO CARRILLO CASTELLANOS

ING. MA. DEL SOCORRO MORENO NAVA

Por todo su apoyo, comprensión, cariño y por los grandes consejos que recibí por parte de ellos y por haberme guiado en este camino, y siempre darme el mejor ejemplo y en especial por el gran apoyo recibido y el tiempo invertido en esta etapa de mi vida, como ha sido en cada una de las anteriores y gracias a ello pudimos concluir con esta meta que nos planteamos.

A MIS HERMANOS Y SOBRINA

DRA. DALIA IVETTE CARRILLO MORENO

ING. JESÚS MANUEL CARRILLO MORENO

ITZEL RODRÍGUEZ CARRILLO

A Chuy por su gran apoyo no solo familiar en todo momento, si no técnico y manual durante el desarrollo del trabajo de campo, a Dalia también por su gran apoyo y por ser una persona con la que podemos contar en todo momento, además por el apoyo durante la redacción y revisión de todo el proceso de investigación y a Itzelita que también ayudo en el trabajo de campo y por alegrarnos los días con su presencia.

A MI ESPOSA

MVZ. ELIZABETH PÉREZ REBOLLOSO

A Elizabeth por su gran apoyo incondicional en todo momento y creer siempre en mi e impulsarme a alcanzar mis metas y por estar siempre ahí pendiente y participe todo el tiempo invertido en este proyecto, que iniciamos, desarrollamos y llevamos a cabo juntos, por aguantar todas las regañadas, desveladas y momentos estresantes de este proceso y por seguir aquí en mi vida.

A TODA MI FAMILIA

CARRILLO CASTELLANOS

MORENO NAVA

PÉREZ REBOLLOSO

Por su apoyo y por alentarme a superarme siempre y por su gran confianza que me tienen.

Índice

1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. OBJETIVO	4
5. HIPÓTESIS	4
6. REVISIÓN DE LITERATURA	5
6.1. Origen y domesticación del ganado bovino	5
6.2. Importancia de la industria lechera internacional y nacional	8
6.3. Anatomía de la glándula mamaria	20
6.3.1. Estructura de soporte.....	23
6.3.2. Anatomía microscópica de la ubre.....	24
6.3.2.1. Tejidos glandular y conectivo.....	24
6.3.3. Teta.....	27
6.3.4. Canal de la teta.....	27
6.3.5. Suministro arterial.....	28
6.3.6. Drenaje venoso.....	30
6.3.7. Sistema linfático.....	31
6.3.8. Sistema nervioso.....	32
6.4. Sistema endocrino	33
6.5. Sistemas de alimentación de becerras y su influencia sobre el desarrollo	35
6.5.1. Inicios de los sistemas de alimentación.....	35
6.6. Programas de alimentación de becerras	38
6.6.1. Sistemas de alimentación convencional.....	38
6.6.2. Sistemas de alimentación aumentada o enriquecida.....	39
6.6.3. Sistemas de alimentación con enfoque en desarrollo de glándula mamaria.....	43
7. MATERIALES Y MÉTODOS	49
7.1. Localización.....	49
7.2. Manejo de animales.....	49
7.3. Ajuste diario de sólidos de la leche.....	49
7.4. Plan de alimentación predestete.....	49
7.5. Plan de alimentación postdestete.....	49
7.6. Recolección de muestras.....	50

7.6.1.	Peso y altura	50
7.6.2.	Consumo de concentrado	50
7.6.3.	Muestras de sangre	50
7.6.4.	Medición de la glándula mamaria	50
7.7.	Tratamientos postdestete	50
7.8.	Análisis estadístico.....	51
7.9.	Representación esquemática del diseño experimental	51
8.	RESULTADOS.....	52
8.1.	Etapa predestete	52
8.1.1.	Desarrollo corporal de las becerras	52
8.1.2.	Ganancia diaria de peso (GDP).....	53
8.1.3.	Consumo de materia seca	55
8.1.4.	Glándula mamaria	57
8.2.	Etapa postdestete.....	58
8.2.1.	Peso corporal	58
8.2.2.	Glándula mamaria	60
9.	DISCUSIÓN.....	63
10.	CONCLUSIÓN.....	66
11.	REFERENCIAS	67

Lista de figuras

Figura 1. Consumo per cápita de productos lácteos procesados y frescos, en sólidos de leche. Comparación 2018 vs expectativa 2028 (FAO, 2019b).	11
Figura 2. Cambios anuales y rendimientos en los inventarios de hatos lecheros a nivel mundial entre 2018 y 2028 (FAO, 2019b).	11
Figura 3. Producción y rendimiento de leche en países y regiones seleccionados. Promedio 2016-2018 vs proyección 2028 y rendimiento total por animal (FAO, 2019b).	12
Figura 4. Número de vacas expresada en porcentaje por año del tamaño de las granjas, de Estados Unidos, Unión Europea y Brasil (IFCN, 2019).....	12
Figura 5. Precios internacionales de productos lácteos, medidos por el Índice de precios de productos lácteos de la FAO, leche entera en polvo (WMP) leche descremada en polvo (SMP) (FAO, 2020).	13
Figura 6. Población de ganado bovino a nivel mundial y su incremento anual (FAO-STAT. 2020).	14
Figura 7. A) representación de la población de bovinos los últimos 57 años, de países seleccionados expresada en porcentaje por año. B) porcentaje que representan estos países seleccionados del total mundial y su variación en porcentaje por década (FAO-STAT. 2020).	15
Figura 8. Representación de la producción mundial de leche de 1961 a 2018 y su incremento anual (FAO-STAT. 2020).....	16
Figura 9. Representación de la producción mundial de leche de 2008 a 2018 y los principales países productores y su porcentaje de producción en relación al total mundial (FAO-STAT. 2020).....	17
Figura 10. Representación de la producción de leche en México de 1962 a 2018 y su incremento anual (FAO-STAT. 2020).....	18
Figura 11. Representación de la producción de leche en México y la aportación de la Comarca Lagunera (SIAP, 2020a).....	18
Figura 12. A) Representación de la producción de leche, de las tres zonas más importantes a nivel nacional de los últimos 16 años, expresada en porcentaje por año. B) Porcentaje que representan estas zonas en relación al nacional y su variación en porcentaje por cada 5 años (SIAP, 2020a).	19
Figura 13. Representación esquemática de la glándula mamaria bovina.	22
Figura 14. A) Representación esquemática de la sección transversal de los cuatro cuartos de la ubre que ilustra la anatomía macroscópica. B) Representación de la sección longitudinal de la ubre de la vaca, ilustrando la estructura del aparato suspensorio (Nickerson y Akers, 2011).	23
Figura 15. Representación esquemática aparato suspensorio de la vaca.....	24
Figura 16. (a) Diagrama de un cuarto mamario que ilustra el tejido glandular (los alvéolos están fuera de escala), los conductos, las cisternas de glándulas y pezones, y el canal de los pezones. (b) Sección transversal esquemática de un alveolo que ilustra las células epiteliales mamarias, las células mioepiteliales y la red capilar.	25
Figura 17. Diagrama de una célula epitelial alveolar típica de la glándula mamaria bovina lactante.	26

Figura 18. Diagramas de secciones longitudinales de la teta que destacan la queratina del canal (a) y el músculo del esfínter (b).....	28
Figura 19. Diagrama de las arterias que suministran sangre a la ubre.	29
Figura 20. Diagrama de las venas que drenan la sangre de la ubre.....	30
Figura 21. Diagrama del sistema linfático mamario. (1) vena cava; (2) conducto torácico; (3) cisterna chyli; (4) lácteos; (5) tronco lumbar; (6) ganglio ilíaco interno; (7) nódulo inguinal; (8) ganglio ilíaco externo; (9) ganglio prefemoral; (10) ganglio linfático supramamario; (11) linfáticos mamarios.....	31
Figura 22. Diagrama de los nervios que irrigan la ubre.	33
Figura 23. Representación esquemática del diseño experimental, plan de alimentación predestete grupo de ajuste de sólidos (AA) y grupo sin ajuste (N), ambos grupos se dividen 4 subgrupos cada uno para sus tratamientos postdestete y sus días de evaluación.	51
Figura 24. Representación gráfica del peso corporal de las becerras durante la etapa predestete, línea de tendencia y diferencia estadística.	52
Figura 25. Representación gráfica de la correlación que existe entre el consumo total (leche e iniciador) y la ganancia diaria de peso. Los puntos verdes representan las becerras del grupo AA mientras que los puntos rojos al grupo N. La R^2 de esta correlación fue de 0.9988.	53
Figura 26. Representación gráfica que muestra los programas de alimentación de ambos grupos en materia seca y los incrementos y decrementos a lo largo de la etapa de predestete línea verde con marcadores (grupo AA) línea naranja (grupo N). Los círculos naranjas sobre la línea del plan de alimentación del grupo N (esperado), muestran la variabilidad diaria en los sólidos de la leche. Los marcadores en la parte inferior de la gráfica muestran el comportamiento del consumo de iniciador en materia seca por día. Las líneas punteadas en el extremo superior de grafico muestran el consumo total de materia seca (leche más concentrado) para ambos grupos.	54
Figura 27. Representación gráfica de la GDP, grupo AA color verde y color rojo para el grupo N, los puntos representan la dispersión de los datos en cada evaluación, los marcadores (rombo verde y triangulo rojo) representan las medias para cada grupo para todas las evaluaciones.....	55
Figura 28. Representación gráfica de la correlación que existe entre la ganancia diaria de peso y el desarrollo de la glándula mamaria. Los puntos verdes representan las becerras del grupo AA mientras que los puntos rojos al grupo N. La R^2 de esta correlación fue de 0.86.	56
Figura 29. Representación gráfica de la correlación que existe entre el consumo de sólidos totales y el desarrollo de la glándula mamaria. Los puntos verdes representan las becerras del grupo AA mientras que los puntos rojos al grupo N. La R^2 de esta correlación fue de 1.	57
Figura 30. Representación gráfica del efecto de la alimentación sobre el desarrollo de glándula mamaria ($P < 0.001$), el grupo AA ($x 8.78 \text{ cm}^2$) representado como nutrición 1 (color verde) contra el grupo N ($x 4.98 \text{ cm}^2$) representado como nutrición 2 (color rojo).	58
Figura 31. Representación gráfica del peso corporal de las becerras a los 90 días durante la etapa postdestete, línea de tendencia y diferencia estadística.	59

Figura 32. Representación gráfica de la ganancia diaria de peso de las becerras a los 90 días durante la etapa postdestete, analizada por grupos de tratamiento postdestete (parte izquierda) y por grupos predestete (parte derecha) para evaluar el efecto de la alimentación previa. ..	60
Figura 33. Representación gráfica del desarrollo de la glándula mamaria de las becerras de los 60 a 90 días durante la etapa postdestete, analizada por grupos de tratamiento postdestete (parte izquierda) y por grupos predestete (parte derecha) para evaluar el efecto de la alimentación previa.....	61
Figura 34. Representación gráfica del desarrollo de la glándula mamaria de las becerras a los 90 días durante la etapa postdestete, analizada por grupos de tratamiento postdestete (parte izquierda) y por grupos predestete (parte derecha) para evaluar el efecto de la alimentación previa.....	62

Lista de cuadros

Cuadro 1. Variación en la ubicación, número y aberturas de las tetas de las glándulas mamarias de algunas especies comunes.	21
Cuadro 2. Principales hormonas que afectan el desarrollo o la función de la glándula mamaria adaptado.	34
Cuadro 3. Principales enfoques y modificaciones al programa tradicional de alimentación de becerras.	433
Cuadro 4. Conformación de los tratamientos postdestete para los grupos de promotores de crecimiento y controles.	50

1. RESUMEN

EFFECTO DEL AJUSTE DE SÓLIDOS TOTALES DE LA LECHE AL 15% SOBRE EL CRECIMIENTO DE BECERRAS HOLSTEIN EN LA COMARCA LAGUNERA Y SU DESARROLLO DE LA GLÁNDULA MAMARIA.

Evaristo Carrillo Moreno
Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto que tiene modificar un sistema de alimentación convencional (leche entera con 11% ST) mediante el ajuste de sólidos totales (ST) en la leche al 15%, sobre la ingesta de alimento, el desarrollo de las becerras Holstein (peso, altura y ganancia diaria de peso [GDP]) y el desarrollo de la glándula mamaria en la etapa predestete (60 días). Además, este estudio evaluó los efectos de dos promotores de crecimiento, el clorhidrato de zilpaterol (Z) y un implante estrogénico (I) sobre el desarrollo de las becerras (peso, altura y GDP) y el desarrollo de la glándula mamaria en la etapa postdestete (90 días). En la primera etapa del estudio 78 becerras Holstein hembras fueron divididas al azar en dos grupos (n = 39 /grupo) cuya diferencia fue el programa de alimentación grupo AA (15% ST) o grupo N (11% ST), ambos grupos recibieron agua y concentrado iniciador (21% PC) ad libitum. La primera etapa concluyó al momento del destete con un aumento del **11%** (P<0.01) en peso corporal para el grupo AA (82.52 kg; P <0.01) contra el grupo N (74.06 kg). Al evaluar el desarrollo de la glándula mamaria, con equipo de ultrasonido, fue evidente y estadísticamente significativo (P <0.001) el mayor desarrollo que presentaba el grupo AA (8.78 cm²) contra el grupo N (4.98 cm²), lo que representa un **76%** más de desarrollo del parénquima mamario. Para la segunda etapa del estudio los dos grupos principales se dividieron aleatoriamente en 4 grupos cada uno, un grupo no llevo tratamiento postdestete (N), uno fue tratado con clorhidrato de zilpaterol (Z), otro con implante estrogénico (I) y otro con ambos (IZ) esto para ambos los dos grupos (15% ST o 11% ST), al finalizar la etapa postdestete el peso fue **7.43%** mayor en el grupo AA (111.43 kg) en comparación con el grupo N (103.72 kg) y el desarrollo de la glándula mamaria total a 90 días, el grupo (IZ) alimentado previamente al 15% ST, fue el que mostró el mejor desempeño siendo **52.16%** superior que la media de todas las becerras. Se concluye que modificando un programa de alimentación convencional mediante el ajuste al 15% ST se incrementa marcadamente la GDP, el peso y el desarrollo de la glándula mamaria y no se interfiere con el consumo de iniciador en la etapa predestete de las becerras.

Palabras Clave: Nutrición de becerras, sólidos totales, glándula mamaria.

2. ABSTRACT

EFFECT OF THE ADJUSTMENT OF TOTAL MILK SOLIDS TO 15% ON THE GROWTH OF HOLSTEIN CALVES IN THE LAGUNERA REGION AND THEIR DEVELOPMENT OF THE MAMMARY GLAND.

Evaristo Carrillo Moreno
Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Dr. Miguel Ángel Mellado Bosque

The objective of the present study was to evaluate the effect of modifying a conventional feeding system (whole milk with 11% TS) by adjusting total solids (ST) in milk at 15%, on intake starter, the development of Holstein calves (weight, height and daily weight gain [ADG]) and the development of the mammary gland in the pre-weaning stage (60 days). Furthermore, this study evaluated the effects of two growth promoters, zilpaterol hydrochloride (Z) and an estrogenic implant (I) on the development of calves (weight, height and ADG) and the development of the mammary gland in the stage after weaning (90 days). In the first stage of the study 78 female Holstein calves were randomly divided into two groups (n = 39 / group) whose difference was the feeding program, group AA (15% TS) or group N (11% TS), both groups received water and starter concentrate (21% PC) ad libitum. The first stage concluded at the time of weaning with an **11%** (P <0.01) increase in body weight for the AA group (82.52 kg; P <0.01) against the N group (74.06 kg). When evaluating the development of the mammary gland, with ultrasound equipment, it was evident and statistically significant (P <0.001) the greater development that the AA group (8.78 cm²) presented against the N group (4.98 cm²), which represents a **76 %** more development of the mammary gland parenchyma (PAR). For the second stage of the study, the two main groups were randomly divided into 4 groups each, one group had no post-weaning treatment (N), one was treated with zilpaterol hydrochloride (Z), the other with an estrogenic implant (I) and the other with both (IZ) this for both the two groups (15% ST or 11% ST), at the end of the post-weaning stage the weight was **7.43%** higher in the AA group (111.43 kg) compared to the N group (103.72 kg) and the development of the total mammary gland at 90 days, the group (IZ) previously fed 15% ST, was the one that showed the best performance being **52.16%** higher than the average of all the calves. It is concluded that modifying a conventional feeding program by adjusting to 15% ST markedly increases GDP, weight and development of the mammary gland parenchyma and does not interfere with the intake of starter in the pre-weaning stage of the calves.

Keywords: Calve nutrition, total solids, mammary gland.

3. INTRODUCCIÓN

En la industria lechera a nivel mundial, al igual que en México, la crianza de becerras para remplazo es una etapa de suma importancia para dicho sistema de producción, ya que provee al hato lechero los animales que se incorporarán a la producción al momento del parto, en un periodo óptimo y que sea lo más rentable para los productores. Este periodo es generalmente de 21 a 23 meses de edad de las becerras, donde las becerras pasan por diferentes etapas y objetivos específicos en cada una de ellas, siendo la primera etapa por orden cronológico, la del nacimiento en la cual es de suma importancia garantizar una exitosa transferencia de inmunidad pasiva de la madre a la cría a través del calostro y así proveer a las becerras las defensas necesarias para combatir infecciones futuras.

La segunda etapa es cuando la becerro es lactante y comprende desde el momento que concluye su proceso de transferencia de inmunidad pasiva hasta el momento del destete y aquí es donde se abre un gran abanico de posibilidades de manejo y alimentación buscando un óptimo desarrollo y desempeño durante esta etapa. A lo largo del tiempo, la investigación ha demostrado el efecto que tienen diferentes sistemas de alimentación, diseñados para la etapa lactante de las becerras, cumpliendo con parámetros y objetivos que cada vez son más exigentes y congruentes con el grado de sofisticación que tiene esta industria. Dichos sistemas de alimentación se han desarrollado y modificado, dependiendo de los objetivos específicos de cada sistema, estos sistemas enfocan sus esfuerzos en ofrecer una mayor nutrición a las becerras, para mejorar su eficiencia alimenticia y alcanzar o superar la tasa de crecimiento de los sistemas de crianza convencionales.

La etapa lactante de las becerras es una de las más exigentes dentro del sistema de producción intensiva de bovinos productores de leche ya que tiene una duración promedio de 60 días dentro de los programas convencionales y en este periodo las becerras tienen que adaptarse al cambio de consumo de calostro a leche (biberón o cubeta) y de leche a un alimento sólido (concentrado y/o heno) y además cumplir con los parámetros de crecimiento, salud y desarrollo establecidos. Las diferencias entre los sistemas de alimentación radican en su enfoque principal, ya sea que busquen ofrecer mayores nutrientes a través de mayor volumen de leche, incrementado la cantidad de sólidos por litro de leche, o bien, interactuando con el volumen de leche e ingesta de alimento iniciador durante la etapa de transición a su destete.

Siendo la Comarca Lagunera la cuenca lechera más importantes de México se consideró pertinente explorar la respuesta de las becerras a dietas con un contenido de sólidos más elevado al de la leche de vaca.

4. OBJETIVO

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto que tiene modificar un sistema convencional de alimentación de becerras Holstein en una explotación comercial lechera, de la Comarca Lagunera ajustando diariamente a un 15% los sólidos totales de la leche suministrada, sobre el desarrollo corporal y mamario de las becerras Holstein.

5. HIPÓTESIS

El utilizar un ajuste de sólidos totales del 15% en la leche, durante el periodo de dieta líquida en becerras Holstein resultará en un mayor peso corporal, mayor alzada y mayor desarrollo del parénquima mamario en comparación con becerras que reciben sólo leche con 11% de sólidos totales.

6. REVISIÓN DE LITERATURA

6.1. Origen y domesticación del ganado bovino

Después de una revisión y una actualización del primer informe del estado de los recursos zoogenéticos mundiales para la alimentación y la agricultura de la FAO (2007), cuya segunda edición fue publicada en 2015, los investigadores y miembros de la FAO establecieron la información más reciente disponible sobre el origen y la historia de los recursos zoogenéticos. En dicho reporte se hace referencia al proceso de domesticación de algunas especies de animales y se establece que el bovino fue el primer animal de la granja en haber sido domesticada; este evento ocurrió hace 10,250 años en el suroeste de Asia (FAO, 2015). Los años de antigüedad hacen referencia a la datación por radiocarbono, la domesticación de los bovinos ocurrió 10,250 BP (FAO, 2015) y su equivalencia nos sitúa en 8,300 AC (Buchanan, 2016), referencias anteriores situaban este hecho en 5,000 o 4,000 AC (FAO, 2010., McGuffey, 2011). Esto pone a los bovinos como una de las especies más importantes para el desarrollo de las civilizaciones, dentro de las grandes 5 especies de animales domesticadas, después de los bovinos, existe evidencia de que los cerdos fueron domesticados hace 10,000 BP, seguido de los caprinos y ovinos 9,750 BP y las gallinas 8,000 BP (FAO, 2015).

La evolución del ganado bovino va a la par con el proceso de domesticación de la especie y el proceso de migración y población del mundo. El ganado bovino se clasifica en *Bos taurus* y *Bos indicus*. Existen diferencias físicas y, aunque derivan de una especie progenitora común, evolucionaron por separado durante varios miles de años. El ganado *Bos indicus* generalmente tiene una joroba pronunciada, mientras que el ganado *B. taurus* no tiene jiba. La jiba sirve para el almacenamiento de energía y también para aumentar el área de superficie corporal, lo que es una ayuda en la disipación de calor. El ganado *Bos indicus* permaneció en la península Índia durante muchas generaciones y luego comenzó a migrar a lo largo de la costa este de África y hacia el sudeste asiático. El ganado *Bos taurus* evolucionó en las zonas más al norte de Asia y en Europa (Buchanan, 2016). Los principales productos que se obtienen del ganado bovino, son carne, leche, piel y subproductos. A medida que se fueron domesticando, surgieron diferentes razas de bovinos especializados para los diferentes tipos de producción que se pueden dividir en razas especializadas en producir carne y razas especializadas en producir leche (McGuffey, 2011; Buchanan, 2016).

El ganado bovino como especie, aporta entre 85-90% de la leche que se produce a nivel mundial (McGuffey, 2011; FAO, 2018), el porcentaje restante corresponde a especies como búfalos (11%), caprinos (2%), ovinos (1%) y camélidos (0.4%) (FAO, 2018). Actualmente en el ganado bovino se han logrado identificar cerca de 1,000 razas (Buchanan, 2016), dentro de las principales razas especializadas en la producción de leche se encuentran: Ayrshire, Brown Swiss, Guernsey, Holstein, Jersey, Milking Shorthorn y el Norwegian Red, todas estas razas son *B. taurus*, algunas razas de doble propósito son Montbeliarde y Simmental (McGuffey, 2011; Buchanan, 2016). La raza de bovinos productores de leche más importante

y difundida a nivel mundial es la Holstein Friesian. Ésta posee gran capacidad para convertir el alimento en proteína para consumo humano que es única. Su fecha exacta de origen es incierta, pero las Holstein provienen de los Países Bajos, específicamente de las dos provincias del norte de Holanda y Friesland que se encuentran a ambos lados del Zuiderzee (McGuffey, 2011; Buchanan, 2016.).

El ganado Holstein Friesian es un excelente productor de leche llegando a producir 13,000 kilos de leche en una lactancia de 305 días (McGuffey, 2011). La asociación Holstein de Estados Unidos, refiere que para 2017 de todas las explotaciones lecheras de Estados Unidos obtuvieron un promedio de producción de leche de 12,300 kilos en lactancias de 305 días, teniendo animales que llegan a producciones de 35,500 kilos de leche en 365 días (HA-USA, 2020). Existe evidencia del uso de leche de ganado bovino aproximadamente en el año 5,000 AC, en el periodo neolítico en Reino Unido y el norte de Europa, siendo estos granjeros considerados como unos de los primeros en ordeñar al ganado bovino para su uso en el consumo humano (Burger *et al.*, 2007; ProCon, 2019). Los investigadores llegaron a esta conclusión, después de realizar pruebas genéticas de extracción de ADN a los restos óseos más antiguos de Reino Unido y del norte de Europa; las pruebas genéticas están basadas en la localización del gen persistencia de la lactasa, el rasgo mendeliano dominante que confiere la capacidad de digerir el azúcar de la leche lactosa en adultos y es probable que este rasgo haya conferido una ventaja selectiva en individuos que consumían cantidades considerables de leche (Burger *et al.*, 2007).

También existe evidencia arqueológica que muestra que los antiguos sumerios bebieron leche de bovino y también convirtieron la leche en quesos y mantequillas (ProCon, 2019). El conocimiento de la dispersión de especies de ganado desde sus centros de domesticación durante el período prehistórico se basa en una combinación sinérgica de arqueología y genética molecular. En Europa, la introducción de cultivos y ganado del sudoeste de Asia ocurrió alrededor de 8500 años atrás (FAO, 2015). El ganado domesticado siguió dos rutas principales hacia Europa, la primera a lo largo de la costa mediterránea y la segunda a lo largo del Danubio, llegando a las Islas Británicas alrededor de 6500 años atrás. El ganado Shorthorn surgió alrededor de 5000 años atrás en el suroeste de Asia y gradualmente reemplazó al ganado original Longhorn en la mayor parte de Europa (FAO, 2010; FAO, 2015). La colonización europea de América después de 1492 introdujo ganado bovino, ovejas, cabras, cerdos, caballos, burros y pollos, este hecho ocurrió en Veracruz, México (Barrera, 1996) y de ahí al resto de América (FAO, 2015; ProCon, 2019). Aunque se importaron muchas razas diferentes de ganado, incluidos Durham, Ayrshire, Guernsey, Jerseys y Brown Swiss durante los próximos siglos, no fue hasta finales de 1800 que las razas de ganado se desarrollaron específicamente para fines lácteos.

En la América rural, la leche y los productos lácteos se elaboraban principalmente para uso doméstico o local (USDA, 2020a). El ganado Holstein en Estados Unidos se sitúa en el año 1852 en Massachusetts, donde llegó ganado que había desembarcado en Boston desde Europa. Los ganaderos estaban interesados en la producción que alcanzaba el ganado Holstein que decidieron importar más ganado en 1857, 1859 y 1861 (HA-USA, 2020). Después de que se importaron alrededor de 8,800 vacas Holstein, estalló una enfermedad del

ganado en Europa y cesó la importación. Los estadounidenses construyeron su propia raza, a finales de 1800 había suficiente interés entre los criadores de Holstein para formar asociaciones para registrar pedigríes y mantener libros de hatos. Estas asociaciones se fusionaron en 1885 para fundar la Asociación Holstein-Friesian de América. En 1994, el nombre fue cambiado a Holstein Association USA, Inc. (HA-USA, 2020). La agricultura fue un gran benefactor de la revolución industrial. La potencia del vapor redujo la dependencia de la potencia animal y el hierro reemplazó a la madera como material para los implementos (McGuffey, 2011). Varios inventos y procesos clave desarrollados entre 1850 y 1900 explicaron la utilización de la leche más allá de la granja. El separador de crema, inventado por G.P. de Laval, la producción de leche condensada por Gail Borden, el uso generalizado de la máquina de ordeño Mehring en la década de 1890 proporcionó un método de ordeño más eficiente para el agricultor e hizo posible producir un producto lácteo más limpio, todo esto fue clave en la expansión temprana de la producción lechera (USDA, 2020^a; McGuffey, 2011).

La pasteurización, las máquinas para llenar y tapar botellas de leche y la refrigeración llevaron la demanda de leche a las zonas urbanas, siendo una de las principales zonas de comercio la ciudad de Nueva York, Connecticut, el este de Massachusetts y Wisconsin. La leche era trasladada a las zonas urbanas por trenes para la fabricación de queso y mantequilla. Estos eventos ampliaron las oportunidades para la ganadería lechera como empresa económica, en 1900 había más de 5 millones de granjas y 18 millones de vacas en los Estados Unidos (McGuffey, 2011; ProCon, 2019; USDA, 2020a). En México el desarrollo de la industria lechera fue más tardía, a finales de la década de los 1940 (Cerutti y Rivas, 2008) tras la colonización europea de América y la posterior llegada de los primeros bovinos cerca de la década de los 1520 (Barrera, 1996) el desarrollo y la expansión de bovinos, requería un proceso relativamente largo de adaptación, un reordenamiento del uso del suelo, y un mercado capaz de absorber sus productos, como carne, cueros o sebo (García, 1994). Una vez que la demanda de estos productos se incrementó, se empezaron a desarrollar explotaciones dedicadas a su producción. Se calcula que para 1550 se contaba con aproximadamente 110,000 cabezas de ganado bovino (García, 1994), las cuales ya para inicios de los años 1600 eran alrededor de 1,300,000 cabezas y para 1640 eran 4,000,000, el tipo de tierras, pasto y clima favorecieron el desarrollo de estas explotaciones, que para esos años eran cerca de 550 explotaciones siendo los principales sitios Veracruz, San Luis Potosí, Chiapas y Zacatecas (Barrera, 1996).

Se reconocen tres importantes centros de desarrollo ganadero de donde procedían los primeros bovinos que llegaban a América, dos de ellos se encuentran en el occidente de Europa, las tierras altas de las Islas Británicas y el oeste y sur de la península ibérica. El tercero se localiza en las estepas subsaharianas del occidente de África. (Barrera, 1996). No fue hasta la década de 1940-1950 que la industria lechera comienza a tener importancia en México (Del Valle, 1989; Cerutti y Rivas, 2008;). En la década de los años veinte el gobierno federal fomentaba la producción pecuaria con el doble propósito de conseguir la suficiencia alimenticia y disminuir los altos índices de desnutrición. El consumo de leche y carne se volvió significativo en el discurso gubernamental y como política pública. Dado que el hato

ganadero se había reducido drásticamente por la guerra civil, el Estado fomentó la importación de razas más productivas que las autóctonas entre esas razas estaban: Holstein, Jersey, Guernsey y Airshire (Cerutti y Rivas, 2008). En 1935 se instaló en Ocotlán, Jalisco la primera planta de Nestle, que se dedicaba inicialmente a la importación de productos lácteos, con lo cual se promueve aún más el consumo (Cerutti y Rivas, 2008). Al principio de la década de los años 1950, en la Comarca Lagunera (Durango-Coahuila) y Delicias Chihuahua, se da un fuerte impulso gubernamental a la producción lechera de esas zonas (Del Valle, 1989). En la Comarca Lagunera fueron varias las circunstancias que permitieron el desarrollo de la industria lechera, entre ellas, una de las importantes fue la crisis del algodón, que en esos años era la principal actividad agropecuaria de la zona, dicha crisis fue originada por la fuerte sequía y el colapso del precio internacional de la fibra, orillando a buscar nuevas formas de actividad agropecuaria. Se calcula que a finales de los años cuarenta el hato lechero de la Comarca Lagunera rondaba las 4,000 vacas y que la ordeña generaba unos 33 mil litros diarios (Cerutti y Rivas, 2008). En 1949 se tornó efectiva la obligatoriedad de la pasteurización a través de reglamentaciones sanitarias derivadas de la Ley de la Industria de la Leche y sus Derivados, dictada en julio de 1940 en Coahuila. La primera planta de la que se tiene confirmación documental en la Comarca Lagunera fue la impulsada por la Compañía Pasteurizadora La Higiénica, fundada en Torreón el 22 de enero de 1949 con un capital de 50 mil pesos (Cerutti y Rivas, 2008).

El 21 de marzo de 1950, se avanzó un nuevo escalón en el prolongado camino de la reconversión productiva: la creación de Pasteurizadora Laguna S. A. de C.V. que es la antecesora del actual grupo LALA (Del Valle, 1989; Cerutti y Rivas, 2008). Las sociedades de productores y las empresas que se formaron, fomentaron el desarrollo de la cuenca lechera en la comarca lagunera, que paso de producir 12,045,000 de litros en 1948, a 31,025,000 de litros en 1958 (257% de incremento en 10 años), a 139,685,000 de litros en 1968 (424% de incremento en 10 años), a 398,324,000 de litros en 1978 (285% de incremento en 10 años) en promedio el crecimiento de esas 3 décadas, a principio de los 1980 se tenía un incremento en la producción de leche de la comarca lagunera cercano al 32.20% anual (Cerutti y Rivas, 2008).

Para 1977, la Comarca Lagunera ya era la cuenca con mayor producción de leche a nivel nacional, producía cerca del 19% de la producción nacional, seguida de zonas como Jalisco, Toluca, Veracruz y Delicias, además el rendimiento anual por vaca era un 55% mayor que la media nacional (Del Valle, 1989), así es como se estableció esta zona como una de las más importantes para la producción agropecuaria, no solo de leche, actualmente también huevo, carne de bovino, de pollo y de cerdo.

6.2. Importancia de la industria lechera internacional y nacional

Después de que se estableciera al bovino como la primera especie en ser domesticada y que su leche fuera utilizada para consumo humano y que probablemente esto haya conferido una ventaja selectiva a individuos que consumían cantidades considerables de leche (Burger *et al.*, 2007), y una vez transcurrido su proceso de domesticación hace 5000-8500 años atrás en el subcontinente indio, el ganado *Bos indicus* permaneció durante muchas generaciones en esa zona y luego comenzó a migrar a lo largo de la costa este de África y hacia el sudeste

asiático. El ganado *Bos taurus* evolucionó en las zonas más al norte de Asia y en Europa (Buchanan, 2016) y llegó a América en el siglo XVI (Barrera, 1996) y de ahí al resto de América (FAO, 2015, ProCon, 2019). Una vez ahí, se aprovecharía su gran potencial de producción iniciando en la década de 1850 en los Estados Unidos (HA-USA, 2020) y alrededor de la década de 1940 en México (Cerutti y Rivas, 2008; Del Valle, 1989). Se puede considerar a la industria lechera como un sector productivo agropecuario de gran relevancia e importancia a nivel mundial, nacional y regional. A nivel mundial, el volumen de leche producida para el 2019 fue de 852 millones de toneladas, un incremento del 1.4% en relación al 2018, motivado por el alza en la producción de países como India, Pakistán, Brasil, la Unión Europea, Rusia y Estados Unidos y que parcialmente compensan las pérdidas en la producción de otros países como Australia, Turquía, Colombia, Argentina y Ucrania (FAO, 2020). Para 2018 la producción fue de 843 millones de toneladas, un aumento del 2.2% desde 2017 (FAO, 2019a). En una perspectiva internacional del año 2019 y dividido por regiones, Asia registró la mayor expansión, seguida de Europa, América del Norte, América del Sur, África, América Central y el Caribe, pero disminuyó en Oceanía (FAO, 2020).

- En Asia, la producción de leche en 2019 aumentó en 10 millones de toneladas, o un 2.9 por ciento desde 2018, a casi 360 millones de toneladas, con más del 90% proveniente de India y Pakistán.
- En Europa, la producción de leche en 2019 se estima en 226 millones de toneladas, un aumento del 0.5%, principalmente debido a la expansión de la producción en la Unión Europea y la Federación de Rusia, más que compensando las caídas en Ucrania y Suiza.
- En América del Norte, la producción de leche se expandió a 108.6 millones de toneladas, un aumento del 0.4%, originando completamente en los Estados Unidos de América, mientras que la de Canadá se mantuvo estable. En los Estados Unidos de América, el aumento de la productividad de la leche por vaca ayudó a mantener la estabilidad de la producción en 2019 a pesar de una pequeña contracción en el hato lechero del país. Después de cuatro años de aumentos sostenidos, la producción de leche en Canadá se mantuvo en el nivel de 2018, ya que los productores redujeron la producción en vista del aumento de las existencias de mantequilla y queso.
- En América del Sur, la producción de leche se estima en 61.8 millones de toneladas en 2019, registrando un aumento del 0.5 por ciento, después de una pequeña contracción en 2018, con expansiones de producción en Brasil y Perú, parcialmente compensadas por las disminuciones en Colombia, Argentina, Uruguay y Chile.
- En América Central y el Caribe, la producción de leche aumentó a 18.2 millones de toneladas, un 1.4% más que en 2018, originada principalmente en México, donde la producción se ve impulsada por la alta demanda tanto de la industria procesadora como de los consumidores, que prefieren cada vez más productos lácteos procesados de alto valor. La continua modernización del sector lácteo, incluido el uso de mejoras genéticas, está ayudando a la industria a producir más leche a nivel nacional.
- En África, la producción de leche en 2019 se estima en 46.8 millones de toneladas, un aumento de 0.3% desde 2018. La producción de leche en varios países aumentó,

incluidos Kenia, Argelia, Egipto y Sudáfrica, pero se registraron posibles contracciones en otros, a saber, Malí, Níger, Etiopía y Somalia.

- En Oceanía, la producción de leche se estima en 30.7 millones de toneladas en 2019, un 2.5% menos que en 2018, ya que la producción disminuyó tanto en Australia como en Nueva Zelanda. La producción en Australia cayó hasta un 6.6%, causada por la sequía que erosionó la calidad y el alcance de los pastos y la disponibilidad de agua, lo que también aumentó los costos de los alimentos. La sequía también indujo una gran reducción de ganado, especialmente de ganado lechero.

Para 2016 el valor de la producción lechera a nivel mundial se estimaba en 238,484 millones de dólares (MDD), mientras que para Estados Unidos fue de 34,689 MDD que representa el 14.5% del valor mundial, para Canadá y México fue de 4,148 y 3,630 MDD y representan 1.7% y 1.5%, respectivamente (FAO-STAT. 2020). En cuanto a producción de leche, datos de 2018 indican que los 5 principales países productores de leche son: Estados Unidos, India, Brasil, Alemania y China y que México ocupa el lugar 13 (FAO-STAT. 2020). La producción lechera es de suma importancia y se encuentra distribuida a nivel mundial, el consumo per cápita mundial para el 2018 fue de 117 kg de leche equivalente ([ME]. ME = ME, método "grasa y proteína" solamente, lo que representa 310 mL de leche por día (IFCN, 2019). En México el consumo per cápita para el 2019 fue de 366 mL por día (126 litros anual) un incremento de 3.3% con relación al 2018 cuyo consumo fue de 334 mL por día (SIAP, 2019). Estados Unidos es uno de los países con mayor consumo per cápita de productos lácteos, y ha estado estable los últimos 3 años en 1.77 litros por día (646 litros por año) (USDA, 2020b).

En la agenda de seguridad agroalimentaria de la FAO, se considera que la producción lechera juega un papel fundamental en la nutrición humana en el mundo, y se espera que la producción hacia el 2028, crezca a un ritmo de 1.7% anual (981 millones de toneladas para 2028) durante la próxima década, más rápido que la mayoría de los otros principales productos agrícolas (FAO, 2019b). La leche se comercializa internacionalmente principalmente en forma de productos lácteos procesados. China consume pequeñas cantidades de lácteos por persona, pero es el importador más importante de productos lácteos, especialmente de leche entera en polvo. Japón, Rusia, México y África del Norte son otros importadores netos importantes de productos lácteos (FAO, 2019b). Las expectativas que se tienen sobre el mercado general de la leche prevén un aumento en el consumo de leche fresca en países en desarrollo, debido a las características fisicoquímicas de la leche que la hacen un alimento altamente perecedero, también se prevé un descenso en el consumo de leche fresca pero un aumento en los productos lácteos, esta tendencia se ve en los países desarrollados los cuales están cambiando lentamente sus hábitos de consumo (FAO, 2019b).

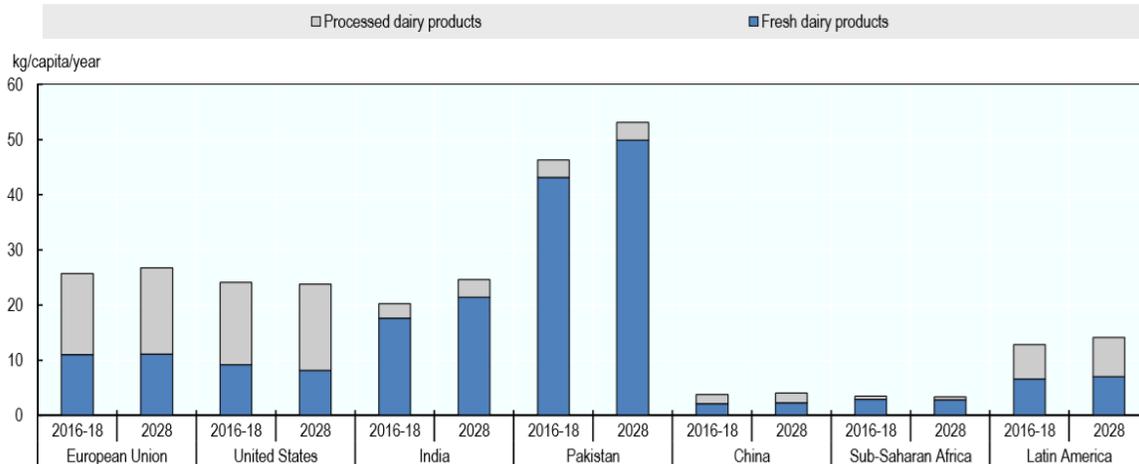


Figura 1. Consumo per cápita de productos lácteos procesados y frescos, en sólidos de leche. Comparación 2018 vs expectativa 2028 (FAO, 2019b).

India y Pakistán son países especialmente importantes para la producción de leche, y se espera que contribuyan a más de la mitad del crecimiento de la producción mundial de leche en los próximos diez años, además se espera que representen más del 30% de la producción mundial en 2028 (FAO, 2019b).

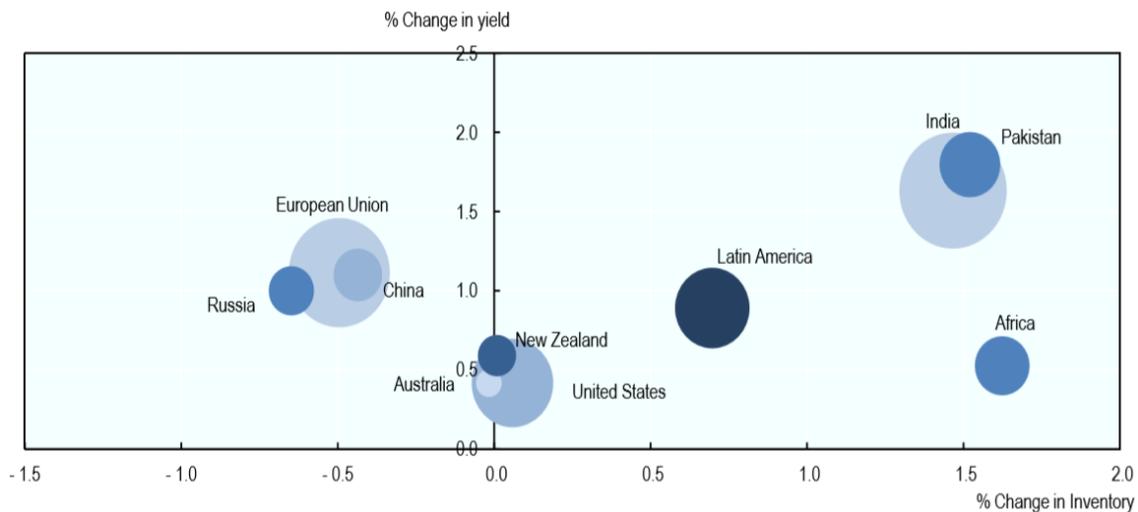


Figura 2. Cambios anuales y rendimientos en los inventarios de hatos lecheros a nivel mundial entre 2018 y 2028 (FAO, 2019b).

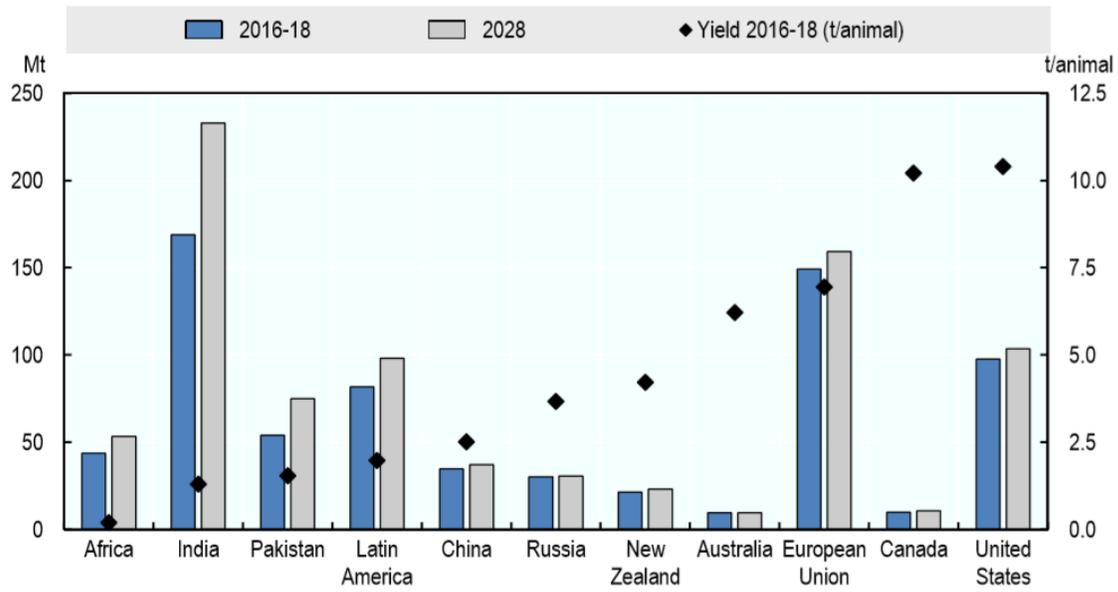


Figura 3. Producción y rendimiento de leche en países y regiones seleccionados. Promedio 2016-2018 vs. proyección 2028 y rendimiento total por animal (FAO, 2019b).

La región norte de América es una de las zonas altamente eficientes en la producción de leche (HA-USA, 2020) y en parte puede atribuirse al tamaño de las granjas que tiene dicho país y el efecto que esto genera sobre los procedimientos y operaciones que se llevan a cabo en granjas intensivas, que son más tecnificadas y cuentan con personal capacitado. De 2013 a 2018 Estados Unidos experimentó un incremento en su producción superior al 8% (IFCN, 2019) y se espera que para el 2028 tenga un aumento en su rendimiento cercano al 0.5% (FAO, 2019b). El gráfico ilustra más este ejemplo donde se puede observar que para 2018 en Estados Unidos, más del 50% de las granjas tenían más de 1,000 vacas y se ha ido incrementado este porcentaje de hatos de este tamaño desde 1996 (IFCN, 2019).

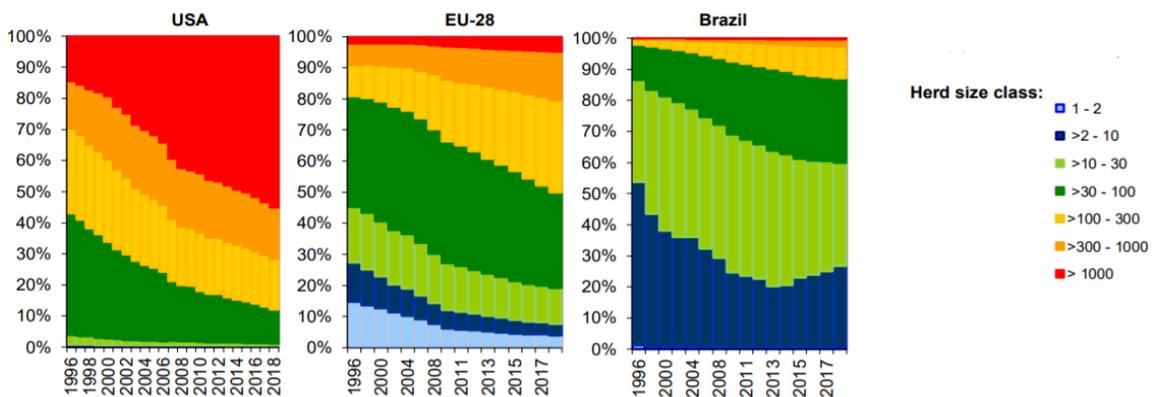


Figura 4. Número de vacas expresada en porcentaje por año del tamaño de las granjas de Estados Unidos, Unión Europea y Brasil (IFCN, 2019)

Los precios internacionales de referencia para lácteos se refieren a productos procesados de los principales exportadores de Oceanía y Europa. Los dos principales precios de referencia para los lácteos son para la mantequilla y la leche descremada en polvo (SMP por sus siglas en inglés). Desde 2015, los precios de la mantequilla han aumentado considerablemente más que los precios SMP debido, en gran medida, a una mayor demanda de grasa láctea en comparación con otros sólidos lácteos en el mercado internacional. Se espera que esto continúe durante la próxima década (FAO, 2019b). El índice de precios de los productos lácteos de la FAO, promediaron un 3.0% más en 2019 en comparación con el año anterior, cuando cayeron un 4.6%. Los precios de los lácteos aumentaron (24%) entre enero y mayo de 2019 durante la segunda mitad del año. El aumento de enero a mayo se debió principalmente a la disponibilidad limitada de exportaciones de Oceanía ante la fuerte demanda mundial de importaciones (FAO, 2020). La fuerte volatilidad de los precios internacionales de los lácteos se debe a su pequeña participación comercial (aproximadamente el 8% de la producción mundial de leche), el predominio de unos pocos exportadores e importadores y un entorno restrictivo de política comercial. La mayoría de los mercados nacionales solo están poco vinculados a esos precios, ya que los productos lácteos frescos dominan el consumo y solo se procesa una pequeña parte de la leche (FAO, 2019b).

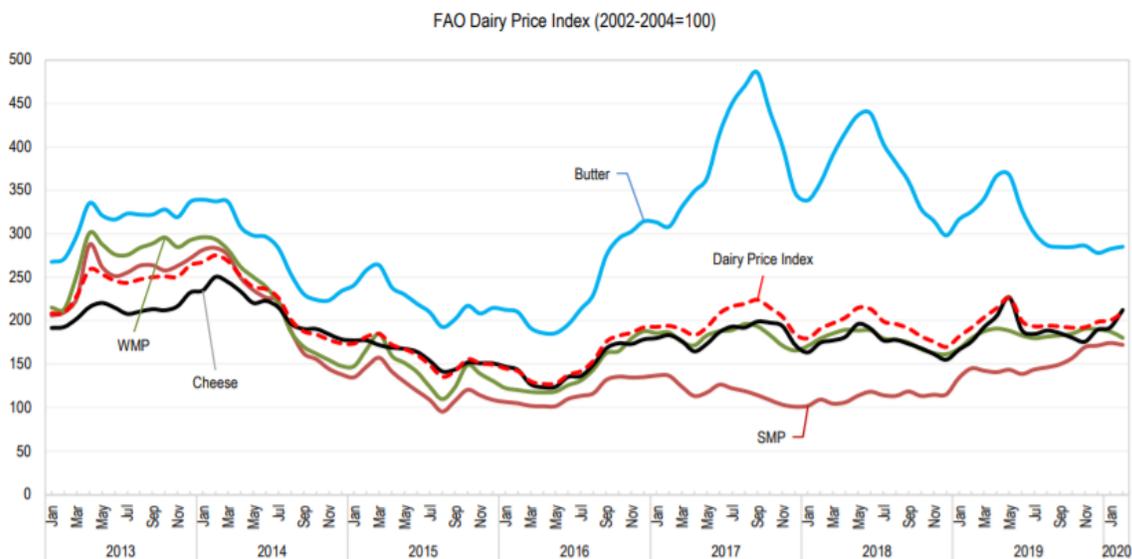


Figura 5. Precios internacionales de productos lácteos, medidos por el índice de precios de productos lácteos de la FAO, leche entera en polvo (WMP) leche descremada en polvo (SMP) (FAO, 2020).

A nivel mundial se estima que, hay 116 millones de granjas con un promedio de 3.2 vacas (IFCN, 2019), para 2018 el inventario mundial de ganado bovino es cercano a 1,500 millones de cabezas, que se encuentran distribuidas en los 6 continentes, América (35.7%), Asia (31.9%), África (19.7%) Europa (10%) y Oceanía (2.7%), dentro de los países que tienen una mayor cantidad de bovinos se encuentran en los primeros 5, Brasil 139 millones (m), India 192 m, Estados Unidos 95 m, China con 82 m, Argentina 52 m, y México ocupa el lugar 8 con una existencia cercana 32 m. Se estima que cerca del 18% (256 millones) de población mundial de bovinos está dedicada a la producción de leche, para los países con mayor número de bovinos el porcentaje que está dedicado a la producción lechera es el siguiente: Brasil 8% (16 m), India 29% (52 m), Estados Unidos 10% (9.4 m), China 6.7% (5.5m), Argentina 3 % (1.6 m) y México 7% (2.5 m) (FAO-STAT. 2020).

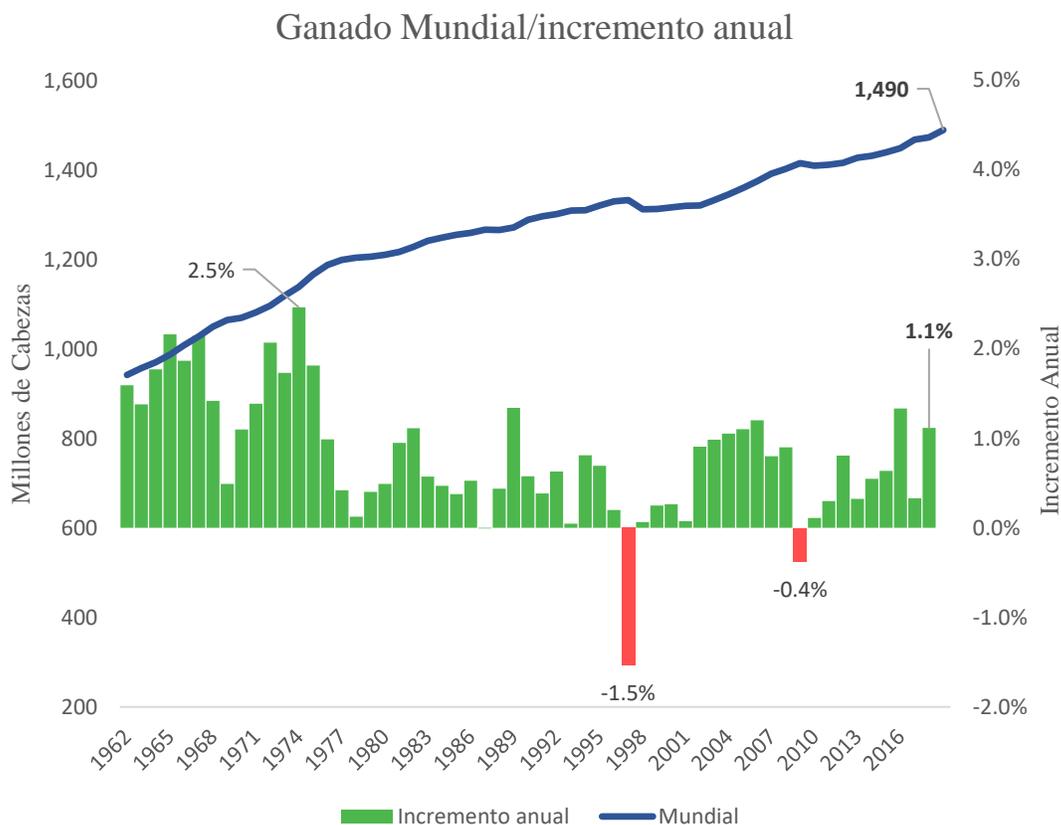


Figura 6. Población de ganado bovino a nivel mundial y su incremento anual (FAO-STAT. 2020).

En la última década, la población de ganado bovino incrementó un 6%, en promedio el incremento anual fue 0.5% y para el 2018 el incremento fue de 1.1%. Se identifican solo dos años en los cuales el crecimiento es negativo 1997 y 2009 y el dato más alto con un 2.5% en 1974. Desde el 1961 al 2018 el incremento fue de 46.1% en promedio y el incremento fue 0.8% anual.

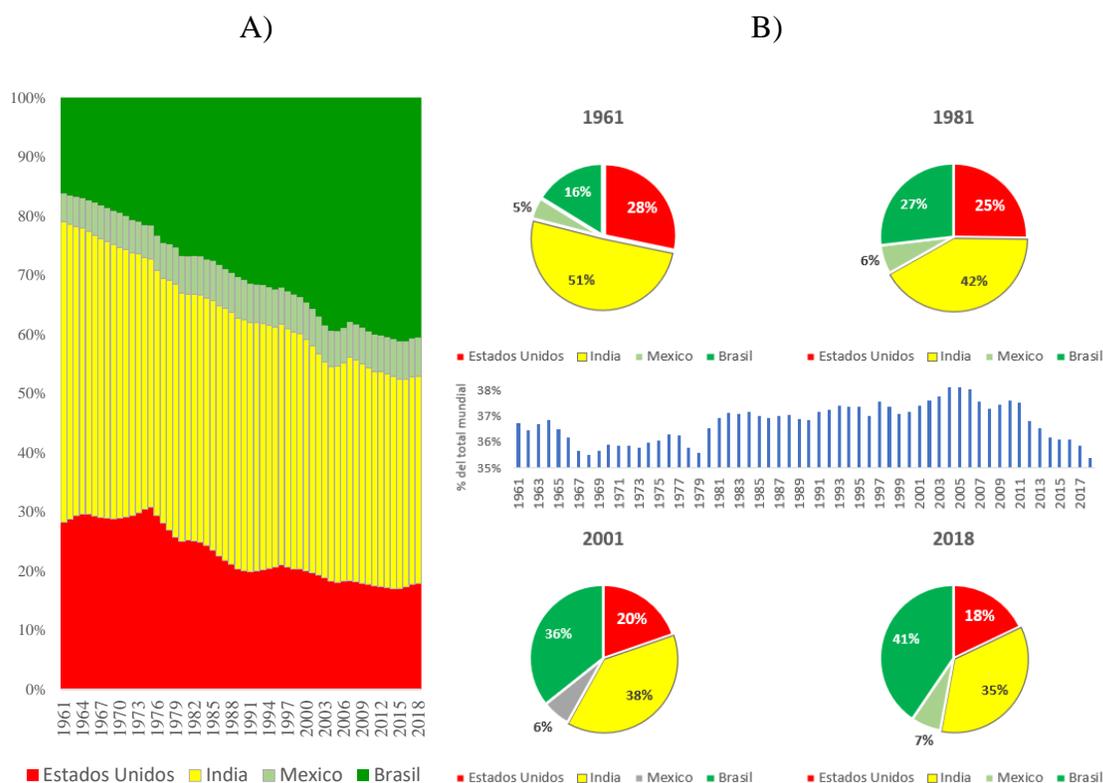


Figura 7. A) representación de la población de bovinos los últimos 57 años, de países seleccionados expresada en porcentaje por año. B) porcentaje que representan estos países seleccionados del total mundial y su variación en porcentaje por década (FAO-STAT. 2020).

En el contexto de la población mundial de bovinos, seleccionando los tres países con mayor inventario y México, se puede hacer una evaluación sobre los datos desde 1960 hasta 2018; en 1960 estos 4 países representaban entonces el 37% (346 millones) de población mundial, India representa el 51%, Estados Unidos 28%, Brasil el 16% y México el 5%, a lo largo de casi 60 años el porcentaje que representan estos países del total mundial se mantiene estable oscilando solo del 35 al 37%. Brasil tiene un fuerte incremento (25%) pasando de un 16% en 1961 a un 41% en 2018, y México con un incremento de 2%, mientras que India sufre una disminución de un 16% y Estados Unidos de un 10% para ese mismo periodo. En la figura 7 (sección A) se puede observar gráficamente la contracción de Estados Unidos e India, el incremento de Brasil y la participación de México dentro de esta selección de países.

En cuanto a los bovinos productores de leche, de 1961 a 2018 se ha mantenido estable entre un 19% y 16.4%, en promedio se tiene un incremento anual en la población de ganado bovino lechero del 0.7%. Los países que actualmente cuentan con mayor porcentaje de su población de bovinos dedicados a la producción de leche son: Nueva Zelanda 50%, Turquía 40%, Países Bajos 40%, Rusia 37%, India 29% y en México solo el 7% de los bovinos está dedicado a la producción de leche (FAO-STAT. 2020).

La producción de leche de bovino para el 2018 fue de 683 millones de toneladas un incremento de 0.8% en relación al 2017, en promedio los últimos 57 años se ha incrementado 1.4% anualmente la producción, en 1961 se producían 313 millones de toneladas, si lo comparamos solamente con la producción de 2018 se incrementó 118%. En el promedio de producción de la última década, cinco países aportan el 36% de producción mundial: Estados Unidos con 85 millones de toneladas, India 52 m, Rusia 32m, Alemania 30 m y Brasil 28 m, si se agregan los próximos 5 países productores concentraríamos más del 50% de la producción mundial, México ocupa el lugar número 13 con 11 millones de toneladas de producción promedio durante la última década, sin embargo este sector es muy dinámico y tiene un crecimiento promedio en la última década de 1.6% y para el 2018 el top 5 de los países con mayor producción, llegan a producir un 42% del total mundial, esto es un 6% más que la última década y los países que conforman esta lista también se modificaron: Estados Unidos con 99 m, India con 90 m, y Brasil con 34 m sube del lugar 5 al 3 y le quita el lugar a Rusia, que para este año ocupa el lugar 7, Alemania sigue en cuarto con 33 m y China entra en la lista con 31 m, para el 2018 México con una producción de 14 m, baja un puesto y ocupa el lugar 14 (FAO-STAT. 2020), lo cual concuerda con las estimaciones de agenda de seguridad agroalimentaria 2018-2028 que para el año 2028 se espera que India y Brasil aumenten considerablemente sus producciones e inventarios y que Estados Unidos y China incrementen su rendimiento y alcanzar la proyección de crecimiento promedio de 1.7% anual para la próxima década (FAO, 2019b).

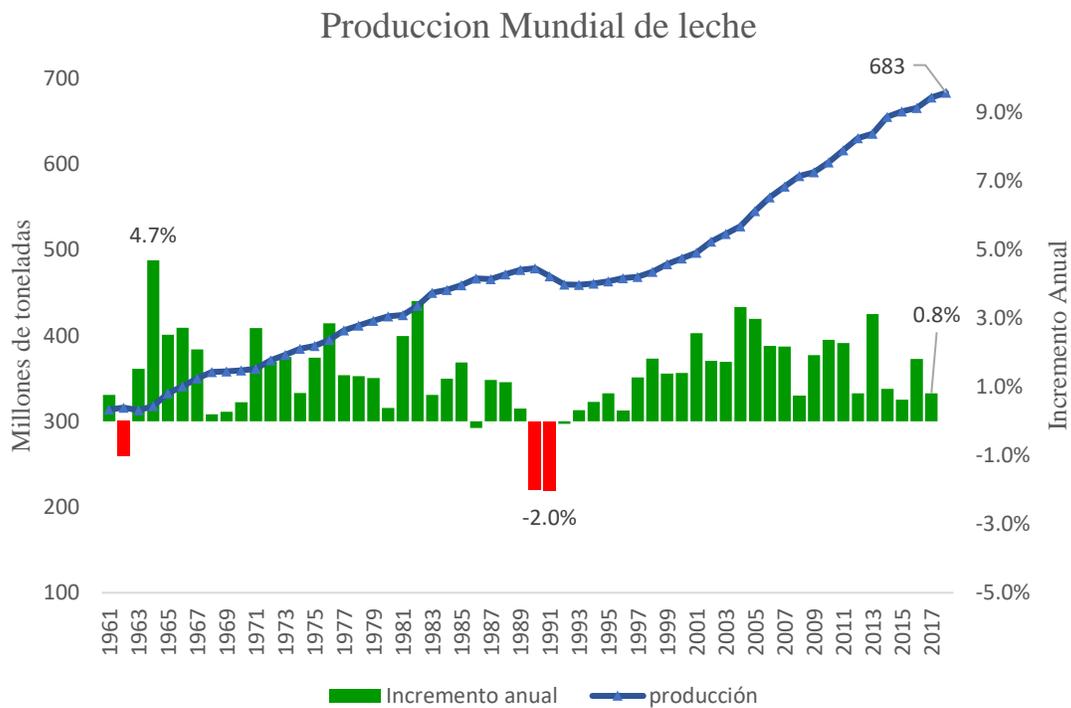


Figura 8. Representación de la producción mundial de leche de 1961 a 2018 y su incremento anual (FAO-STAT. 2020).

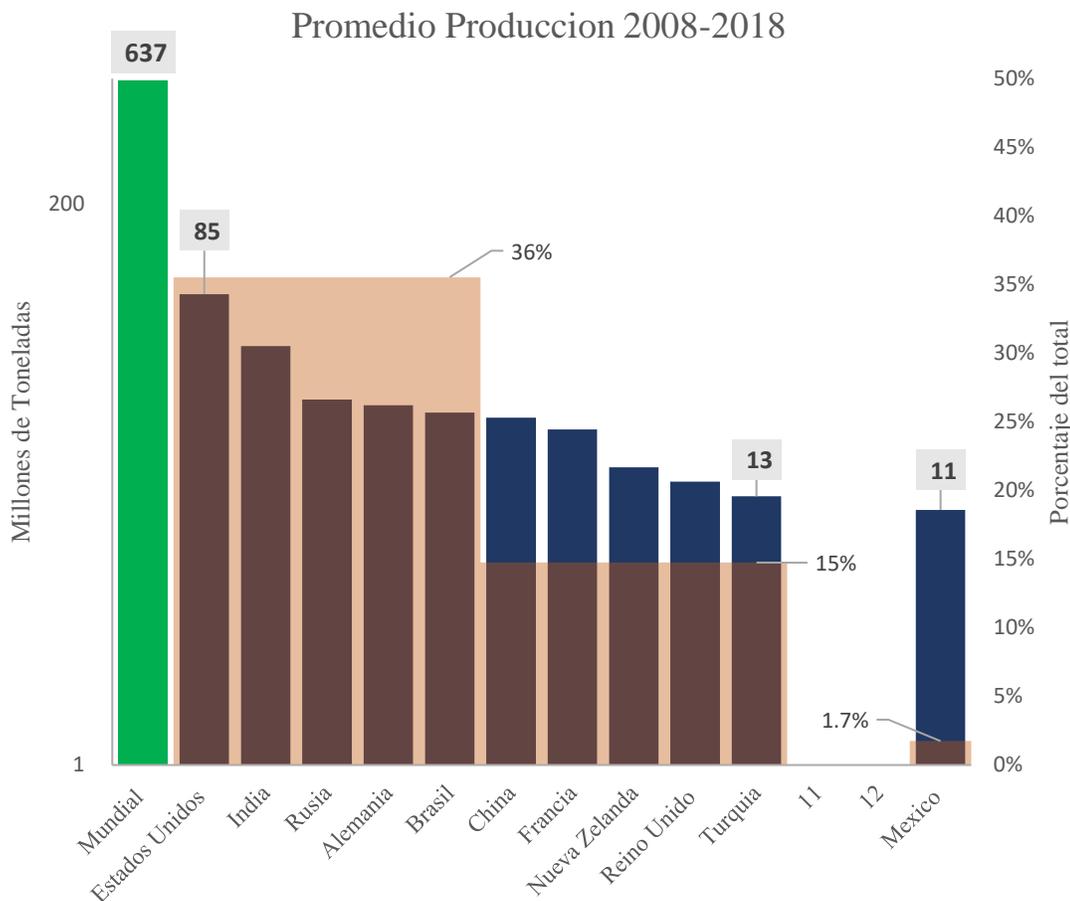


Figura 9. Representación de la producción mundial de leche de 2008 a 2018 y los principales países productores y su porcentaje de producción en relación al total mundial (FAO-STAT. 2020).

En países como Estados Unidos que es el principal productor de leche en el mundo, donde su industria es altamente eficiente, el incremento promedio de la última década fue de 1.5%, y considerando que su población se redujo un 0.2% en ese mismo periodo, ese incremento en la producción es atribuible a la eficiencia en su producción y esto es consistente con el objetivo de producción proyectado para 2028 donde se espera que siga incrementado la eficiencia en su producción. En México la producción de 2018 superó los 12 millones de toneladas, lo cual es un 415% más si se compara con la producción de 1961 que fue de 2 m, en promedio el incremento anual de la producción para esos 57 años es de 3.1% que está por encima del incremento mundial que para ese mismo periodo fue de 1.4%. Durante la década de 2008 a 2018 el aumento anual en México se desaceleró promediando 1.4% ligeramente por debajo del promedio mundial de 1.6% para esa década. Estas estadísticas indican un área de oportunidad tanto de crecimiento en el inventario de bovinos como en la eficiencia de producción y todas las estrategias que eso conlleva. En México, la Comarca Lagunera se ha establecido desde la década de los 70 como la principal zona lechera del país (Del Valle, 1989).

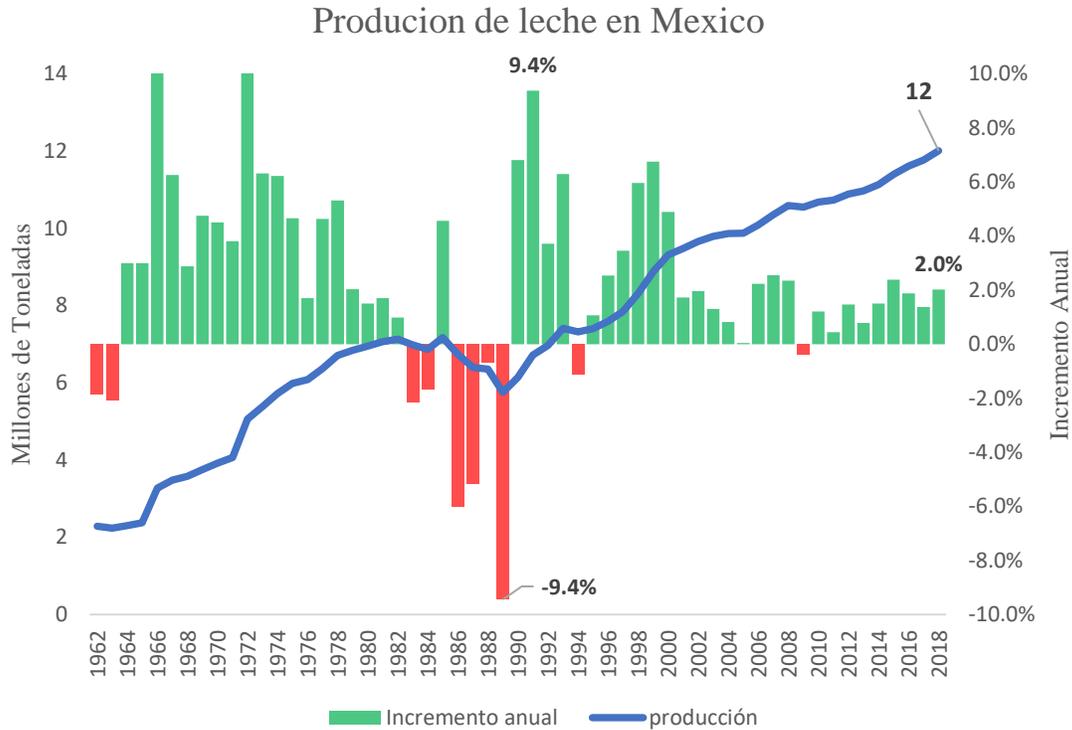


Figura 10. Representación de la producción de leche en México de 1962 a 2018 y su incremento anual (FAO-STAT. 2020).

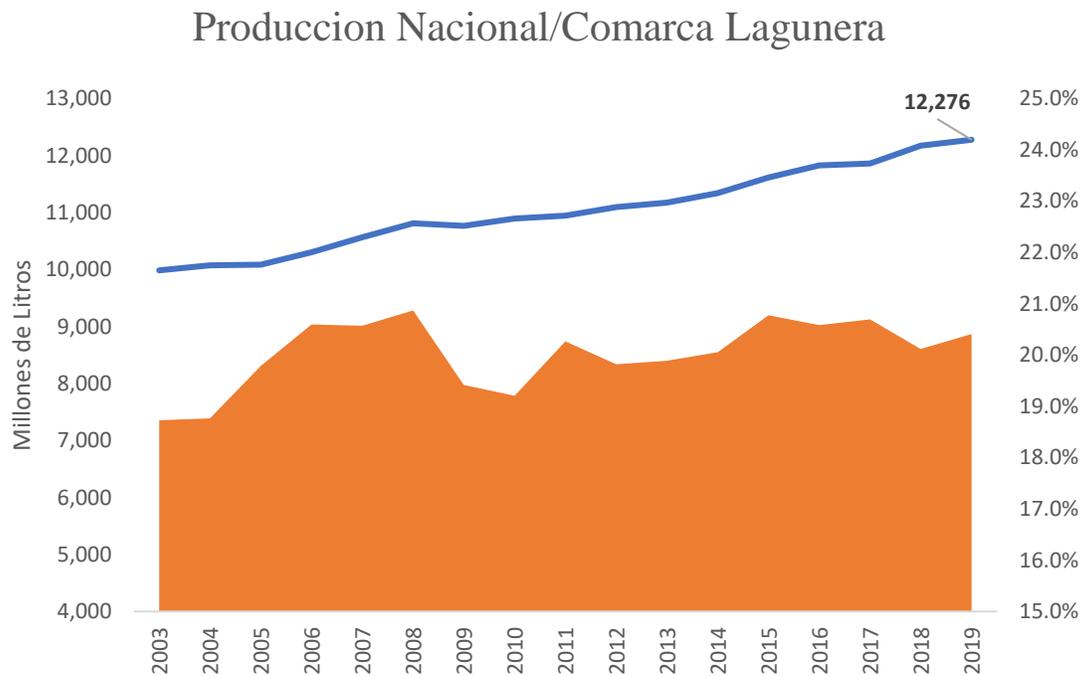


Figura 11. Producción de leche en México y la aportación de la Comarca Lagunera (SIAP, 2020a).

En febrero de 2020 en México, la balanza comercial agroalimentaria para la leche generó un déficit de 25 millones de dólares, lo que sigue representando una gran área de oportunidad para la industria lechera nacional y disminuir ese déficit (SIAP, 2020b). En enero 2020 para la producción de leche de bovino, se lograron 982 millones 258 mil litros, 2.2% más en comparación con el mismo mes de 2019 (SIAP, 2020c). Para la Comarca Lagunera dicha comparación muestra un incremento de 2.8% (SIAP, 2020a). El valor de la producción de leche a nivel nacional para 2018 fue de 73,700 millones de pesos, lo que representa cerca del 18% del valor total de producción agropecuaria, lo que representa un incremento del 4.3% en comparación con 2017.

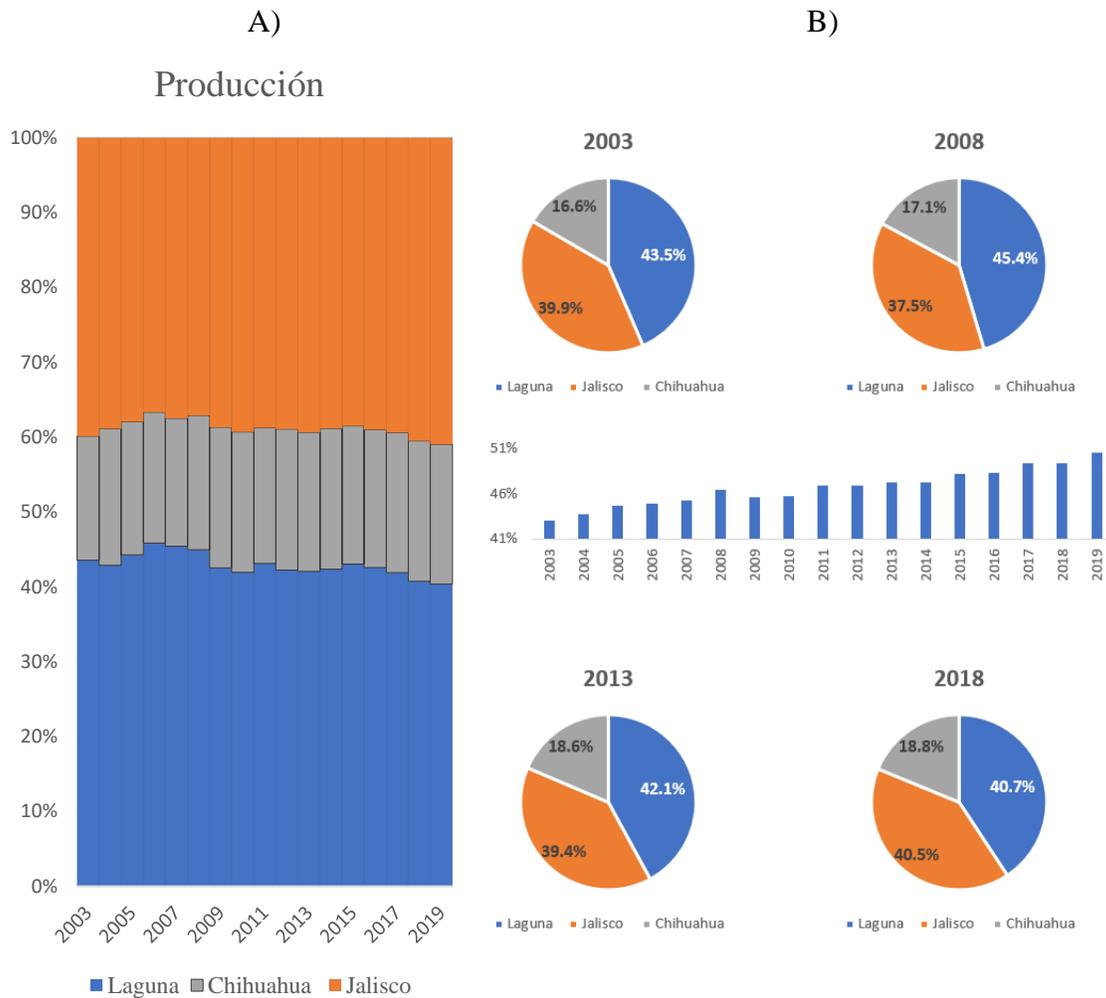


Figura 12. A) Representación de la producción de leche, de las tres zonas más importantes a nivel nacional de los últimos 16 años, expresada en porcentaje por año. B) Porcentaje que representan estas zonas en relación a la producción nacional y su variación en porcentaje por cada 5 años (SIAP, 2020a).

6.3. Anatomía de la glándula mamaria

En los rumiantes, como en todos los mamíferos, la glándula mamaria es la estructura anatómica secretora de la leche en las hembras (Ferreira *et al.*, 2013), dichas glándulas son órganos reproductivos accesorios que se desarrollan para alimentar a sus crías (Hurley y Loor, 2011). En los rumiantes, las glándulas mamarias están ubicadas en la ubre, un órgano complejo formado por una serie de sistemas que incluye: un sistema de soporte; un sistema secretor compuesto por células epiteliales; un sistema de conductos para el almacenamiento y transporte de la leche, la sangre, la linfa y una red de nervios (Nickerson y Akers, 2011; Ferreira *et al.*, 2013;). En el ganado bovino, la ubre consta de cuatro glándulas mamarias separadas, cada glándula tiene una teta y cada teta tiene un canal hacia la teta (Ferreira *et al.*, 2013). En algunas otras especies de rumiantes como los ovinos y caprinos solo cuentan con dos glándulas mamarias para crear la ubre. Independientemente de la disposición específica del número de glándulas mamarias para un mamífero dado, la síntesis y secreción de leche requiere el desarrollo de una glándula mamaria funcionalmente madura (Akers, 2017). La estructura interior de la glándula mamaria consiste en tejidos conectivos y secretores y un sistema de ductos. El tejido secretor contiene lóbulos y cada lóbulo consta de varios lóbulos; cada lóbulo contiene grupos de alvéolos. Las células epiteliales están dispuestas para formar el revestimiento interno de los alvéolos esféricos que conforman los lóbulos, y las células sintetizan y secretan leche la cual es concentrada en el sistema de ductos (Paulrud, 2005). El sistema comienza en el alvéolo y termina en el canal estriado, el único orificio de la glándula entre el secretor interno de leche y el ambiente externo (Ferreira *et al.*, 2013).

La leche se drena en los conductos más grandes hasta que ingresa al conducto primario unido a la glándula que está unida a la cisterna de la teta, el músculo del esfínter que se contrae alrededor del canal de la teta evita que la leche en la cisterna de la teta escape hacia el exterior, pero no solo esa es su función, el canal de la teta también está revestido de células que producen una secreción bacteriostática que evita que crezcan agentes contaminantes a la glándula (Isobe, 2017). Dada la gran amplitud de mamíferos que existen y que están adaptados a las diferentes zonas y medioambientes alrededor del mundo, se provee igual en cuanto a su glándula mamaria una gran cantidad de configuraciones específicas para cada uno de ellos (Nickerson y Akers, 2011) y éstas responden a sus demandas evolutivas a lo largo del tiempo (Weaver y Hernández, 2016), ya sea en el número de glándulas mamarias, en su disposición o en las características de sus secreciones. Un caso específico es el de los mamíferos acuáticos especialmente aquellos en ambientes fríos, los cuales producen leche cuyo contenido de lípidos es elevado y es muy esencial para que las crías produzcan rápidamente una capa de grasa aislante para protegerlas del frío y proporcionar una fuente de agua metabólicamente enriquecida (Zeng *et al.*, 2017). Otro caso particular es el del Ualabí de Tammar que tiene una forma muy específica de modificar y regular el contenido nutricional de sus secreciones, en las demás especies esta regulación también está presente, aunque no es tan evidente (Weaver y Hernández, 2016).

Para ver la amplia gama de variaciones en los diferentes sistemas de glándulas mamarias, en el Cuadro 1 se encuentran algunas de las especies de mamíferos más comunes, donde se aprecia la ubicación de la glándula, el número de glándulas y las aberturas que tienen los pezones. Esto ilustra la relevancia de la lactancia para proporcionar una estrategia para la supervivencia de la descendencia y para asegurar el éxito reproductivo (Weaver y Hernández, 2016).

Cuadro 1. Variación en la ubicación, número y aberturas de los pezones de las glándulas mamarias de algunas especies comunes (Nickerson y Akers, 2011).

Orden	Nombre común	Posición de las glándulas			Total glándulas	Apertura por teta
		Torácica	Abdominal	Inguinal		
<i>Artiodactyla</i>	Vaca			4	4	1
<i>Artiodactyla</i>	Cabra			2	2	1
<i>Artiodactyla</i>	Cerda	4	6	2	12	2
<i>Artiodactyla</i>	Borraja			2	2	1
<i>Carnivora</i>	Perra	2	6	2	10	8-14
<i>Carnivora</i>	Gata	2	6		8	3-7
<i>Cetacea</i>	Ballena			2	2	1
<i>Lagomorpha</i>	Coneja	4	4	2	10	8-10
<i>Marsupialia</i>	zarigüeya		13		13	8
<i>Marsupialia</i>	Canguro		4		4	15
<i>Perissodactyla</i>	Yegua			2	2	2
<i>Primate</i>	Mujer	2			2	15-25
<i>Proboscidea</i>	Elefante	2			2	10-11
<i>Rodentia</i>	Ratón	4	2	4	10	1
<i>Rodentia</i>	Rata	4	4	4	12	1

No es inusual que actualmente una vaca produzca 25 kg o más de leche en un solo ordeño, combinado con la masa de los tejidos de la ubre, esto significa que los elementos del tejido conectivo y las estructuras de soporte de las glándulas mamarias deben soportar hasta 70 kg de tejido y leche almacenada justo antes del ordeño (Nickerson y Akers, 2011).

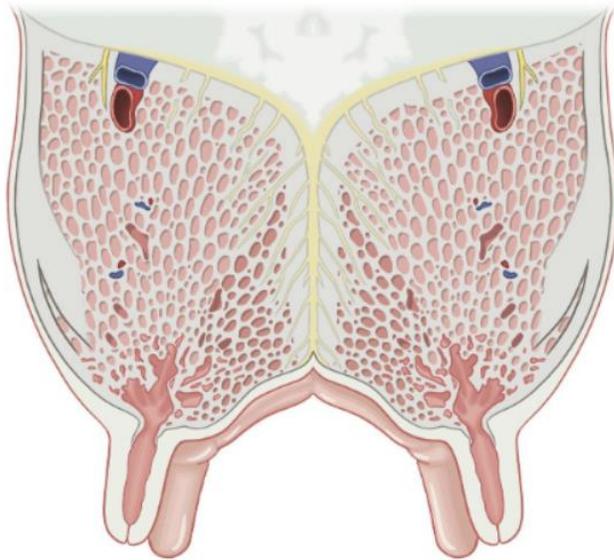


Figura 13. Representación esquemática de la glándula mamaria bovina.

Dada la orientación inguinal ventral de la ubre, esta no es una cuestión trivial, el soporte está proporcionado por fuertes ligamentos suspensorios planos, que están unidos al hueso pélvico y a los tendones de los músculos abdominales en el área pélvica. En la vaca y otros rumiantes, la ubre se divide en dos mitades distritales, separadas por los ligamentos suspensorios medios, que proporcionan la mayor parte de la fuerza para sostener la ubre unida a la pared del cuerpo ventral, las fibras de los ligamentos suspensorios laterales son continuas con los ligamentos medios y se extienden a ambos lados de la ubre, de modo que la glándula parece estar retenida en una red de tejido conectivo (Pandey *et al.*, 2018). Los ligamentos medios son algo elásticos pero los ligamentos laterales no, las glándulas mamarias de la ubre están conectadas directamente a la cavidad abdominal por los canales inguinales, estos son pasajes oblicuos estrechos emparejados a través de la pared abdominal a cada lado de la línea media, sobresaliendo por encima de la ubre están a ambos lados de la línea media, justo encima de la ubre estos canales permiten el paso de vasos sanguíneos, linfáticos y nervios hacia la ubre. Curiosamente, las dos mitades de la ubre se pueden diseccionar fácilmente cortando a lo largo del ligamento suspensorio medio, pero no hay barreras anatómicas evidentes entre las glándulas (cuartos) frontales y posteriores a cada lado de la ubre, solo un delgado septum de tejido conectivo está presente (Nickerson y Akers, 2011), esto se puede observar en la figura 14 sección A. La conformación y las características de la ubre están relacionadas directamente con la producción, salud y longevidad de la ubre (Sasaki *et al.*, 2013; Rocha *et al.*, 2018) y que esto es una sección de suma importancia para para las estrategias de mejoramiento genético y selección de ganado, en base a esto la ubre califica el 40% de la puntuación en la evaluación de una vaca lechera (HA-USA, 2018, HA-C, 2020).

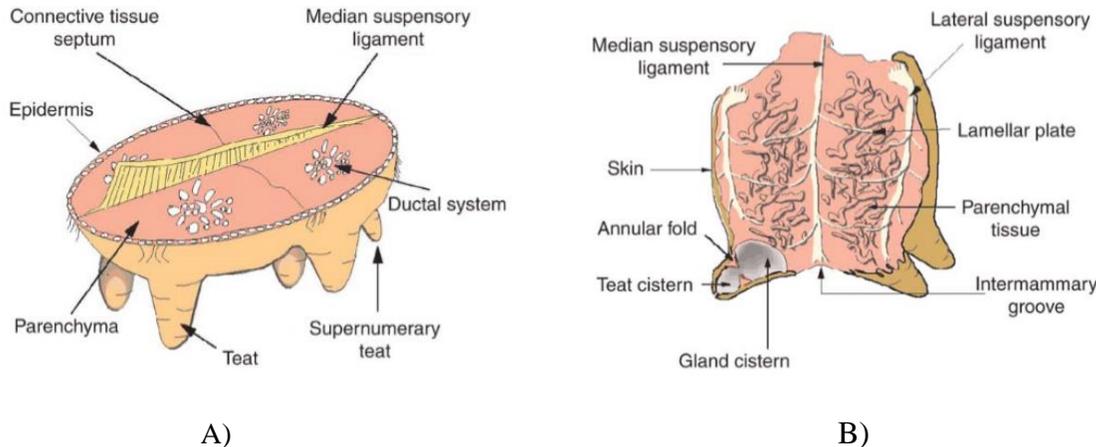


Figura 14. A) Representación esquemática de la sección transversal de los cuatro cuartos de la ubre de las vacas que ilustra la anatomía macroscópica. B) Representación de la sección longitudinal de la ubre de la vaca, ilustrando la estructura del aparato suspensorio (Nickerson y Akers, 2011).

6.3.1. Estructura de soporte

El soporte principal (figura 14 sección B) está formando como una red para la ubre, los ligamentos suspensorios medios están unidos al hueso pélvico y a los tendones de los músculos abdominales oblicuos externos en la región de la pelvis, estos ligamentos corren paralelos entre sí y pasan ventralmente entre las dos mitades de la ubre, formando el surco intermamario en la superficie ventral, que separa los cuartos derecho e izquierdo estas dos capas de ligamentos están unidas por tejido conectivo areolar suelto luego, los ligamentos se separan para cubrir las áreas anterior, posterior y ventral del tejido glandular en cada mitad de la ubre, pero terminan en la base de los pezones. Los dos ligamentos suspensorios medios se fusionan con los dos ligamentos suspensorios laterales en los bordes anterior, posterior y ventral de cada mitad de la ubre. Los ligamentos suspensorios laterales de cada ubre se originan en los tendones subpúbicos y prepúbicos de la pared del cuerpo y viajan verticalmente, cubriendo los lados externos de la glándula mamaria. Los ligamentos suspensorios medios y laterales tienen ramas laterales (placas lamelares) que se insertan en el tejido glandular y se vuelven continuas con el estroma del tejido conectivo que sostiene los lóbulos y los lóbulos del parénquima. Los ligamentos medianos están compuestos de tejidos conectivos elásticos y fibrosos amarillos, debido a las fibras elásticas, este ligamento se estira para absorber el impacto a medida que la vaca se mueve. Además, la elasticidad de estos ligamentos permite el aumento del tamaño de la ubre entre ordeños (Nickerson y Akers, 2011).

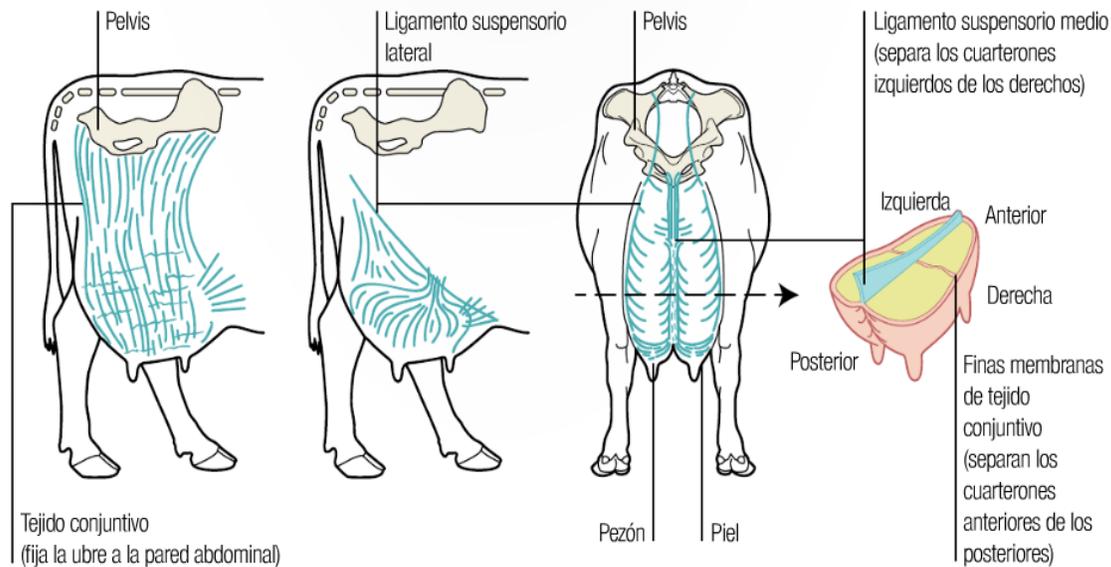


Figura 15. Representación esquemática aparato suspensorio de la ubre de la vaca.

6.3.2. Anatomía microscópica de la ubre

6.3.2.1. Tejidos glandular y conectivo

Cada uno de los cuatro cuartos funciona como una glándula separada dentro de la ubre y cada uno tiene sus propios tejidos secretores de leche (parénquima; Paixão *et al.*, 2017), el tejido conectivo apoya a proteger el tejido glandular. El parénquima mamario de la glándula lactante está compuesto de estructuras epiteliales como alvéolos y conductos, y el tejido conectivo estromal asociado, que rodea esas estructuras y protege los delicados tejidos glandulares, el estroma de una glándula lactante se compone principalmente de componentes celulares y no celulares del tejido conectivo, los componentes celulares del estroma incluyen fibroblastos, células endoteliales asociadas con vasos sanguíneos y leucocitos localizados en el tejido, mientras que los componentes no celulares incluyen colágeno y otras proteínas de tejido conectivo (Hurley y Loor, 2011). En la glándula lactante los millones de alvéolos son las unidades productoras de leche en la ubre, estas son estructuras microscópicas en forma de globo que tienen un diámetro de 50 a 250 μm , dependiendo del volumen de leche acumulada y una sola capa de células epiteliales cúbicas a columnares recubre los bordes periféricos (Nickerson y Akers, 2011). En contraste con la glándula lactante, existe un considerable tejido adiposo blanco (almohadilla de grasa) en la glándula desde las primeras fases del desarrollo fetal y se extiende durante gran parte de la gestación, esta almohadilla de grasa a menudo se incluye como parte del estroma de la glándula en desarrollo, pero se considera tejido extraparenquimatoso (Hurley y Loor, 2011).

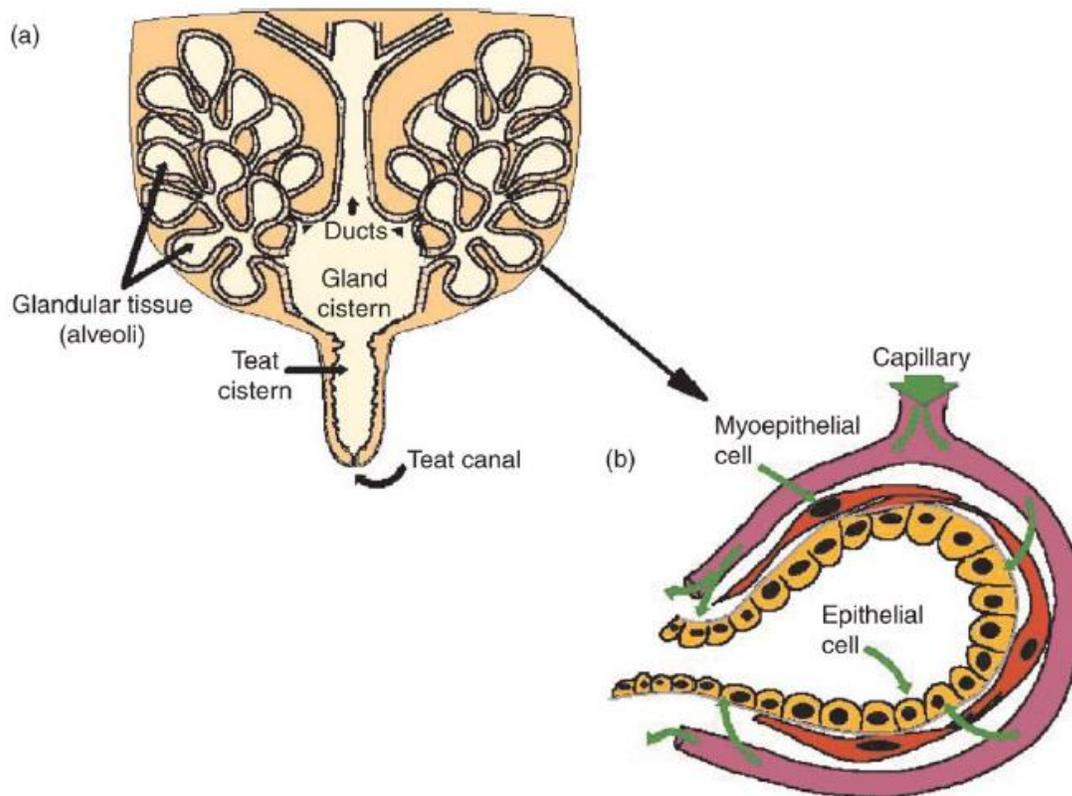


Figura 16. (a) Diagrama de un cuarto mamario que ilustra el tejido glandular (los alvéolos están fuera de escala), los conductos, las cisternas de las glándulas y tetas, y el canal de las tetas. (b) Sección transversal esquemática de un alveolo que ilustra las células epiteliales mamarias, las células mioepiteliales y la red capilar (Nickerson y Akers, 2011).

Es importante señalar el nivel de especificidad que tienen las células epiteliales alveolares para desempeñar su papel de producir leche, las cuales están limitadas por una membrana celular, contienen los organelos necesarios para convertir los precursores absorbidos de la sangre en constituyentes de la leche. El interior de la célula está compuesto de citoplasma en el que se dispersan los orgánulos como el núcleo, el retículo endoplásmico rugoso, las mitocondrias y el aparato de Golgi. Las porciones del citoplasma adyacentes a la membrana basal y cerca del núcleo están ocupadas por cisternas paralelas de retículo endoplásmico rugoso. El aparato de Golgi está ubicado en una posición supranuclear, entre el núcleo y la membrana celular apical, y está compuesto por cisternas paralelas de retículo endoplásmico de superficie lisa con hinchazones terminales que se contraen como vesículas secretoras que contienen caseína. Las gotas de grasa y las vesículas secretoras pueblan el citoplasma apical, y los microtúbulos se orientan perpendicularmente a la membrana plasmática para guiar el flujo de productos secretores hacia la luz alveolar. Las mitocondrias y los ribosomas libres se encuentran en todo el citoplasma (Inman *et. al.*, 2015).

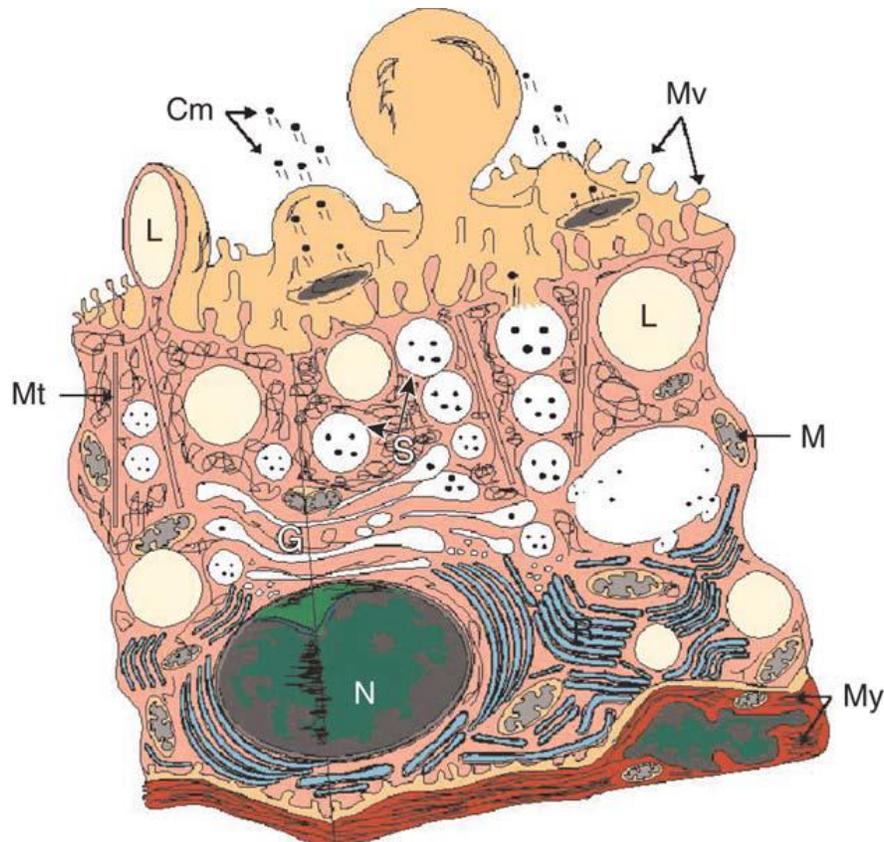


Figura 17. Diagrama de una célula epitelial alveolar típica de la glándula mamaria bovina lactante que ilustra un extenso retículo endoplásmico rugoso (R), vesículas secretoras (S) y numerosas vesículas secretoras de Golgi que contienen caseína (G) típicas de la célula productora de leche activa. Otras estructuras incluyen mitocondrias (M), microtúbulos (Mt), núcleo (N), microvellosidades (Mv) y células mioepiteliales (My). Las micelas de caseína (Cm) y las gotas de lípidos (L) se sintetizan dentro del citoplasma celular y se liberan en la luz alveolar para el almacenamiento entre ordeños (Nickerson y Akers, 2011).

Los alvéolos son drenados por pequeños conductos que poseen alguna actividad sintética. Algunos alvéolos tienen una abertura común en un conducto, o pueden abrirse directamente en otros alvéolos. Un grupo de alvéolos separados de otros grupos de alvéolos por tejido conectivo fibroso se denomina lóbulo y los conductos que drenan los alvéolos convergen en un conducto intralobular más grande común. Un grupo de lóbulos forma un lóbulo que es drenado por un conducto interlobular común, y los lóbulos forman el tejido glandular en una cuarta parte. Cada lóbulo está rodeado por tejido conectivo fibroso para separarlo de otros lóbulos. Dentro de cada lóbulo, los conductos intralobulares se fusionan para formar un solo conducto intralobar, que se convierte en el conducto interlobar a medida que emerge del lóbulo. Esta combinación de alvéolos y los conductos tubulares soportados en un marco de tejido conectivo (estroma) clasifica cada cuarto como una glándula tubuloalveolar (Ferreira *et al.*, 2013; Hurley y Loor, 2011).

6.3.3. Teta

La cisterna de la glándula se vacía ventralmente en la cisterna de la teta, la que también está revestida por un epitelio de doble capa; sin embargo, las células epiteliales superficiales (lumenales) son más columnares que cuboides, y las células basales son más pequeñas y cuboidales, esta cisterna contiene 10–50 mL de leche (Nickerson y Akers, 2011), la teta además posee un músculo del esfínter que se contrae alrededor del canal de la teta y evita que la leche se escape hacia afuera (Ferreira *et al.*, 2013). La cisterna de la teta termina distalmente en el canal de la teta, la abertura a través de la cual se extrae la leche. El canal de la teta termina distalmente en el meato u orificio de la teta, justo encima de la unión de la cisterna y el conducto de la teta, los 6–10 pliegues longitudinales del revestimiento de la cisterna convergen para formar la roseta de Furstenberg (Hurley y Loor, 2011), además de estas funciones de la teta también posee el efecto físico de amamantar a la crías y en vacas ya en lactancia, las características anatómicas y funcionales de la teta tienen una influencia considerable en el rendimiento del flujo de leche durante el ordeño y a su vez esto se relaciona directamente con la salud de la ubre (Weiss *et al.*, 2014).

6.3.4. Canal de la teta

El canal de la teta tiene una longitud de 5 a 13 mm y tiene un promedio de 8.5 mm, el diámetro varía de 0.4 mm en el extremo distal a 1.63 mm en el extremo proximal y promedia 0.46 mm en su porción media (Guarín *et al.*, 2017). Con la edad o la lactancia avanzada, el canal de la teta se alarga y aumenta de diámetro, en la unión de la cisterna de la teta y el canal de las tetas se encuentra la roseta de Furstenberg, el epitelio de doble capa cambia abruptamente ventralmente a un epitelio escamoso estratificado, que es continuo con el de la piel externa de la teta (Nickerson y Akers, 2011). El canal de la teta en el bovino es altamente especializado en su función única de prevenir, tanto la fuga de leche como la entrada de bacterias. Todas las estructuras epiteliales se caracterizan por sus células estrechamente agregadas y fuertemente adherentes y, típicamente, parte de su superficie está en contacto con el medio ambiente. Los epitelios del canal de la teta se derivan de la capa primaria de células germinales llamada ectodermo. La función de esta membrana biológica única no se limita a mantener el agua dentro del cuerpo y a los xenobióticos fuera, sino que también incluye el papel de sellador del canal de la teta durante el período seco y entre ordeños (Paulrud, 2005). La descamación continua de las células que rodean la luz del canal de la teta produce la formación de queratina en el canal de la teta, la cual bloquea físicamente el canal de la teta y, por lo tanto, evita la penetración de posibles bacterias causantes de mastitis, que ocluye la luz del canal entre los ordeños, sirviendo como barrera para la penetración bacteriana (Nickerson y Akers, 2011; Paulrud, 2005). El canal de la teta está rodeado por haces de fibras musculares lisas. Las fibras están dispuestas longitudinalmente inmediatamente adyacentes al revestimiento epitelial y de forma circular alrededor del canal más profundo en el tejido conectivo. Los músculos lisos circulares en su estado contraído funcionan para mantener el cierre hermético del canal entre ordeños para evitar fugas de leche y para mantener la queratina comprimida ocluyendo la luz del canal como una ayuda para evitar que las bacterias progresen hacia la cisterna de la teta (Nickerson y Akers, 2011).

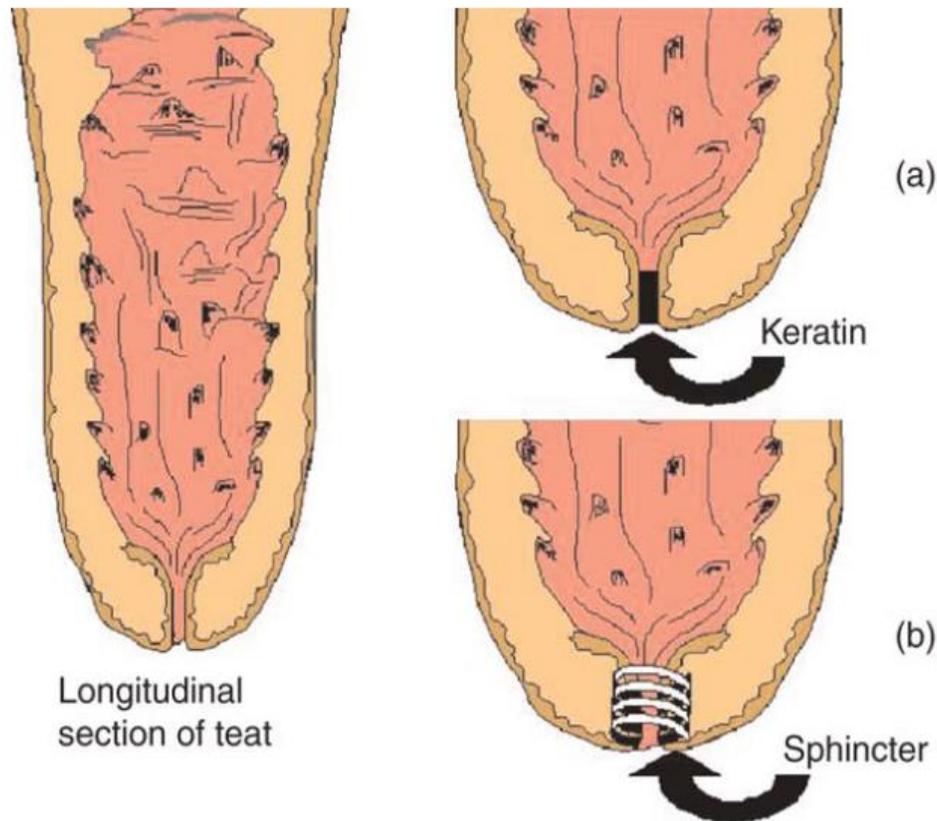


Figura 18. Diagramas de secciones longitudinales de la teta que destacan la queratina del canal (a) y el músculo del esfínter (b) (Nickerson y Akers, 2011).

6.3.5. Suministro arterial

En los bovinos lecheros el éxito de la síntesis y secreción de leche depende de la actividad coordinada de todos los sistemas fisiológicos del cuerpo, y uno de los principales sistemas es el arterial cuya actividad es esencial para la secreción láctea (Akers, 2002a). El objetivo principal del sistema arterial es proporcionar un suministro continuo de nutrientes a las células que sintetizan la leche para producir leche. Los vasos arteriales tienen paredes musculares pesadas, que ayudan a alejar la sangre del corazón hacia los tejidos periféricos. En una vaca de 500 kg, alrededor de 71000 L de sangre fluyen a través de la ubre cada día. Aproximadamente 400 volúmenes de sangre pasan a través de la glándula mamaria para producir 1 litro de leche (Nickerson y Akers, 2011; Guarín *et al.*, 2017).

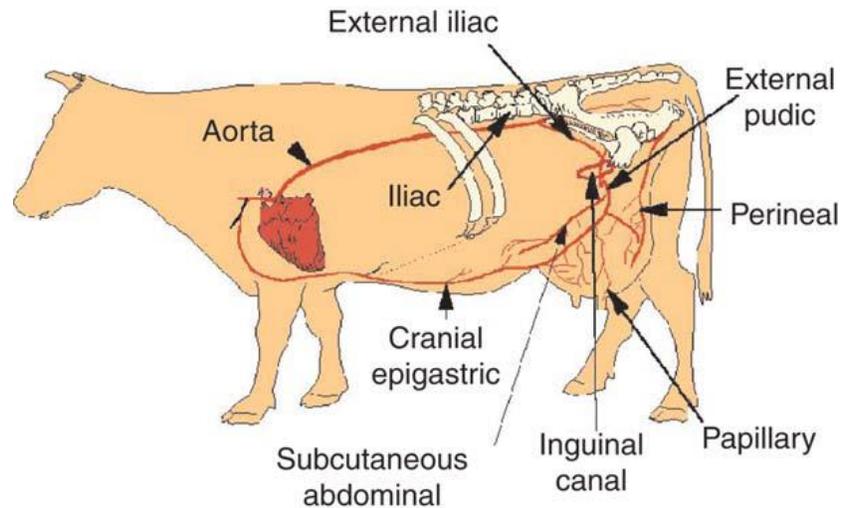


Figura 19. Diagrama de las arterias que suministran sangre a la ubre de la vaca (Nickerson y Akers, 2011).

El sistema vascular llega a la ubre a través de los canales inguinales derecho e izquierdo en la pared abdominal. La sangre arterial del corazón se suministra inicialmente a través de la aorta dorsal posterior, que se convierte en la aorta dorsal posterior abdominal después de ingresar a la cavidad abdominal. Este vaso corre paralelo a la columna vertebral hasta llegar a la sexta vértebra lumbar, y luego diverge en las arterias ilíacas derecha e izquierda, que a su vez divergen en las ilíacas internas y externas. La arteria pudenda o mamaria externa surge del ilíaco externo y pasa a través del canal inguinal hasta la superficie dorsal de la ubre. Al salir del canal inguinal, la arteria mamaria y la vena mamaria asociada siguen una ruta tortuosa formando una curva en forma de “S”, esto permite el alargamiento de los vasos sanguíneos a medida que los ligamentos suspensorios medianos se estiran para acomodar la ubre llena y distendida que gravita hacia abajo. Las arterias mamarias entran en las mitades derecha e izquierda de la ubre, justo antes de las tetas posteriores y se dividen en las arterias mamarias anterior y posterior, ramificándose en las arteriolas que abastecen los cuartos delantero y trasero, respectivamente. La arteria abdominal subcutánea generalmente surge de la arteria mamaria antes de dividirse en las ramas anterior y posterior. Esta arteria suministra sangre a la porción dorsal anterior de cada lado de la ubre. Las arterias mamarias anterior y posterior se extienden verticalmente a través del parénquima de los cuartos delantero y trasero de cada lado, respectivamente, y se dividen, terminando finalmente en capilares que forman una red que rodea los alvéolos. Las arterias mamarias también dan lugar a las arterias papilares de las tetas. Los tejidos vasculares de la teta compuestos por las arterias papilares y la plexis venosa se denominan colectivamente el cuerpo cavernoso. Las mitades de la ubre derecha e izquierda generalmente tienen su propio suministro arterial; sin embargo, algunas pequeñas conexiones arteriales pasan de la mitad a la otra. La sangre también llega a la ubre, en menor grado, a través de las arterias epigástricas y perineales craneales que irrigan, en parte, las porciones anterior y posterior de la ubre, respectivamente. La vía del flujo sanguíneo arterial conduce desde el corazón a la ubre (Madsen *et al.*, 2008; Nickerson y Akers, 2011).

6.3.6. Drenaje venoso

Después de pasar por los capilares que rodean los alvéolos y se produce el intercambio entre la sangre y los fluidos tisulares, la sangre llega a las pequeñas venas o vénulas. Estas vénulas corren en dirección dorsal y se unen para formar las venas mamarias más grandes en la base de la ubre, formando el círculo venoso. Las venas tienen paredes delgadas de tejido conectivo y presentan pocos cambios de diámetro porque la presión venosa no varía mucho. Las venas papilares de la teta también corren hacia arriba para encontrarse con las venas mamarias y convergen en el círculo venoso en la base de la ubre. La vena pudenda externa sigue el curso de la arteria pudenda externa, pasa a través del canal inguinal y se convierte en la vena ilíaca externa, que luego drena hacia la vena cava posterior. Las extensiones anteriores de las venas mamarias a ambos lados de la ubre son las venas abdominales subcutáneas muy prominentes y turgentes, también conocidas como venas de la leche en la vaca lactante madura. Éstas viajan a lo largo de la superficie ventral en una ruta bastante tortuosa debajo de la piel, pero exterior a la pared abdominal. Las dos venas de cada lado forman una anastomosis frente a la ubre y entran a través del músculo recto abdominal cerca del esternón para convertirse en las venas abdominales internas. Penetran en el diafragma para convertirse en las torácicas internas, que drenan en la vena cava anterior. Las dos rutas principales por las cuales la sangre sale de la glándula mamaria son el pudendo externo y las venas abdominales subcutáneas. Aproximadamente dos tercios de la sangre sale de la ubre a través de las venas pudendas externas y un tercio sale a través de las venas abdominales subcutáneas. Algo de sangre puede salir de los cuartos traseros a través de las venas perineales. La vía del flujo sanguíneo venoso es desde la ubre hasta el corazón (Nickerson y Akers, 2011).

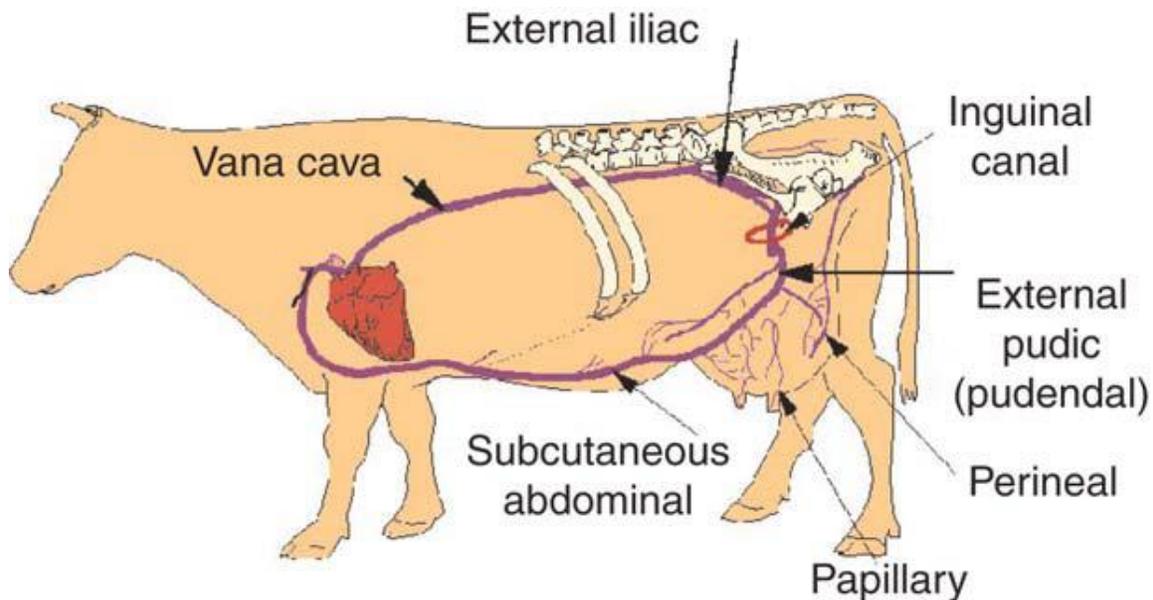


Figura 20. Diagrama de las venas que drenan la sangre de la ubre de la vaca (Nickerson y Akers, 2011).

6.3.7. Sistema linfático

Los fluidos intersticiales que se originan en los capilares que nutren las células parenquimatosas mamarias recirculan a través del sistema linfático, que transporta los productos de desecho lejos de la ubre. Los vasos linfáticos tienen paredes muy delgadas y comienzan como pequeños capilares dispersos entre los tejidos conectivos de la teta y el parénquima secretor de leche. Estos pequeños vasos convergen en vasos linfáticos más grandes hacia las porciones dorsales de la ubre, terminando en los ganglios linfáticos supramamarios en las mitades derecha e izquierda de la glándula mamaria. Estos nódulos están ubicados dorsal a los cuartos traseros, y cada lado de la ubre puede tener de uno a tres nódulos. Los nódulos sirven como filtros que eliminan o destruyen sustancias extrañas y también proporcionan una fuente de linfocitos para combatir las infecciones. La linfa se filtra a través de los nódulos entrando en el borde periférico, pasando a través de una red de senos paranasales y saliendo por el hilio a través de grandes vasos que pasan a través del canal inguinal. Los vasos pueden ramificarse y el líquido pasa a través de los ganglios linfáticos inguinales, ilíacos y prefemorales, antes de unirse al tronco linfático lumbar.

El líquido continúa hacia el conducto torácico y se vacía en la vena cava anterior. El movimiento de la linfa en los vasos de la ubre siempre es en dirección dorsal, hacia los ganglios linfáticos supramamarios. Los vasos linfáticos están equipados con válvulas unidireccionales para mantener la dirección del flujo; sin embargo, el movimiento es lento porque no hay bomba para hacer circular el fluido. Las fuerzas detrás del flujo linfático incluyen movimiento muscular, balanceo de la ubre a medida que la vaca se mueve y respiración; Por ejemplo, con cada inspiración, la linfa se extrae y se vacía en la vena cava (Gorewit *et al.*, 1993).

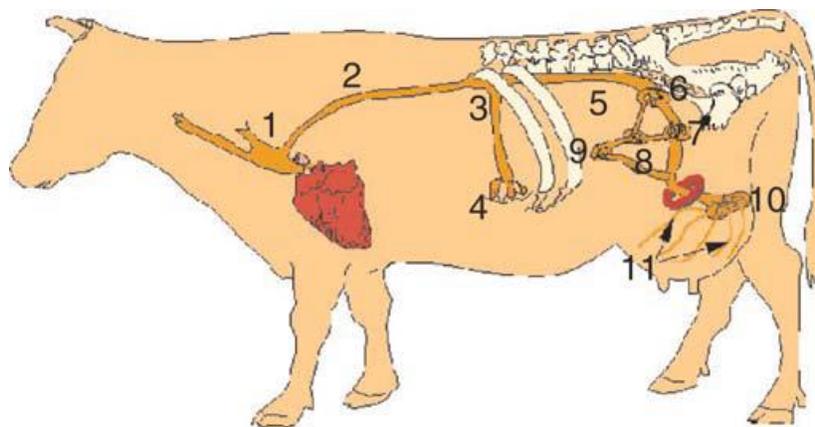


Figura 21. Diagrama del sistema linfático mamario. (1) vena cava; (2) conducto torácico; (3) cisterna chyli; (4) lácteos; (5) tronco lumbar; (6) ganglio ilíaco interno; (7) nódulo inguinal; (8) ganglio ilíaco externo; (9) ganglio prefemoral; (10) ganglio linfático supramamario; (11) ganglios linfáticos mamarios (Nickerson y Akers, 2011).

6.3.8. Sistema nervioso

Los nervios principales de la ubre son los nervios sensoriales que llevan impulsos desde los cuatro cuartos al cerebro. Otros nervios son comprensivos y están compuestos de fibras motoras hacia los músculos lisos de las paredes arteriales y los del esfínter de la teta. Estas fibras controlan las tasas de flujo sanguíneo a través de la ubre al regular el diámetro de las arterias y participan en la inhibición del reflejo de eyección de la leche. Los nervios espinales principales son los nervios lumbares primero, segundo, tercero y cuarto y los nervios espermáticos externos, que se convierten en nervios inguinales a medida que pasan a través del canal inguinal. Estos nervios se distribuyen a las glándulas mamarias y la piel a través de las fibras anterior y posterior. El primer nervio lumbar irriga la porción anterior de la ubre pero no inerva el parénquima. El segundo nervio lumbar se une al tercer nervio lumbar, que se fusiona con el segundo y cuarto nervios lumbares, formando el nervio inguinal. El nervio perineal, derivado de los nervios sacros segundo, tercero y cuarto, alimenta la porción caudal de la ubre. Las fibras aferentes del nervio inguinal envían señales desde la ubre a la médula espinal y el cerebro, mientras que las fibras eferentes envían señales desde el cerebro y la médula espinal a la ubre a través de los ganglios de la raíz ventral. Cada cuarto recibe nervios que terminan en la dermis de la piel de la ubre y las tetas, que conducen a la columna vertebral y al cerebro. La inervación de la ubre es mayor en la dermis de las tetas donde se han identificado receptores sensibles a la presión. Estas terminaciones terminales son sensibles a los estímulos físicos, como la presión, el tacto y el estiramiento, y tienden a ser más numerosas en el extremo proximal de la teta y cerca de la superficie.

No se ha establecido la naturaleza precisa de las terminaciones nerviosas, pero las terminaciones nerviosas sensoriales altamente especializadas presentes en las tetas de algunas especies no se han documentado en la vaca. Los impulsos viajan a través de las fibras aferentes a través de los nervios mamarios hasta el nervio inguinal, que se extiende a través del canal inguinal hasta los nervios lumbares segundo, tercero y cuarto, y las raíces dorsales de estos nervios llevan la señal aferente a lo largo de la médula espinal hasta el cerebro. Los nervios también surgen de la columna vertebral y terminan en los músculos de la teta y las arterias. Los haces circulares de músculo liso que rodean el canal de la teta sufren contracciones rítmicas continuas entre ordeños a través de impulsos del sistema nervioso simpático. Cuando estos nervios se cortan o se bloquean, la vaca tiende a perder leche por el canal de la teta. Durante el ordeño, los impulsos del cerebro y la médula espinal hacen que los haces musculares se relajen, lo que permite que el canal de la teta se dilate por el flujo de leche. El sistema nervioso no tiene una participación directa en la síntesis y secreción de leche o en la extracción de leche de la ubre. Estos procesos son controlados directamente por las hormonas que circulan en la sangre. Sin embargo, el sistema nervioso es esencial para el proceso de ordeño en sí mismo porque desencadena los mecanismos de liberación de hormonas de la pituitaria al tejido mamario (Nickerson y Akers, 2011).

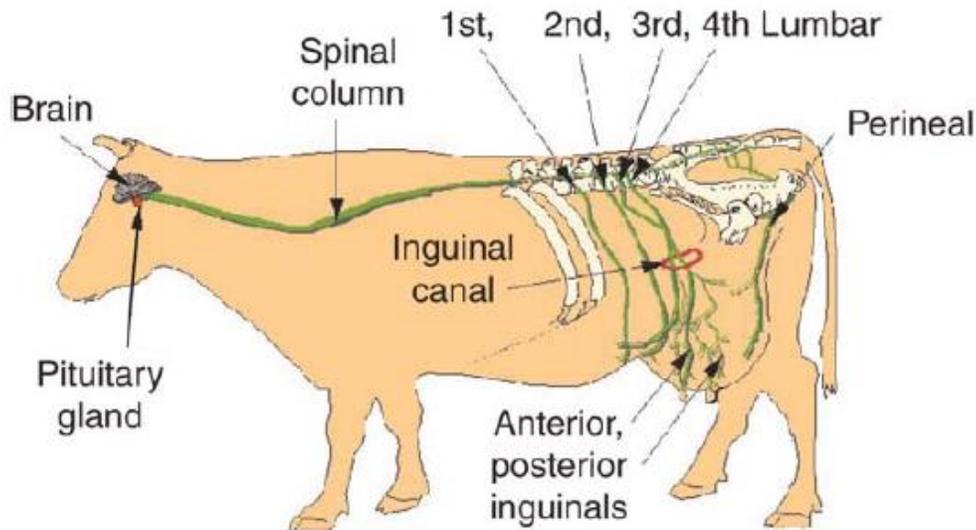


Figura 22. Diagrama de los nervios que irrigan la ubre de la vaca (Nickerson y Akers, 2011).

6.4. Sistema endocrino

El sistema endocrino participa en el control de las funciones fisiológicas, incluidas el metabolismo, el crecimiento y la reproducción, con ello regula la homeostasis del organismo. El sistema endocrino tiene una interacción estrecha con el sistema nervioso (Klein, 2014; Akers, 2002a). El sistema endocrino, quizás más que cualquier otro sistema fisiológico, juega un papel central en todos los aspectos del desarrollo mamario (mamogénesis), el inicio de la lactancia (lactogénesis) y el mantenimiento de la secreción de leche (galactopoyesis) (Gross y Bruckmaier, 2019). Un ejemplo clásico de la interacción del sistema endocrino y el sistema nervioso, es el reflejo por el que la succión produce la liberación de leche. La succión inicia la transmisión de impulsos nerviosos desde la glándula mamaria hasta el hipotálamo. Las neuronas neurosecretoras de los núcleos supraóptico y paraventricular se estimulan para que secreten oxitocina, que se transporta a lo largo de los axones de estos nervios y se libera desde las terminaciones nerviosas en la neurohipófisis hacia el sistema vascular sanguíneo, a través del cual llega a la glándula mamaria, donde produce la contracción de las células mioepiteliales. Estas células rodean la unidad más pequeña de células secretoras de leche, llamada alvéolo. Esto produce el movimiento de la leche hacia las grandes cisternas adyacentes a la teta y, como consecuencia, hacia el interior de la teta (Lacasse *et al.*, 2019).

Una hormona es definida como una sustancia química que tiene las siguientes características (Akers, 2002a; Reece, 2007; Constanzo, 2011; Klein, 2014):

- Mensajero químico que es eficaz en pequeñas cantidades.
- Es sintetizada en una glándula de secreción interna o endocrina.
- Secretada en el sistema circulatorio y transportado a través del sistema sanguíneo.
- Actúa sobre los receptores en las células blanco específicas situadas a distancia del sitio de la síntesis.
- Ejerce una acción reguladora fisiológica o bioquímica en las células blanco.

Cuadro 2. Principales hormonas que afectan el desarrollo o la función de la glándula mamaria (Lamote *et al.*, 2004; Mourupoju y Sundaresan, 2017).

Glándula endocrina	Hormona secretada	Principales efectos mamarios
Hipófisis anterior	Hormona adrenocorticotrópica (ACTH)	Estimula la secreción de cortisol en la glándula suprarrenal
	Hormona folículo estimulante	Secreción de estrógeno
	Hormona del crecimiento (GH)	Estimula la secreción de leche
	Hormona luteinizante (LH)	Estimula la secreción de progesterona
Hipófisis posterior	Prolactina (Prl)	Lactogénesis, diferenciación celular, expresión génica de la proteína de la leche.
	Hormona estimulante de la tiroides (TSH) tiotropina	Estimula la glándula tiroides para secretar tiroxina y triyodotironina
	Oxitocina	Reflejo de eyección de leche
Hipotálamo	Hormona liberadora de hormona de crecimiento (GH-RH)	Estimula la secreción de GH
	Somatostatina	Inhibe la secreción de GH
	Hormona liberadora de tiotropina (TSH-RH)	Estimula la secreción de TSH (así como Prl y GH)
	Hormona liberadora de la corticotropina (CRH)	Estimula la secreción de ACTH
Tiroides	Hormona inhibidora de prolactina (dopamina)	Inhibe la secreción de prolactina
	Tiroxina(T4) triyodotironina (T3)	Estimula el consumo de oxígeno. síntesis de proteínas
Paratiroides	Tirocalcitonina (CT)	Metabolismo de calcio y fósforo
Páncreas	Hormona paratiroidea (PTH)	Metabolismo de calcio y fósforo
Corteza adrenal	Insulina	Metabolismo de la glucosa
	Corticosterona	Lactogénesis, diferenciación celular, expresión génica de la proteína de la leche
Medula adrenal	Epinefrina	Inhibición del reflejo de eyección de la leche (periférica)
	Estrógeno (E2)	Crecimiento del conducto mamario
Ovario	Progesterona (P4)	Desarrollo lobuloalveolar mamario, inhibición de la lactogénesis
	Estrógeno (E2)	Crecimiento del conducto mamario
Placenta		
Lactógeno placentario		Desarrollo mamario

6.5. Sistemas de alimentación de becerras y su influencia sobre el desarrollo

6.5.1. Inicios de los sistemas de alimentación

Los sistemas de alimentación de becerras lecheras para remplazo, actualmente están influenciados por los sistemas intensivos de producción de leche, en donde se requiere que las becerras sean capaces de alimentarse con dietas sólidas lo más pronto posible y así reducir el costo de la alimentación durante el periodo de becerra lactante, que es una de las etapas más costosas en el proceso, por supuesto y sin olvidar el desarrollo y la nutrición de las becerras para que lleguen a cumplir con los parámetros y metas establecidas.

Durante el desarrollo de esta investigación se estimó que la alimentación líquida representa más del 90% del costo total de alimentación de la etapa de becerra lactante y la importancia de dicha etapa no radica sólo en costo, sino en el valor en el sistema productivo que tienen estos animales que se incorporarán a la producción en un tiempo determinado. A lo largo del tiempo numerosos investigadores han desarrollado diferentes sistemas o protocolos de alimentación donde se logra identificar tres puntos clave de cualquier sistema de alimentación de becerras lactantes: (1) la alimentación líquida, donde se tiene que definir volumen y calidad de leche con el cual se desea alimentar a las becerras, (2) alimentación sólida, aquí también se define el tipo de iniciador y/o forrajes que se pretende utilizar, (3) el tiempo, donde se define el periodo que abarca dicha etapa hasta el destete. La interacción de estos tres puntos clave se podría definir como el sistema de alimentación de las becerras lactantes, y la historia nos remonta a varios trabajos de descripción de los estándares de crecimiento de las becerras lecheras. Eckles en 1920 y Ragsdale en 1934 en la Universidad de Missouri, describieron solo los crecimientos que tenían dichos hatos en lugares muy específicos y no se hacía énfasis en el sistema de alimentación que aún no estaba estandarizado (Heinrichs *et al.*, 2017; Kertz *et al.*, 2017). Eckles también concluyó que los machos eran 5 a 8% más pesados que las hembras, que la duración de la gestación no estuvo relacionada con el peso corporal al nacer y que existían diferencias en el peso al nacer entre el número de lactancias de las madres.

McCandlish en 1922 publicó mediciones desde el nacimiento hasta la edad de producción y mostró que el peso corporal aumentó constantemente y proporcionalmente al producto de altura, profundidad y ancho del cuerpo, de este modo, se sugirió una relación altura: peso para mantener una proporcionalidad constante independiente de la edad (Kertz *et al.*, 2017). Trabajos posteriores realizados por, Savage y McCay en el año 1942, quienes resumieron el trabajo sobre nutrición y manejo de terneros, describiendo el "método de iniciación de becerras" para criar becerras. Un componente clave de este método fue que las terneras fueron alimentadas con pequeñas cantidades de leche (aproximadamente 10% peso corporal al nacer). Los autores argumentaron que limitar la ingesta de leche alentaba la ingesta de alimento iniciador y heno de las becerras, facilitando el destete a las 7 u 8 semanas de edad (Khan *et al.*, 2011). Actualmente reconocemos al calostro como una parte fundamental en la nutrición y salud de las becerras, pero no fue hasta 1937 cuando ya estaba bien establecida dicha importancia (Kertz *et al.*, 2017). Reemplazar la leche entera en las dietas de las becerras lactantes ha sido durante mucho tiempo un interés de los investigadores del desarrollo de las

becerras. Un trabajo muy temprano en la década de 1920 describió el reemplazo de la leche a las 4 semanas de edad con una papilla que consistía en ingredientes vegetales y harina de sangre como una fuente de proteína de alta calidad, las proteínas no lácteas incluían harina de sangre, restos de carne, harina de pescado y harina de soya. Estos ingredientes indudablemente también afectaron la digestión en becerras lactantes. El desarrollo de productos modernos para reemplazar efectivamente la leche entera en las dietas de becerras lactantes comenzó con el trabajo realizado por Wiese en 1947 y Williams y Knodt en 1949-1950. Se hicieron descubrimientos críticos en áreas que incluyen fuentes y homogeneización de grasas, suplementos de vitaminas y minerales en dietas de reemplazo, y el uso de ingredientes de alta calidad con alta digestibilidad (Kertz *et al.*, 2017). Otra contribución interesante fue la aportada por las investigaciones de Warner en 1956 y Stobo en el 1966, que concluyeron que no era recomendable alimentar con forrajes en etapas tempranas a las becerras, debido a que disminuye el consumo del concentrado iniciador y baja las ganancias de peso (Khan *et al.*, 2011). Para esos años también se estaba trabajando con los antibióticos y su efecto sobre la salud y la producción y la eficiencia alimenticia (Kertz *et al.*, 2017).

Otro enfoque que resultó en esos años fue el desarrollo del rumen que gracias a los trabajos de Warner en 1956 de la universidad de Cornell y de Tamate en el 1962 lograron concluir que la producción de ácidos grasos volátiles en especial el butirato favorecía el desarrollo de las papilas ruminales y esto se debía gracias a las altas cantidades de concentrado que consumían las becerras (Khan *et al.*, 2011; Kertz *et al.*, 2017). Warner en 1956 también aportó una estrategia sobre el uso del heno antes de finalizar la etapa de destete, debido a su mayor volumen, aumentó la capacidad del retículo y rumen sin afectar la cantidad el desarrollo de las becerras (Kertz *et al.*, 2017). En 1967, Swanson y colaboradores publicaron una estimación de patrones de crecimiento óptimos para vaquillas lecheras (Heinrichs *et al.*, 2017). Para esa década también una serie de numerosos artículos de diversas universidades y autores de Estados Unidos concluyeron en que a las becerras se les debe de tratar como individuos y eliminar posibles efectos como la raza, sexo y alimentación, una parte de estos efectos pueden eliminarse utilizando el peso al nacimiento como variable independiente en un análisis de covarianza (Kertz *et al.*, 2017). Reid y Robb (1971) evaluaron la relación de la composición corporal con la ingesta de energía y la eficiencia energética. Su trabajo demostró que las proteínas y las grasas del cuerpo estaban relacionadas linealmente con el peso corporal vacío. Además, la proteína corporal y la grasa explicaron el 99.7 y el 96.1% de la variación en BW vacío, respectivamente (Heinrichs *et al.*, 2017).

El destete temprano también se estudió y los datos se resumieron en una revisión en 1979, en donde se comprobaba que podrían lograr un crecimiento y desarrollo adecuados para el destete de las becerras a los 28 días de edad con ganancias que se consideraban adecuadas para la época (320 g/d), al igual se le atribuye que la calidad y la cantidad de iniciador consumida por la becerro fue el factor principal que contribuyó al éxito del destete temprano (Kertz *et al.*, 1979). Los resultados de muchos estudios mostraron que la proporción óptima de proteína a energía en las becerras sería 46: 1 o un poco menos y ayudó a establecer los requerimientos de proteína de la becerro lactante (Kertz *et al.*, 2017). La eficiencia alimenticia como TDN por kg de ganancia de peso corporal fue el punto final que se estudió

en varias investigaciones que compararon los niveles de alimentación de leche o iniciadores de terneros en la década de 1970, como los trabajos de Macleod (Kertz *et al.*, 2017). Los datos de Byers en 1982, sugieren que la tasa de síntesis de proteínas se vuelve limitante en el ganado más allá de una cierta ingesta de energía y tasa de crecimiento; por lo tanto, la energía no depositada como proteína se deposita como grasa, y este punto de ruptura parece tener una ganancia de aproximadamente 1 a 1.1 kg / día y probablemente depende de peso maduro (Van Amburgh, 2019).

Las recomendaciones actuales de NRC (2001) para los requerimientos de nutrientes de las vaquillas Holstein en crecimiento se basan en gran medida en un conjunto de datos recopilados de razas de carne por Garrett en 1980, con la excepción de los datos recopilados en Cornell en las décadas de 1950 y 1960 (Van Amburgh, 2019). Al igual para los años 80s, diversas investigaciones concluyeron que las fuentes de proteína para los sustitutos de leche de origen vegetal tenían poca digestibilidad y causaban diarreas en las becerras, lo que propició que las proteínas de suero para ese entonces se convirtieran en la principal fuente de proteína para los sustitutos de leche, así como también se determinó la importancia del consumo de agua en la etapa lactante de las becerras, dado que promueve el consumo de iniciador, lo cual tiene efectos sobre la eficiencia del sistema de alimentación que se pretende utilizar (Kertz *et al.*, 2017). Heinrichs y Hargrove (1987) publicaron los estándares de crecimiento de peso y altura de la novilla Holstein derivados de estudios de población que mostraron que las vaquillas eran más grandes que los estándares publicados anteriormente, lo que probablemente representaba cambios en los programas de reproducción a lo largo del tiempo. Además, publicaron estudios de crecimiento de la población de otras razas lecheras de 2 a 24 meses de edad (Heinrichs *et al.*, 2017). Los resúmenes de datos de Kertz en 1998, proporcionaron descripciones del crecimiento de becerras Holstein durante la fase de desarrollo (Heinrichs *et al.*, 2017). El mayor interés en el área de crianza de becerras probablemente se debió en parte a los cambios en la industria, con granjas más grandes y más empresas especializadas en la cría de terneros (Kertz *et al.*, 2017). La publicación de la séptima versión revisada de requisitos de nutrientes de ganado lechero (NRC, 2001), que contenía un capítulo completo sobre nutrición de terneros junto con un modelo matemático para calcular los requisitos de terneros, ayudó a enfatizar las necesidades de nutrientes variables para el crecimiento y el estrés por frío. Kertz y ChesterJones (2004) publicaron una revisión actualizada sobre las pautas para medir e informar a los investigadores, lo que mejoró la calidad de muchos estudios de investigación; sin embargo, esto sigue siendo un área que puede mejorarse (Heinrichs *et al.*, 2017; Kertz *et al.*, 2017; Van Amburgh, 2019). Posterior a estas numerosas investigaciones, los investigadores están enfocados específicamente en mejorar el desarrollo de las becerras en la etapa de crianza, ya sea modificando los sistemas de alimentación en cualquiera de sus puntos clave, la leche y sus componentes (volumen, sólidos, frecuencia) los iniciadores y sus calidades (niveles de nutrientes, adición de aminoácidos y minerales) destete y transición (tiempo, cantidad de leche y consumo de concentrado), así como la etapa postdestete.

6.6. Programas de alimentación de becerras

6.6.1. Sistemas de alimentación convencional

Numerosas son las investigaciones que definen a los sistemas de alimentación convencionales para becerras lecheras, como los que están basados en la hipótesis de que limitar el consumo de leche cercano al 10% del peso corporal promueve el consumo de concentrado iniciador (Soberon *et al.*, 2012; Eckert *et al.*, 2015; Kertz *et al.*, 2017; Vailati-Roboni *et al.*, 2018; Haisan *et al.*, 2019) lo cual aumenta el desarrollo de ácidos grasos volátiles y favorece el desarrollo de las papilas ruminales (Khan *et al.*, 2011; Kertz *et al.*, 2017), dichos sistemas se vienen desarrollando desde la década de los 40. Los investigadores argumentan que bajo este tipo de sistema de alimentación se puede destetar a las becerras a las 7 u 8 semanas de edad (Khan *et al.*, 2011) y así poder reducir los costos y el manejo de esta etapa, al igual que disminuir la incidencia de diarreas (Soberon y Van Amburgh, 2013).

En investigaciones posteriores queda demostrada la importancia del desarrollo óptimo de las becerras y gracias a estas investigaciones se han logrado establecer parámetros y objetivos de crecimiento adecuados para las becerras lecheras (Van Amburgh, 2019) y el impacto que tiene sobre la primera lactancia (Soberon *et al.*, 2012; Soberon y Van Amburgh, 2013) y la vida productiva de las becerras (Heinrichs *et al.*, 2017). Posterior a la década de los 40 y teniendo estos protocolos como base, se han hecho modificaciones para tratar de mejorar los parámetros de crecimiento y disminuir los costos de la etapa lactante de las becerras, sin perder de vista el objetivo principal de este programa que es limitar la ingesta de leche, para promover la ingesta de iniciador, promover el desarrollo del rumen y reducir la edad de destete (Khan *et al.*, 2011). Algunas de estas modificaciones incluyen incrementar el porcentaje de alimentación ofrecida en relación el peso corporal, pasando del 10% al 20% (Haisan *et al.*, 2019) al igual que la edad al destete y la cantidad total de leche que consumen las becerras tiene un impacto sobre el crecimiento, desarrollo del tracto digestivo y el comportamiento de las becerras al alimentarlas con un nivel más elevado de nutrición (Eckert *et al.*, 2015), lo cual tiene un efecto directo sobre la producción de estas becerras en su primer lactancia y posteriores (Soberon *et al.*, 2012; Soberon y Van Amburgh, 2013), además de disminuir el porcentaje de desecho a la segunda lactancia (Bach *et al.*, 2013).

Se puede esperar que la transición se vuelva más desafiante en los planos de nutrición más altos debido a una menor ingesta de alimento sólido (Eckert *et al.*, 2015). Si el programa de alimentación no está bien desarrollado y no toma en cuenta la interacción de los tres puntos clave de los programas de alimentación, se puede tener un efecto negativo sobre el desarrollo de las becerras al combinar una alimentación con altos volúmenes de leche y un destete abrupto, ya que puede comprometer el desarrollo del rumen antes y durante el destete, así como afectar el crecimiento posterior al destete, al igual se ha comprobado que las becerras alimentadas con grandes cantidades de leche mostraron consumo reducido posterior al destete y la pérdida de peso durante un esquema de destete abrupto a los 40 días de edad (Eckert *et al.*, 2015). También se tienen resultados del efecto que tiene alimentar a las becerras con niveles restringidos de leche si no son manejados adecuadamente, ya que las becerras muestran signos de estrés y tienen tasas de crecimiento pobres, así como

indicaciones de hambre y problemas importantes de bienestar (Khan *et al.*, 2011; Eckert *et al.*, 2015; Mirzaei *et al.*, 2017). Recientemente también se ha estudiado la frecuencia de alimentación en los mismos protocolos convencionales y se sugiere que el aumento de la frecuencia de alimentación regula las concentraciones de metabolitos en plasma y puede alterar la utilización de nutrientes dentro de los terneros, lo que puede aumentar la tasa de crecimiento en comparación cuando las becerras son alimentadas con grandes volúmenes de leche en pocas tomas (Rosenberger *et al.*, 2017; Haisan *et al.*, 2019). Algunas modificaciones al sistema convencional, con buenos resultados, incluyen la modificación activa del porcentaje de alimentación en relación al peso corporal, ofreciendo inicialmente un 20% del peso corporal durante 25 días, para luego disminuir al 10% durante 15 días e interactuar con el periodo de transición para hacer un destete gradual al día 60, donde las becerras consumieron más alimento sólido (40%) y ganaron un mayor peso corporal (36%) (Khan *et al.*, 2009). O los programas de alimentación que tienen énfasis en el proceso de transición y destete temprano o tardío, una investigación comparó el efecto de destetar becerras a las 6 semanas de edad contra destetarlas a las 8 semanas, los resultados de este estudio sugieren que los terneros alimentados con una mayor cantidad de leche antes del destete tienen más ingesta de nutrientes (35%), mayores tasas de crecimiento (10%), más desarrollo gastrointestinal al destete (160% menos de almidón fecal) y menos signos de comportamiento de dificultad de destete cuando se destetan a las 8 semanas en comparación con las 6 semanas de edad (Eckert *et al.*, 2015). Actualmente y en estudios más recientes aún se sigue investigado sobre las modificaciones a los sistemas de alimentación convencionales, una investigación en donde las becerras fueron alimentadas con alimentadores automáticos y que interactúa con el volumen de leche consumida, la edad al destete, el destete gradual, y la frecuencia de alimentación indica que las becerras alimentadas en un plano de nutrición más elevado y con un proceso de transición de destete gradual, tuvieron mayores tasas de crecimiento (18%), mayor consumo (44%) frecuencia de alimentación (4 veces por día contra 2) y efecto del destete gradual de 10 días en un programa adecuado para el desarrollo de la becerras (Haisan *et al.*, 2019).

6.6.2. Sistemas de alimentación aumentada o enriquecida

Con base en la hipótesis de que incrementar la nutrición de las becerras en la etapa lactante mejora las tasas de crecimiento de dichos animales, se han propuesto modificaciones al sistema de alimentación convencional, uno de los principales parámetros a modificar es el volumen ofrecido de leche, probablemente porque es relativamente sencillo y de menor costo para los sistemas de producción intensivos que hacer otro tipo de modificación en la nutrición de las becerras (implementación de sustitutos de leche en sus diversas calidades, modificar la frecuencia de alimentación o implementar un ajuste de sólidos) es por eso que se opta esta modificación como la primera opción para los productores (Rosenberger *et al.*, 2017). A partir del año 2000 las investigaciones sobre este tema se intensificaron, numerosas investigaciones y con diferentes enfoques han tocado el tema de incrementar el volumen de leche durante la etapa lactante de la becerro, sin embargo, variados han sido también los resultados, al incrementar el volumen de leche ofrecida algunos trabajos presentan aumentos en las ganancias de peso al destete (Khan *et al.*, 2011), también en otras investigaciones se establece que las becerras alimentadas ad libitum, son capaces de consumir volúmenes de

leche mayores, aproximadamente un 80% más que el sistema convencional (Jasper and Weary, 2002). Se estima que en promedio en un sistema ad libitum la ingesta de leche esté entre el 16% al 20% del peso vivo o del 2% al 2.5% de peso vivo en materia seca (Drackley, 2008), lo que significa que las becerras consumen hasta 12 litros de leche por día (De Passillé *et al.*, 2011) dividido en 8 a 12 tomas por día (Eckert *et al.*, 2015). De forma natural, el destete ocurre de forma gradual y se estima que el proceso concluye de los 8 a 10 meses de edad (Eckert *et al.*, 2015). Con el objetivo de definir mejor los requerimientos de energía para el crecimiento de las becerras Holstein (Kertz *et al.*, 2017) una de las principales investigaciones que aborda el tema, en la cual se modificó la ingesta de leche en 1%, 2% y 4% del peso vivo en materia seca, obtuvo resultados de ganancias diarias de peso 560 g, 973 g y 1,100 g, respectivamente para los grupos y concluyeron que existe un incremento lineal conforme se aumentan la cantidad total de sólidos totales de leche (Diaz *et al.*, 2001) en comparación con el sistema convencional donde es limitado el consumo de leche, y dado que en las primeras semanas de vida su consumo de concentrado es considerablemente bajo se esperan ganancias diarias de peso de 300 g en condiciones termoneutrales (Drackley, 2008).

En el protocolo de alimentación de Diaz *et al.* (2001) ya se incluía la interacción del volumen de leche, frecuencia de alimentación y calidad de leche, dado que los grupos de becerras se alimentaron ajustando la cantidad de sólidos de 15 al 18% y se les ofrecía en tres tomas por día. Otro punto importante es la calidad de leche que recibieron las becerras, ya que era a base de un sustituto de leche alto en proteína (30% proteína curda; PC) y 20% de grasa (Diaz *et al.*, 2001) y esto lo hicieron con la finalidad de asegurar que la proteína no limitara el crecimiento. También cabe destacar que los sustitutos de leche convencionales contienen 20 a 22% de PC pero gracias a estas investigaciones se logró establecer que las becerras se benefician más cuando el programa de alimentación aumentada es a base de los sustitutos de leche que contienen alta proteína y grasas bajas (Khan *et al.*, 2011). Bajo este esquema de alimentación se ha observado un aumento en el crecimiento de tejido magro de las becerras (Diaz *et al.*, 2001), lo que incluye el desarrollo de órganos y tejidos de vital importancia para la vida productiva de las becerras, como corazón, sistema digestivo, glándula mamaria y el desarrollo general de las becerras (Geiger *et al.*, 2016a) aumentando la ganancia diaria de peso (GDP) en un 35% (Geiger *et al.*, 2014) y algunas otras investigaciones reportan hasta un 53% de aumento en GDP (Nonnecke *et al.*, 2003). A manera experimental es complicado mantener el porcentaje de alimentación en relación al peso corporal a lo largo de la etapa lactante de las becerras, ahora si esto se pone en el contexto de los sistemas comerciales de producción intensiva y tomando en cuenta que para 2018 en Estados Unidos, más del 50% de las granjas tenían más de 1,000 vacas (IFCN, 2019), esto aumenta la complejidad de ofrecer el porcentaje adecuado a cada individuo, es por eso que en los protocolos de alimentación ofrecen los parámetros a seguir durante esta etapa para poder alcanzar desarrollos adecuados en las becerras.

En relación a los sistemas de alimentación aumentada enfocados en aumentar la dieta líquida, uno de los principales factores a tener en cuenta es el efecto que esto tiene sobre la transición a dieta sólida o el destete la cual tiende a ser más complicada (Bach *et al.*, 2013), en parte por el consumo de iniciador, dado que el volumen de leche es mayor, se espera que se tenga

un menor consumo de concentrado (Dennis *et al.*, 2018a; De Passillé *et al.*, 2011) inversamente proporcional al aumento en el volumen de leche (Dennis *et al.*, 2018b). Igualmente se observa un bajo consumo de iniciador cuando se alimentan de manera ad libitum (Jasper and Weary, 2002; Hill *et al.*, 2013) y la ingesta de iniciador empieza de manera más temprana en las becerras bajo la alimentación convencional o restringida versus ad libitum (Jasper and Weary, 2002; De Passillé and Rushen, 2012), de manera que para el día 35 de vida el consumo promedio acumulado era 102% mayor en becerras cuya alimentación era restringida en comparación con las becerras alimentadas ad libitum (Jasper and Weary, 2002). En otras investigaciones se reporta que los consumos con la misma tendencia al día 42 el consumo acumulado fue 30% más alto para el grupo convencional (Hill *et al.*, 2013), al día 45 el consumo de iniciador era 52% mayor en las becerras alimentadas convencionalmente y para el destete esa brecha se redujo al 10% (Bach *et al.*, 2013).

Con base en esto y buscando nutrir de mejor manera a las becerras, se han diseñado diferentes estrategias para fomentar el consumo de iniciador y que no sea una limitante al momento del destete en los sistemas de alimentación aumentada. En algunas investigaciones se propone ajustar la edad del destete conforme se alcancen los objetivos de consumo de iniciador establecidos (De Passillé and Rushen, 2012), modificar la edad al destete (Eckert *et al.*, 2015), modificar la transición de alimento líquido a sólido que sea más gradual (Dennis *et al.*, 2018b) dado que se tienen mejores resultados en comparación con un destete abrupto (Eckert *et al.*, 2015). Al trabajar con protocolos de alimentación cuyo enfoque es el ajuste de la edad al destete en base al consumo, el factor principal es el consumo de iniciador el cual depende de varios factores, siendo de los más relacionados el consumo de leche en relación al peso de las becerras; se ha establecido que a un mayor volumen de leche consumida las becerras se sienten con un nivel más alto de saciedad debido a factores químicos (niveles más altos de insulina en sangre) y mecánicos (llenado intestinal continuo) (Khan *et al.*, 2011).

En los sistemas ad libitum se ha demostrado que el consumo puede ser muy variable entre los individuos (De Passillé and Rushen, 2012; Jasper and Weary, 2002) y en el mismo individuo entre un día y otro (De Passillé and Rushen, 2012; Dennis *et al.*, 2018a; Bach *et al.*, 2013) lo que influye, a su vez, sobre el consumo de iniciador (Dennis *et al.*, 2018a). Definir un consumo inicial como punto de partida para el destete de las becerras es algo que aún no se ha definido, dada la variabilidad del consumo de leche en los sistemas ad libitum, donde los objetivos de consumo para finalizar el destete son un poco más estandarizados que van de 1.5 a 2 kilos para los sistemas convencionales, sin embargo, los resultados de una investigación que aborda el tema del ajuste de la edad al destete, indica que al establecer un objetivo alto para iniciar el destete (400 g) y un objetivo bajo para terminar el destete (800 g), tuvo como resultado disminuir la edad al destete a 58 días en comparación con 69 días del grupo cuyos objetivos fueron altos, al inicio del destete (400 g) y para finalizar el destete (1,600 g). Esto se le atribuye a que una vez alcanzado el objetivo inicial alto (400 g) el efecto directo que tiene disminuir la leche sobre el consumo de concentrado es positivo y si se establece un objetivo de destete bajo (800 g) esto fomentará aún más el consumo de iniciador. Cabe destacar que las becerras en esta investigación fueron alimentadas en un plano elevado de nutrición (ad libitum), en cuanto a peso se informó que a los 87 días el grupo que se desteto

a los 58 días pesó 122 kg contra 119 kg del grupo que se destetó a los 69 días (De Passillé and Rushen, 2012).

Otro enfoque para motivar el consumo bajo esquemas de alimentación elevados, es centrarse principalmente en los días en los cuales se iniciará el destete y hacerlo de una manera gradual para que las becerras compensen la disminución de leche consumida con el consumo de iniciador. Una investigación que aborda este tema en específico indica el efecto que tiene destetar becerras a las 6 u 8 semanas de edad sin ajustar el volumen de leche ofrecida, las becerras destetadas a las 8 semanas tuvieron un 84% más (2,500 g) de consumo de iniciador que las que se destetaron a las 6 semanas (1,357 g). En cuanto al peso las becerras fueron 9.8% más pesadas en el grupo destetado a las 8 semanas (99.9 kg) que el grupo destetado a las 6 semanas (91 kg), los autores mencionan que las becerras destetadas a las 8 semanas tuvieron un menor descenso en la ingesta de energía metabolizable (EM) al momento de la disminución de la leche para iniciar el destete lo cual indica que las becerras estaban mejor preparadas y se adaptaron mejor al suplir la baja de EM proporcionada por la leche con el iniciador, y prueba de eso fue que las becerras destetadas a las 8 semanas tuvieron una disminución de 160% en el almidón fecal (Eckert *et al.*, 2015).

Otra investigación con resultados similares indica que las becerras alimentadas en un plano de nutrición más elevado, bajo el sistema ad libitum consumieron 83% (46 kg/becerra) más de leche o sustituto de leche contra las becerras cuya alimentación era restringida (25.3 kg/becerra), lo que se reflejó en un 8.4% de incremento de peso corporal en el grupo ad libitum (78.6 k) a los 56 días contra el grupo de alimentación restringida (72.5 kg), al igual que la eficiencia alimenticia fue mejor para dicho grupo, cabe mencionar que al igual que en las demás publicaciones que abordan el tema se reportó una disminución en el consumo de iniciador de un 57% en el grupo ad libitum (0.45 kg/d) contra el grupo restringido (0.70 kg/d) (Dennis *et al.*, 2018a). En conclusión, diversas son las estrategias que se pueden llevar a cabo para mejorar la nutrición de las becerras aprovechando el potencial de ingesta de leche que tienen en los primeros meses de vida, sin que se vuelva un obstáculo para alcanzar los objetivos planteados en el consumo de iniciador y fomentar el desarrollo del rumen y el desarrollo general de las becerras.

Cuadro 3. Principales enfoques y modificaciones al programa tradicional de alimentación de becerras.

Tipo de sistema	Unidad	Enfoque	Modificación
Sistema tradicional	10% en relación al peso vivo	Volumen	<ul style="list-style-type: none"> • Entre el 10-20% del peso vivo • Frecuencia de alimentación 3 tomas • Ad libitum/ automatizado
Sistema tradicional	12% de sólidos totales en leche	Calidad de leche	<ul style="list-style-type: none"> • Entre el 12-20% de sólidos totales • Sustitutos y calidad relación grasa-proteína • Ajuste de sólidos en leche
Sistema tradicional	60 días al destete	Transición	<ul style="list-style-type: none"> • 40-70 días de edad al destete • Ajuste del destete por consumo • Destete gradual con días establecidos
Sistema tradicional	18-20 % de PC en iniciadores	Alimentación solida	<ul style="list-style-type: none"> • Entre el 20-28% PC en iniciador • Fomentar consumo de iniciador

6.6.3. Sistemas de alimentación con enfoque en desarrollo de glándula mamaria

La glándula mamaria es uno de los pocos órganos del cuerpo que experimenta ciclos repetidos de desarrollo estructural, diferenciación funcional y regresión (Hurley y Loor, 2011). Comprender como son los ciclos de crecimiento y desarrollo de la glándula mamaria (mamogénesis) debería ser uno de los factores principales a tomar en cuenta en la nutrición de las becerras (Van Amburgh, 2019), y por supuesto, al desarrollar un sistema de alimentación (Geiger, 2019). Además, el manejo cuidadoso de estos ciclos es un punto clave para una lactancia exitosa en las becerras lecheras (Hurley y Loor, 2011), lo que podría traducirse en un aumento en la producción de la primera lactancia (Soberon *et al.*, 2012; Van Soberon y Van Amburgh, 2013; Amburgh, 2019) y la vida productiva de las becerras (Heinrichs *et al.*, 2017; Van Amburgh, 2019) lo cual genera un retorno de inversión más atractivo para los productores (Geiger, 2019) y apoyaría el objetivo de la agenda de seguridad agroalimentaria de la FAO, ya que se considera que la producción lechera juega un papel fundamental en la nutrición del mundo (FAO, 2019b; Geiger, 2019).

No solo es importante ofrecer a las becerras un nivel elevado de nutrición sin sobrecondicionarlas, para alcanzar los objetivos de crecimiento y desarrollo, sino también se debe comprender el efecto que esto tiene sobre la glándula mamaria (Van Amburgh, 2019),

es importante analizar con que objetivos específicos se han desarrollado los sistemas de alimentación con enfoque en el desarrollo de la glándula mamaria, una de las primeras investigaciones aplicadas en bovinos que desarrolló el tema, se llevó a cabo a principios de los años 80s por Sejrsen *et al.* (1982). En dicha investigación describen los efectos de la alta ingesta de energía en el desarrollo mamario y la relación con la hormona de crecimiento circulante, lo cual se relacionó entre el crecimiento prepuberal, el desarrollo mamario y la producción futura de la leche (Van Amburgh, 2019), la idea era acortar el período no productivo de las becerras, alentando a una edad más joven al primer parto. Para que el primer parto ocurra antes, también debe ocurrir una reproducción más temprana y, por lo tanto, la pubertad a una edad más temprana (Geiger, 2019). El objetivo primario de ese estudio fue proporcionar un mecanismo intuitivo para explicar por qué el rápido crecimiento durante la fase prepuberal resultó en una producción de leche reducida en la primera lactancia (Van Amburgh, 2019), esta y otras investigaciones posteriores concluyeron que la ingesta de alta energía reducen el desarrollo mamario a través del estado hormonal alterado o los procesos de señalización (Van Amburgh, 2019), principalmente la hormona de crecimiento y la leptina, las cuales juegan un papel importante en el desarrollo de la glándula mamaria y están asociadas directamente a la ingesta de nutrientes (Meyer *et al.*, 2006b). Otras hormonas que actúan activamente en el desarrollo de la glándula mamaria, son la progesterona y los estrógenos y estas hormonas están asociadas con la pubertad principalmente (Connor *et al.*, 2007). Otra explicación es que el incremento en la masa de la almohadilla de grasa mamaria, acompañado de un incremento de peso prepuberal excesivo impiden el correcto desarrollo del parénquima mamario (Geiger, 2019), pero no fue hasta 2006 cuando se determinó que las GDP excesivas acortan la ventana de tiempo de crecimiento alométrico, lo que limita el desarrollo de la glándula mamaria durante este tiempo (Van Amburgh, 2019; Geiger, 2019). Es decir, que la edad fisiológica de la becerro al momento de la pubertad es un importante regulador de desarrollo mamario (Meyer *et al.*, 2006b), independientemente de la ingesta elevada de nutrientes se demostró que no afecta las características de crecimiento de la glándula mamaria, incluidas las tasas de crecimiento del parénquima mamario y las células epiteliales (Meyer *et al.*, 2006a). El resultado principal de este trabajo fue demostrar que la glándula mamaria, similar a todos los demás órganos reproductivos, crece en proporción al tamaño del cuerpo y a una velocidad aparente predeterminada y no en proporción a la ingesta de nutrientes durante la fase postdestete y prepuberal (Van Amburgh, 2019). El peso corporal está altamente correlacionado con la pubertad (Geiger, 2019) y fue la hipótesis para varios trabajos que buscaron disminuir la edad al parto de las vaquillas, pero no solo el peso es importante, también la composición de dicho peso en las becerras y vaquillas, lo cual está en función de los porcentajes de grasa y proteína acumulados en los tejidos (Van Amburgh, 2019). Teniendo en cuenta los parámetros de crecimiento establecidos para el ganado bovino lechero y partiendo del peso maduro (PM) como objetivo (Van Amburgh, 2019) se establece que la pubertad se alcanza entre el 38 y 40% del peso adulto, el peso a la gestación debe ser entre 55 y 60% y el peso al parto entre 82 y 85%, todo esto en relación al PM (Drackley, 2008; Van Amburgh, 2019), lo cual da un estimado del peso al momento del destete, cercano al 13% del PM, o en un panorama conservador duplicar el peso al nacimiento (Van Amburgh *et al.*, 2008). Con relación a lo anterior, se pueden describir algunos de los trabajos más

representativos que abordan el desarrollo de la glándula mamaria y el efecto que tiene la alimentación sobre dicho proceso. En el trabajo de Sejrse *et al.* (1982) se alimentaron becerras en un plano restringido para obtener ganancias de 600 g por día contra becerras alimentadas ad libitum, los resultados mostraron que las becerras de alimentación restringida, tuvieron un desarrollo del parénquima mamario un 23% superior a las becerras ad libitum. En dicha investigación no se describe como fue la nutrición que llevaron dichas becerras en la etapa lactante, actualmente sabemos de los efectos positivos sobre el desarrollo que tiene el incrementar el porcentaje de nutrición en relación al peso corporal (Drackley, 2008; Haisan *et al.*, 2019), la edad al destete (Eckert *et al.*, 2015), la frecuencia de la alimentación (Haisan *et al.*, 2019), la alimentación activa a lo largo de la etapa lactante (Khan *et al.*, 2011), el incrementar el porcentaje de sólidos en la leche (Diaz *et al.*, 2001; Nonnecke *et al.*, 2003; Geiger *et al.*, 2014; Geiger *et al.*, 2016a) o la transición al destete (Eckert *et al.*, 2015; Dennis *et al.*, 2018b). Siguiendo con la investigación de Sejrse *et al.* (1982), las becerras alimentadas ad libitum (7 m) alcanzaron la pubertad un 5.4% más rápido que las becerras cuya alimentación fue restringida (7.4 m), y el desarrollo del parénquima mamario durante la pubertad fue un 30% menor en el grupo ad libitum (495 g) contra el grupo restringido (642 g) y en la última medición esa diferencia se redujo solo al 3%. La conclusión de este trabajo indica que las vaquillas criadas con altos niveles de nutrición durante la fase alométrica del desarrollo mamario tenían menos tejido secretor en sus glándulas mamarias que las criadas con una tasa de crecimiento normal. El rápido crecimiento después del período alométrico no afectó el tejido secretor mamario. Si se hace una comparación con las hipótesis actuales de la explicación del porqué se obtiene menor desarrollo, nos damos cuenta que efectivamente el periodo que duró la pubertad también fue un 30% más corto debido a que la GDP era mayor en el grupo ad libitum (Meyer *et al.*, 2006b) y además el incremento en el tejido adiposo (Geiger, 2019) que es otra de la hipótesis que explican el bajo desarrollo en esos sistemas de alimentación. Dado que se reporta un 6% más de tejido graso en el grupo ad libitum (Sejrse *et al.*, 1982), una investigación complementaria asoció la alimentación con el desarrollo de la glándula mamaria a través de hormonas y concluye que la relación positiva entre la hormona del crecimiento en el suero sanguíneo y el crecimiento epitelial mamario sugiere un efecto negativo del exceso de energía sobre el crecimiento mamario en las vaquillas prepuberales dado que los niveles de esta hormona fueron menores para el grupo ad libitum, caso contrario de la insulina cuyos niveles estuvieron más altos para dicho grupo y esto se asocia directamente con la ingesta de alimento (Sejrse *et al.*, 1983).

Posterior a esto siguieron varias investigaciones a finales de los 80s y los 90s, bajo la misma conclusión de que alimentar a las becerras con planos elevados de nutrición disminuía el desarrollo de la glándula mamaria (Van Amburgh, 2019). Cabe señalar que la mayoría de estas investigaciones estaban enfocadas en la alimentación postdestete o prepuberal, ya a principios de los años 2000 fue cuando se publicaron las investigaciones de Meyer *et al.* (2006a,b), en dichas investigaciones se alimentó a un grupo de becerras con un plano de nutrición elevada (950 g GDP) contra un grupo restringido (650 g GDP). También es importante señalar que el sustituto de leche era más elevado en proteína en el grupo de nutrición elevada (29.3% PC) en relación al restringido (22 % PC). El peso fue 13.5 % mayor para el grupo de nutrición elevada al igual que la GDP, lo cual influyó para que las becerras

alcanzaran la pubertad a menor edad un 44% más rápido, a los 245 días contra el grupo restringido que fue a los 353 días. En cuanto al desarrollo de la glándula mamaria, efectivamente si se evalúa con relación al peso corporal como en la investigación de Sejrse *et al.* (1982), se observa una reducción del grupo alimentado en un plano elevado, sin embargo, esta investigación fue la primera en evaluar la variación en el ADN del parénquima mamario (PAR) atribuible a las diferencias de edad al momento del sacrificio, específicamente, estos datos demostraron que el uso de la edad al sacrificio como covariable eliminó el efecto de la nutrición en el contenido de ADN de PAR, lo que sugiere que a un peso corporal, la mayor parte de la variación en el ADN de PAR es un reflejo de las diferencias de edad al sacrificio (Meyer *et al.*, 2006a). Es importante señalar que en la etapa postdestete en la primera evaluación del desarrollo de la glándula mamaria, el contenido de ADN de PAR era 11.3 % mayor en las becerras alimentadas con un plano nutricional elevado en comparación con las restringidas, lo que indica un efecto positivo de dicho sistema de alimentación (Meyer *et al.*, 2006a) en el cual se incluía un nivel elevado de proteína lo cual se traduce en un aumento en el crecimiento de tejido magro de las becerras (Diaz *et al.*, 2001; Meyer *et al.*, 2006a) lo que incluye el desarrollo de órganos y tejidos de vital importancia para la vida productiva de las becerras, como corazón, sistema digestivo, glándula mamaria y el desarrollo general de las becerras (Geiger *et al.*, 2016a). En conclusión, independientemente de la ingesta elevada de nutrientes se demostró que la sobrealimentación no afecta las características de crecimiento de la glándula mamaria, incluidas las tasas de crecimiento del parénquima mamario y las células epiteliales (Meyer *et al.*, 2006a).

En la segunda parte de esta investigación se describe que el crecimiento alométrico es similar en becerras alimentadas en un plano de nutrición elevado, al igual que la proliferación basal *in vivo* de células epiteliales mamarias bovinas prepuberales, de hecho, se observó una tendencia hacia una mayor proliferación de células epiteliales en respuesta a una ingesta elevada de nutrientes en la vida temprana. Esto se observó en la primera evaluación postdestete, además, la tasa de acreción de ADN de PAR y la dinámica del crecimiento alométrico prepuberal de PAR fueron esencialmente idénticas entre becerras en un nivel elevado o restringido de ingesta de nutrientes (Meyer *et al.*, 2006b), con la ventaja de que se obtienen dichos resultados a una menor edad, en esta investigación eran un mes más jóvenes las becerras (Meyer *et al.*, 2006b), lo cual se comprueba que es factible desarrollar sistemas de alimentación enfocados en una nutrición elevada. La evidencia de que el desarrollo de la glándula mamaria responde positivamente al incremento de la nutrición elevada durante el predestete (Meyer *et al.*, 2006a,b) motivó el desarrollo de nuevas investigaciones bajo este mismo enfoque, y para probar los efectos a largo plazo y en la vida productiva de las becerras Soberon *et al.* (2012). En dicha investigación el objetivo fue investigar la relación entre una ingesta elevada de nutrientes en la etapa predestete y su rendimiento futuro de leche. El sistema de alimentación utilizado en esta investigación modificó activamente el porcentaje de nutrientes en relación al peso vivo durante la etapa predestete, pasando de 1.5% los primeros 7 días para pasar al 2.5% de 8 a 42 días y reduciendo a 1% en la transición al destete, esto para las becerras del hato de Cornell, mientras que para el hato comercial con alimentación convencional de 0.9 kg de sustituto de leche hasta el destete que era aproximadamente a los 49 días de edad, se obtuvo registro de más 1,800 vacas, abarcando

hasta 7 años de registros de lactancias en algunos casos. En los datos publicados hasta la tercer lactancia, son más de 3,900 lactancias analizadas lo que permitió concluir que, en la producción de leche a 305 días en la primera lactancia del hato de Cornell, por cada kilogramo de GDP antes del destete, la producción de leche (305 d) aumentó en 704 kg en la primera lactancia, al igual otra evaluación sobre el rendimiento TDM (test-day model) que es un sistema que engloba más parámetros para hacer una evaluación más precisa sobre el rendimiento de leche, arrojó que por cada kilogramo de GDP antes del destete produjeron 850 kg más de leche en su primera lactancia. Para el hato comercial, la misma relación entre la producción de leche TDM y el GDP previo, por cada kilogramo de antes del destete de GDP, las vaquillas produjeron 1,114 kg más de leche durante su primera lactancia, además de estos datos también se describen datos de salud, medio ambiente y tratamientos relacionados con la vida productiva de las becerras (Soberon *et al.*, 2012). En conclusión, se estableció que la alimentación elevada durante el periodo de predestete tiene un efecto positivo sobre la producción de leche en la primera lactancia y en la vida productiva de dichos animales, además de que se define que con GDP 350 g por día o menos, no se estimulan los factores asociados a una mejora en la producción de leche (Soberon *et al.*, 2012).

Posteriormente se ha estudiado el efecto que tiene una alimentación elevada en energía y alta en proteína, sobre el desarrollo de las becerras y específicamente sobre el desarrollo de órganos y glándula mamaria (Geiger *et al.*, 2016a), en dicho estudio se comparó una alimentación elevada (1.08 kg/d en materia seca de sustituto de leche) contra a alimentación restringida (0.44 kg/d en materia seca de sustituto de leche), además el porcentaje de proteína cruda también fue mayor para la becerras de alimentación elevada (28.9% PC, 26.2% de grasa) contra (20.9% PC, 19,8% de grasa) el grupo restringido, el efecto de dicho sistema de alimentación en el desarrollo de las becerras al momento del destete, el grupo con alimentación elevada (75 kg) fue 48% más pesado que el grupo restringido (51 kg), al momento de evaluar el desarrollo de los órganos de las becerras, se observó un efecto positivo sobre el órgano de interés de dicha investigación, la glándula mamaria fue un 286% más pesada en el grupo de alimentación elevada (255 g) en comparación con el grupo restringido (66 g). Dicha tendencia positiva se observó en otros órganos como el timo, retículo-rumen, hígado y bazo. En dicha investigación se concluyó que la alimentación elevada durante la etapa de predestete mejora positivamente la ingesta, el peso corporal y el crecimiento de los órganos, con especial interés en la glándula mamaria (Geiger *et al.*, 2016a).

En una investigación complementaria a esta, se describe la composición del desarrollo de la glándula mamaria bajo este esquema de alimentación, se establece que la concentración de proteína de la almohadilla de grasa es mayor en becerras del grupo restringido debido a que tienen un menor volumen de dicha estructura, mientras que en las becerras con alimentación elevada tienen mayor concentración de ADN y proteína total en la almohadilla de grasa, lo que representa 6.8 y 7.5 veces más concentración de ADN y proteína total, respectivamente. En cuanto al parénquima mamario un aumento de 7.3 veces la masa observada en becerras con alimentación aumentada contra restringida, además los resultados muestran que las becerras que fueron alimentadas con un plano de nutrición elevado, son capaces de responder a un estímulo monogénico de un promotor de crecimiento aplicado postdestete como lo es el

estradiol, dado que el peso del parénquima mamario en becerras con alimentación aumentada más estradiol (27.5 g) fue mayor, en comparación con las que recibieron alimentación restringida más estradiol (5 g); en dicha investigación se concluyó que alimentando a las becerras con niveles de nutrición más elevados, aumenta de manera considerable el desarrollo de la glándula mamaria sin comprometer su composición bioquímica y dichas becerras responden mejor a los agentes monogénicos (Geiger *et al.*, 2016b).

Posteriormente Soberon y Van Amburgh, (2017), reafirman que existe una relación positiva entre la cantidad de nutrientes consumidos durante la etapa de predestete y el desarrollo de la glándula mamaria, bajo el siguiente protocolo: alimentación aumentada y ajustada en relación al peso vivo (0.3 Mcal EM por kg de peso) contra una alimentación restringida (2.8 Mcal EM por día), ambos grupos alimentados con un sustituto alto en proteína (28% PC y 25% grasa), obteniendo como resultado al evaluar el desarrollo de la glándula mamaria como porcentaje del peso de las becerras, que las que recibieron una alimentación aumentada su desarrollo fue 3.4 veces mayor que las becerras de alimentación restringida, en cuanto al parénquima mamario éste fue 5.9 veces mayor con la alimentación aumentada (6.8 g) contra alimentación restringida (1.1 g) (Soberon y Van Amburgh, 2017). Estos datos confirman y describen los efectos positivos de alimentar a las becerras con niveles altos de nutrición en la etapa predestete (Geiger, 2019; Van Amburgh, 2019). Esto es contrario a lo que antes se pensaba, que dicha práctica era perjudicial para el desarrollo de la glándula mamaria (Sejrse *et al.*, 1982; Sejrse *et al.*, 1983), actualmente con dichos protocolos de alimentación predestete se ven resultados muy alentadores, además de que se reafirma la hipótesis de que el crecimiento alométrico de la glándula mamaria está presente en la etapa de predestete (Meyer *et al.*, 2006b; Soberon y Van Amburgh, 2017) y el cual es fomentado por un nivel de nutrición elevado (Soberon y Van Amburgh, 2017; Geiger, 2019) preferentemente alto en proteína (Geiger *et al.*, 2016a; Geiger *et al.*, 2016b; Soberon y Van Amburgh, 2017;), estos resultados y protocolos enfocados a glándula mamaria abren un campo de investigación prometedor para investigaciones futuras, que apoyen al conocimiento sobre el desarrollo de dicho órgano con características únicas (Geiger, 2019), prueba de esto es que recientemente se publicó una revisión por Van Amburgh, (2019) en el cual se hace un metanálisis de 6 investigaciones incluyendo investigaciones anteriores que concluían en que el desarrollo de la glándula mamaria era menor en becerras alimentadas con niveles altos de nutrición y correlacionando esas investigaciones con la metodología descrita por de Meyer *et al.* (2006b), obteniendo como resultado, que la mayor parte de la diferencia ($R^2 = 0.82$) del desarrollo mamario de dichas investigaciones podría explicarse por la edad y que la alta ingesta de nutrientes aceleró la edad a la pubertad, pero no redujo directamente la acumulación de ADN del parénquima mamario (Van Amburgh, 2019).

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Localización

El presente estudio fue realizado en el municipio de Matamoros Coahuila, en una explotación lechera comercial llamada Pequeña Propiedad La Victoria, La cual se localiza en la carretera Torreón - Matamoros km. 12.5 Torreón, Coah. PTE. #5290 en el municipio de Matamoros del estado de Coahuila de Zaragoza, México. Se encuentra en las coordenadas GPS: Longitud: 103.1639 N Latitud: 25.3234 W, durante el periodo de abril a agosto de 2019.

7.2. Manejo de animales

Para realizar el presente estudio se utilizaron 78 becerras Holstein, las cuales fueron recibidas bajo el sistema tradicional de manejo del establo, ofreciéndoles 4 litros de calostro de primera calidad antes de la primera hora de vida de las becerras, seguido de 2 tomas más de calostro de menor calidad, con un tiempo entre tomas de 8 horas cada una. Una vez concluido su proceso de “calostreo”, entraron aleatoriamente a su sistema de alimentación ya sea AA (alimentación ajustada al 15 % de sólidos en leche) o testigo (leche con 11% de sólidos totales).

7.3. Ajuste diario de sólidos de la leche

Para el ajuste de sólidos se determinó diariamente el porcentaje de sólidos de la leche entera que recibirían las becerras en cada toma de leche, esto se llevó a cabo utilizando un refractómetro digital de grados Brix (Floren *et al.*, 2016), con este dato y con los litros de leche diarios que se le ofrecerían a cada becerro se procedió a hacer el ajuste, reduciendo al 50% la cantidad de leche que se le ofrecería y ajustando al 15% de sólidos el volumen a ofrecer, con una mezcla de agua y sustituto de leche (25 % P.C, 10.0 % grasa y 0.15 % de fibra).

7.4. Plan de alimentación predestete

Las horas de alimentación y el volumen de leche fue el mismo para los dos grupos, alimentados diariamente a las 07:00 horas y a las 14:00 horas. El plan de alimentación de leche para ambos grupos fue el siguiente: 2.5 litros por toma del día 2 al día 15, 3 litros por toma del día 16 al día 21, 4 litros por toma del día 22 al día 55, 2 litros por toma del día 56 al día 59, 2 litros solo am del día 60 al día 63. El agua y concentrado iniciador (21 % PC) fue suministrado a libre acceso durante todo el estudio.

7.5. Plan de alimentación postdestete

Después del destete las becerras fueron asignadas aleatoriamente a 8 diferentes grupos para recibir los tratamientos hormonales por 15 días, durante este periodo fueron alimentadas a libre acceso con agua y una ración que consistió en 95% de concentrado (21 % PC) y 5% de heno de avena picado, dicha mezcla fue analizada en laboratorio, ofreciéndoles a las becerras 17.4 % PC y 2.03 Mcal/kg de MS.

7.6. Recolección de muestras

7.6.1. Peso y altura

El peso se determinó al nacimiento, a los 15, 30, 45, 60, 75 y 90 días de vida de las becerras, utilizando una báscula digital con capacidad de 1,000 kg, la hora de pesaje al nacimiento fue inmediatamente después del parto, mientras que las mediciones posteriores se realizaron en un horario de 11:00 a 13:00 horas. La altura a la cadera se determinó con una regla para ganado bovino y la medición se llevó a cabo durante el pesaje de las becerras.

7.6.2. Consumo de concentrado

Se les ofreció a las becerras un concentrado iniciador para ganado bovino (21 % PC) a libre acceso durante todo el estudio, para el cual se determinó su consumo diario, pesando lo ofrecido y su rechazo, con una báscula digital con capacidad de 5 kg y un error de 1 g.

7.6.3. Muestras de sangre

Se tomaron muestras de sangre a los 60 y 90 días de edad para determinar metabolitos indicativos del estatus nutricional.

7.6.4. Medición de la glándula mamaria

Se determinó el tamaño del parénquima mamario de cada cuarto de las becerras a los días 60 y 90 de edad, mediante el uso del ultrasonido para posteriormente determinar el área total del parénquima mamario de cada becerro.

7.7. Tratamientos postdestete

Después del destete las becerras fueron asignadas aleatoriamente a 8 diferentes grupos para recibir sus tratamientos hormonales o promotores de crecimiento, o la combinación de ambos. Como tratamiento hormonal a las becerras se les colocó un implante que contiene 25.7 mg de estradiol con 0.5 mg de oxitetraciclina como antibacteriano local, como promotor de crecimiento. Se utilizó una pre mezcla a base de un β -agonista que contiene 48 g de zilpaterol por kg. Los grupos experimentales se presentan en el cuadro 4 y el esquema del experimento en la Figura 23.

Cuadro 4. Conformación de los tratamientos postdestete para los grupos de promotores de crecimiento y controles.

Grupo	Número de animales	Tratamiento
1-ZB	10	Zilpaterol, leche 15% ST
1-ZN	10	Zilpaterol, leche 11% ST
2-IZB	10	Estradiol + zilpaterol, leche 15% ST
2-IZN	10	Estradiol + zilpaterol, leche 11% ST
3-IB	10	Estradiol, leche 15% ST
3-IN	10	Estradiol, leche 11% ST
4-B	9	Leche 15% ST
4-N	9	Leche 11% ST

7.8. Análisis estadístico

Los datos de crecimiento de las becerras para la fase previa al destete se analizaron como un diseño completamente aleatorio utilizando el PROC MIXED de SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC, EE. UU.), con el peso al nacer como covariable. Los datos de crecimiento para la fase posterior al destete se analizaron utilizando PROC MIXED de SAS, incluido el efecto del tratamiento, la alimentación previa (11 o 15% sólidos totales) y la interacción entre estas variables. El modelo estadístico incluyó las becerras como un efecto aleatorio y los programas de alimentación como efectos fijos; el peso al destete se incluyó como covariable. No hubo interacciones para los rasgos de crecimiento, por lo tanto, se hicieron comparaciones entre los ocho grupos de tratamiento resultantes de combinar programas de alimentación anteriores con el programa de destete posterior. Para el área del parénquima mamario medido directamente en las becerras vivas, los datos de 1 a 60 días se analizaron utilizando PROC MIXED de SAS. Para las mediciones del parénquima de la glándula mamaria después del destete, se utilizó PROC MIXED, incluyendo en el modelo el programa de alimentación pre-destete y post-destete, así como la interacción entre estas variables (8 grupos o tratamientos). Se observaron interacciones para estas variables, por lo tanto, se hicieron comparaciones entre las medias de tratamiento dentro de los grupos con 11 o 15% de sólidos totales. Los datos sobre días con diarrea durante el período de alimentación líquida se analizaron mediante la prueba de Kruskal-Wallis con PROC NPAR1WAY de SAS. La becerro (una becerro / corral) fue la unidad experimental. Las diferencias entre las medias individuales se evaluaron utilizando la opción PDIFF de SAS. Además, los contrastes planificados previamente (comando para contrastes en SAS) de zilpaterol versus todos los otros grupos que no recibieron zilpaterol, e implantes versus todos los grupos sin implantes se usaron para comparar estas medias. La correlación entre el consumo total (leche e iniciador) y la ganancia diaria de peso y el consumo de sólidos totales y el desarrollo de la glándula mamaria se llevaron a cabo con el procedimiento PROC CORR de SAS. Las diferencias entre medias se consideraron significativas a un nivel de probabilidad <0.05.

7.9. Representación esquemática del diseño experimental

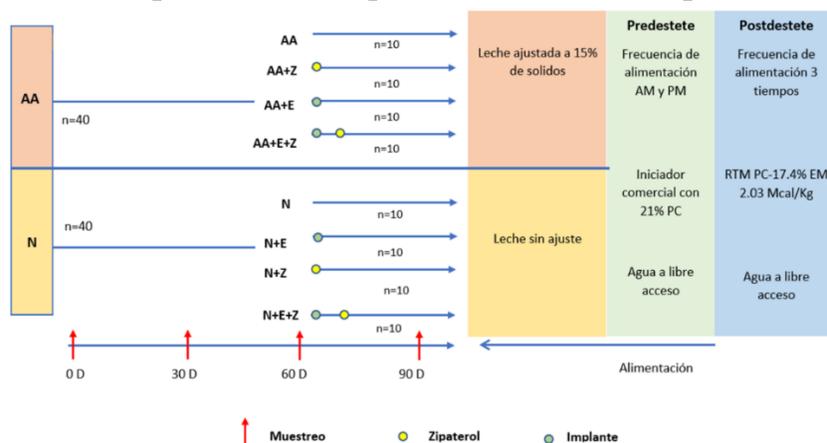


Figura 23. Representación esquemática del diseño experimental, plan de alimentación predestete grupo de ajuste de sólidos (AA) y grupo sin ajuste (N), ambos grupos se dividen en 4 subgrupos cada uno para sus tratamientos postdestete y sus días de evaluación.

8. RESULTADOS

8.1. Etapa predestete

8.1.1. Desarrollo corporal de las becerras

Los grupos de becerras se conformaron totalmente al azar, conforme fueron naciendo las becerras, entre el 13 de abril al 22 de mayo de 2019. La media para el peso al nacimiento para el grupo AA fue de 39.42 kg y el grupo N de 39.45 kg. Durante la primera etapa de la investigación que concluyó al momento del destete y en las evaluaciones quincenales durante ese periodo, el desarrollo de las becerras se vio favorecido (figura 24) por la alta ingesta de nutrientes del grupo AA concluyendo al momento del destete con un aumento del 11% en peso corporal (82.52 kg; $P < 0.01$) contra el grupo N (74.06 kg). El peso corporal antes del destete fue más alto ($P < 0.01$) a los 15, 30, 45 y 60 días en el grupo AA comparado con las becerras del grupo N.

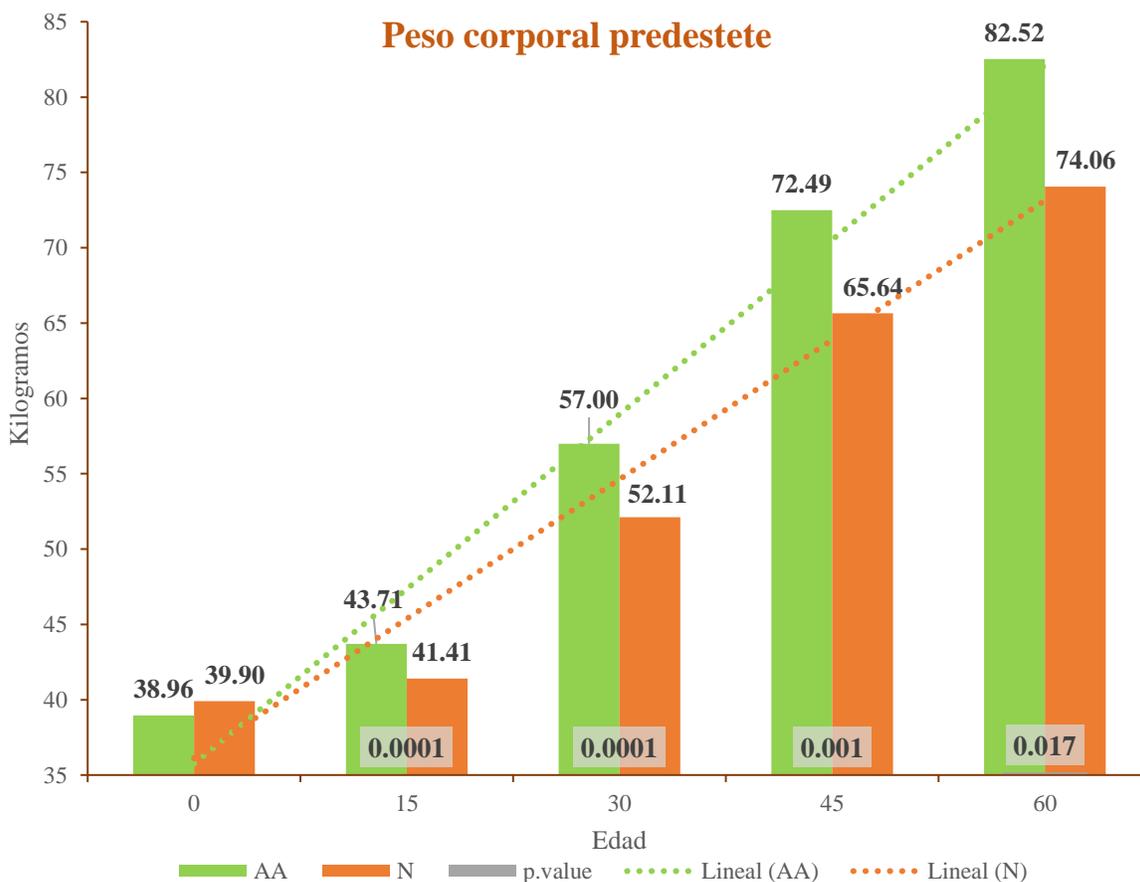


Figura 24. Representación gráfica del peso corporal de las becerras que recibían leche con 15% de sólidos totales (barras verdes) o leche con 11% de sólidos totales (barras naranjas) durante la etapa predestete, línea de tendencia y diferencia estadística.

8.1.2. Ganancia diaria de peso (GDP)

La ganancia diaria de peso expresada por las becerras del grupo AA en la etapa predestete fue superior en todas las etapas de la vida temprana evaluadas en las becerras, siendo sorprendente la gran diferencia ($P < 0.001$) que existió al evaluarla a los primeros 15 días de vida, dado que en las becerras del grupo AA la GDP (316 g/d) fue 196% mayor que en las del grupo N (106 g/d). Dicho resultado muestra el potencial que tiene el ofrecer un plano de nutrición más elevado a las becerras Holstein y dado que en las primeras semanas de vida la fuente principal de nutrientes es la leche, este resultado es totalmente atribuible al ajuste de sólidos al 15% que se diseñó en el plan de alimentación; estos resultados altamente favorables pueden ser el enfoque principal de futuras investigaciones. Cabe señalar que la GDP fue estadísticamente significativa entre grupos para las evaluaciones posteriores hasta el destete (Figura 27), a pesar de que la transición de alimento líquido a sólido se llevó a cabo de forma gradual (7 días). Se observó que algunas becerras de ambos grupos tardaron más en compensar la ingesta de nutrientes con el consumo de iniciador, lo cual abre la posibilidad de diseñar estrategias para mejorar dicho proceso.

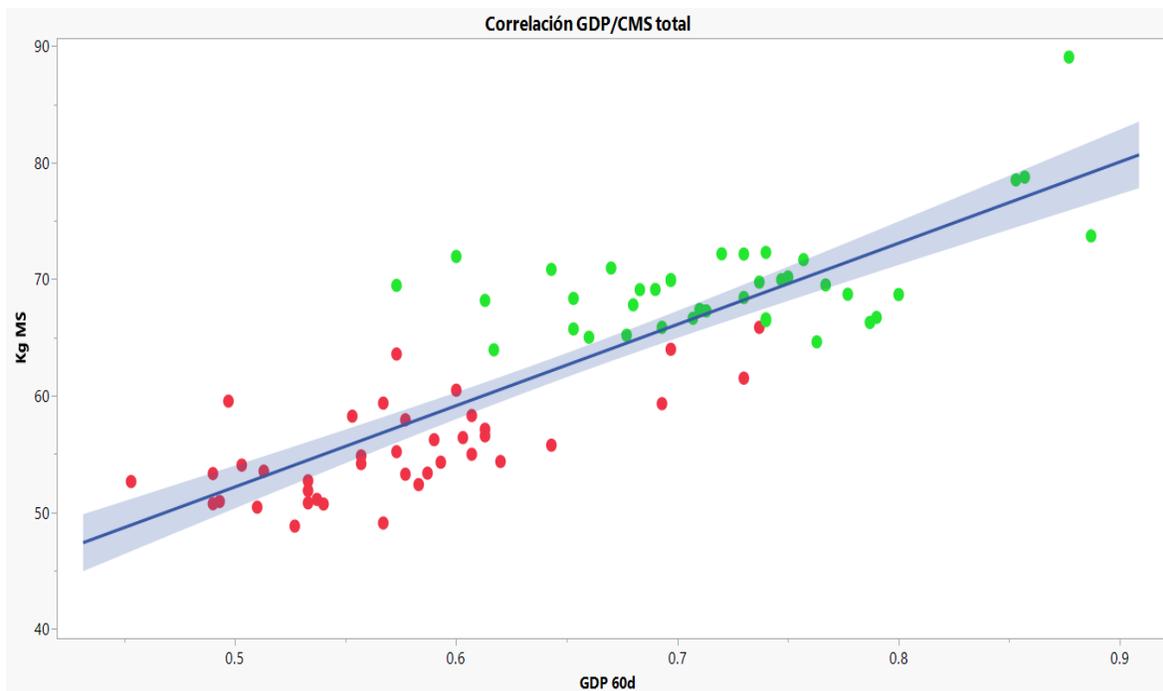


Figura 25. Representación gráfica de la correlación que existe entre el consumo total (leche e iniciador) y la ganancia diaria de peso. Los puntos verdes representan las becerras del grupo AA mientras que los puntos rojos al grupo N. La R^2 de esta correlación fue de 0.9988.

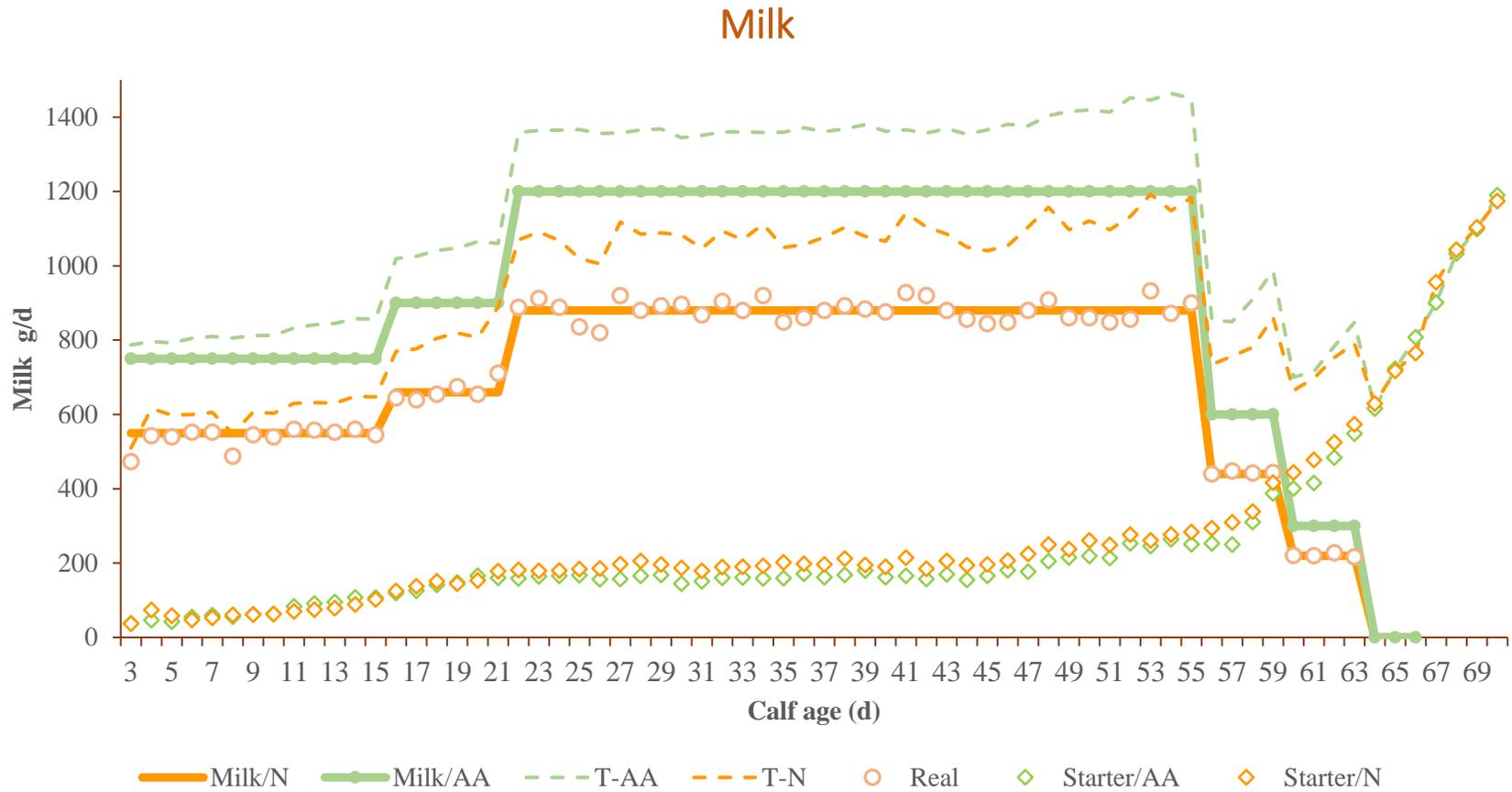


Figura 26. Representación gráfica que muestra los programas de alimentación de ambos grupos en materia seca y los incrementos y decrementos a lo largo de la etapa de predestete línea verde con marcadores (grupo AA; 15% de sólidos totales) línea naranja (grupo N; 11% de sólidos totales). Los círculos naranjas sobre la línea del plan de alimentación del grupo N (esperado), muestran la variabilidad diaria en los sólidos de la leche. Los marcadores en la parte inferior de la gráfica muestran el comportamiento del consumo de iniciador en materia seca por día. Las líneas punteadas en el extremo superior de gráfico muestran el consumo total de materia seca (leche más concentrado) para ambos grupos.

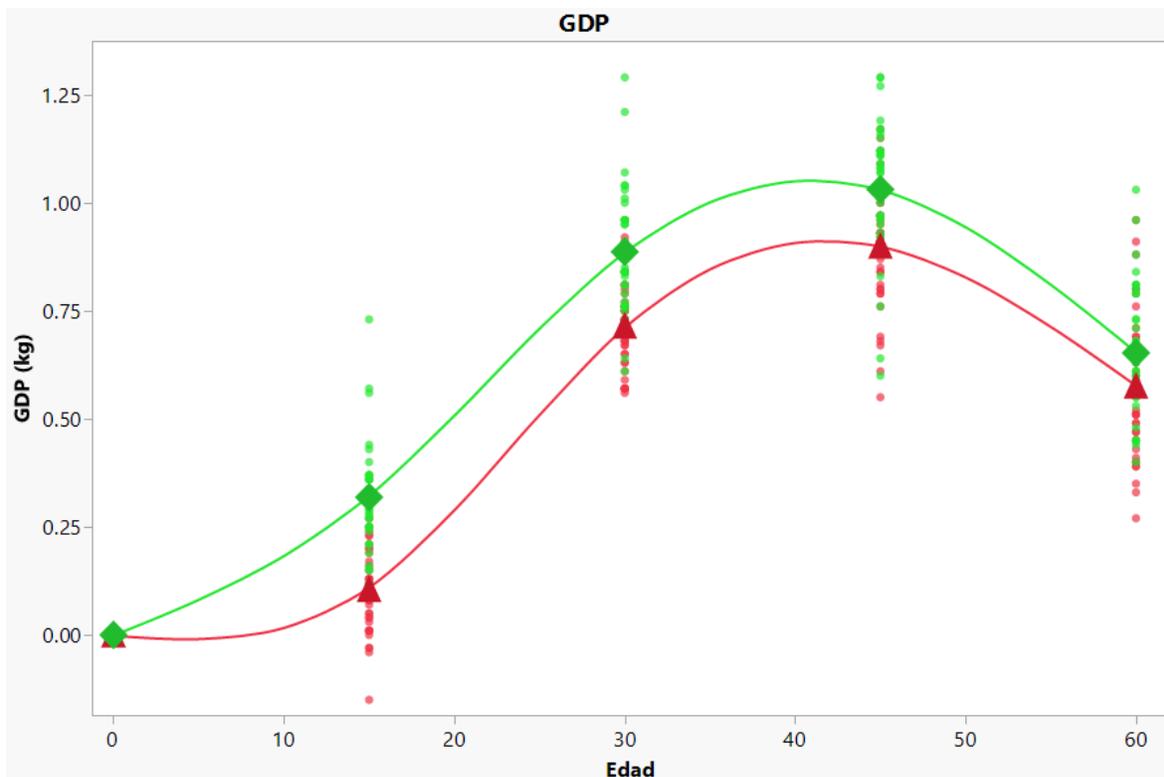


Figura 27. Representación gráfica de la ganancia diaria de peso, grupo AA (15% de sólidos totales) color verde y color rojo para el grupo N (11% de sólidos totales), los puntos representan la dispersión de los datos en cada evaluación, los marcadores (rombo verde y triángulo rojo) representan las medias para cada grupo para todas las evaluaciones.

8.1.3. Consumo de materia seca

El consumo de materia seca en las primeras fases de la etapa predestete está altamente influenciada por la ingesta de leche, la cual a su vez está en relación al diseño del plan de alimentación de leche (sólidos de la leche), etapa de transición y la ingesta de iniciador. En cuanto al plan de leche descrito anteriormente, el volumen de leche total ofrecido es igual en ambos grupos 397 litros, dado que la cantidad de sólidos es diferente los gramos totales de leche consumida son mayores para el grupo de ajuste (AA). Se presume que, dado que el volumen de leche es el mismo, eso motivó el consumo de iniciador figura 26, ya que en investigaciones previas se asumía que el incrementar el nivel de nutrición tiene un efecto negativo directamente sobre el consumo de iniciador. En esta investigación el consumo de iniciador no difirió estadísticamente ($P = 0.4$) entre ambos grupos, el consumo de materia seca total (leche e iniciador) si fue estadísticamente superior en el grupo AA, lo cual se reflejó en un mayor peso al finalizar la etapa de destete y la GDP. Otro aspecto importante a considerar sobre los sistemas de alimentación en México que están basados en leche entera, es el aspecto de la variación en la cantidad de sólidos totales en la leche, en esta investigación se evaluaron los sólidos totales diariamente antes de la alimentación de las becerros para hacer el ajuste al 15% del grupo AA y durante esta evaluación se determinó que la variación es muy alta y el promedio de sólidos totales (11%) fue menor de lo que estaba previsto al momento de desarrollar el protocolo de alimentación se esperaba que fuera cercano o superior

al 12%. La Figura 28 muestra una alta correlación entre el consumo total (leche e iniciador) y la ganancia diaria de peso ($r= 0.99$).

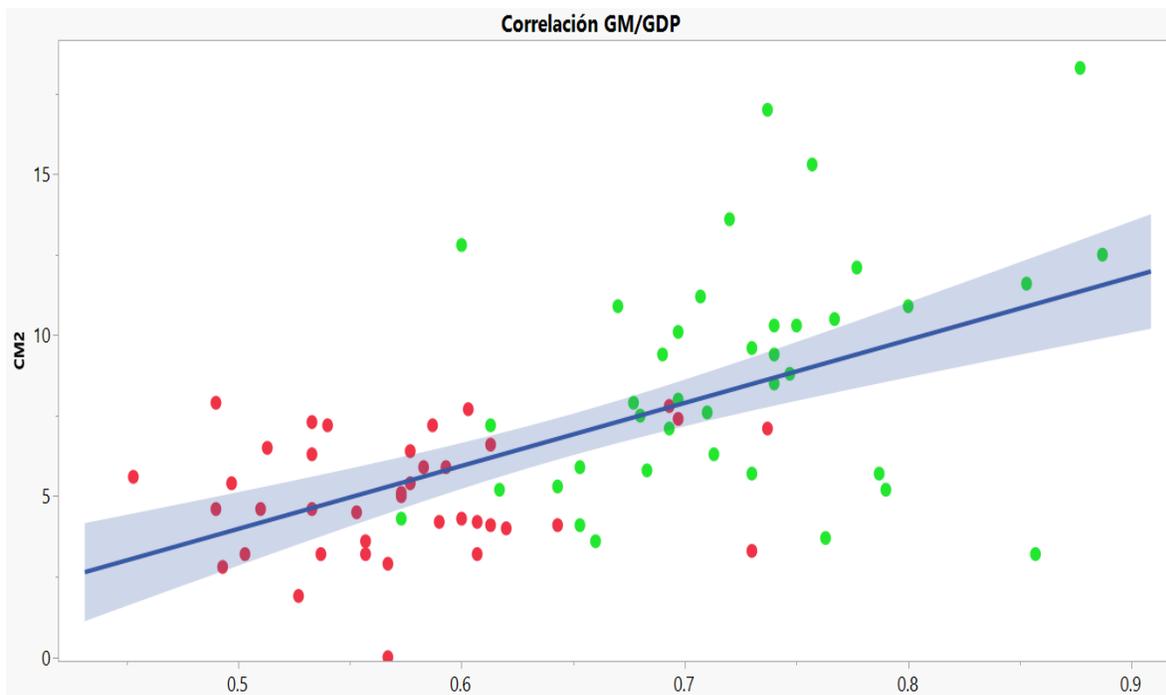


Figura 29. Representación gráfica de la correlación que existe entre la ganancia diaria de peso y el desarrollo de la glándula mamaria. Los puntos verdes representan las becerras del grupo AA mientras que los puntos rojos al grupo N. La R^2 de esta correlación fue de 0.86.

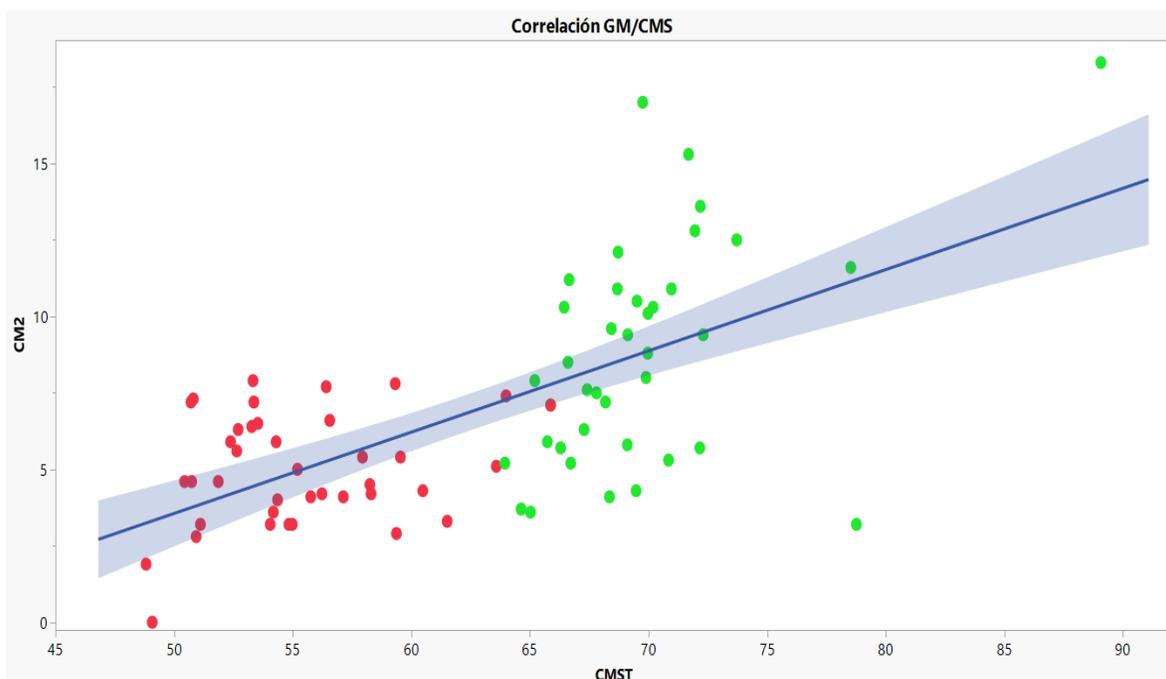


Figura 30. Representación gráfica de la correlación que existe entre el consumo de sólidos totales y el desarrollo de la glándula mamaria. Los puntos verdes representan las becerras del grupo AA mientras que los puntos rojos al grupo N. La R^2 de esta correlación fue de 1.

8.1.4. Glándula mamaria

El desarrollo de la glándula mamaria es el aspecto principal de esta investigación y bajo la hipótesis de que un plano más elevado de nutrientes a las becerras y con una relación grasa proteína menor que la leche entera, debido al ajuste de sólidos con un sustituto alto en proteína, motivaría el desarrollo de órganos y tejidos de las becerras, entre ellos la glándula mamaria, se diseñó este protocolo de alimentación en el cual se determinó que una vez hecho el ajuste la relación grasa proteína a 0.38 mientras dicha relación en la leche entera era de 1.00, lo cual indica que las becerras a las que se les ajustó los sólidos al 15% con un sustituto alto en proteína (25 % P.C, 10.0 % grasa y 0.15 % de fibra) consumieron (53 g/kg) un 70% más de proteína por kg de alimento (MS) que las becerras sin ajuste (30 g/kg) con lo cual comprobamos que las becerras consumieron una dieta alta en sólidos con una elevada cantidad de proteína lo cual favorece el desarrollo de las becerras sin comprometer la acumulación de grasa excesiva en el parénquima mamario y que se ha propuesto como algo no favorable para el desarrollo adecuado de la glándula mamaria. El primer efecto visible que se evaluó anteriormente, fue el desarrollo corporal. Las becerras con la dieta AA además de ser más pesadas presentaron una apariencia saludable y de mejor complexión física. Al evaluar el desarrollo de la glándula mamaria, con equipo de ultrasonido, fue evidente y estadísticamente significativo ($P < 0.001$) el mayor desarrollo que presentaba el grupo AA (8.78 cm^2) contra el grupo N (4.98 cm^2), lo que representa un 76% más de desarrollo del parénquima mamario. La GDP se correlaciona ($R^2 = 0.99$) estrechamente con el consumo de materia seca (Figura 25) y el desarrollo de la glándula mamaria tuvo una alta correlación ($R^2 = 0.86$) con la GDP (Figura 28); lo mismo ocurrió con la correlación entre la ingesta de materia seca con el desarrollo de la glándula mamaria (Figura 29; $R^2 = 1$), con lo que se comprueba que las becerras que consumieron mayor cantidad de materia seca (mayor ingestión de nutrientes) se desarrollan mejor y las becerras mejor desarrolladas muestran mayor crecimiento del parénquima mamario en la etapa predestete. Las becerras cuyas GDP fueron bajas y que presentaron algún grado de enfermedad (neumonía) después de los 40 días, se vieron gravemente afectadas en su desarrollo del parénquima mamario, las GDP no se vieron igualmente afectadas para los primeros 15 días de vida para la ocurrencia de diarrea, lo cual también muestra un potencial y otro enfoque para modificar el sistema de alimentación convencional buscando que las becerras llegaran a consumir más leche en los primeros 15 días de vida dado que las becerras son más eficientes y responden mejor al incremento de sólidos en esta etapa.

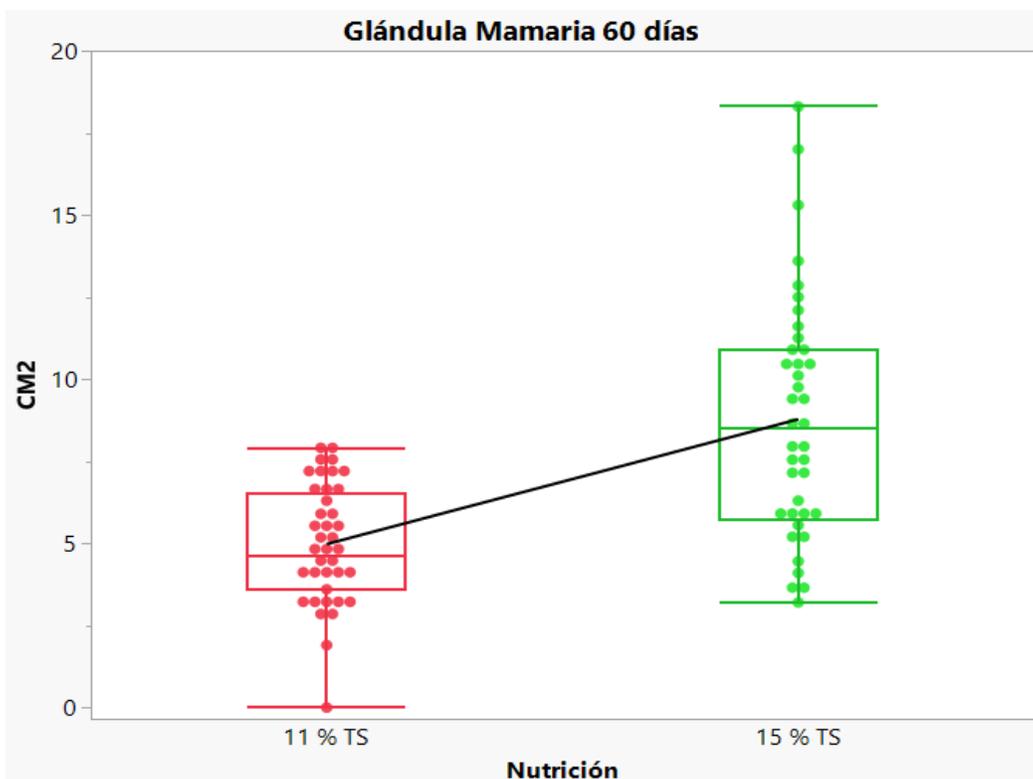


Figura 31. Representación gráfica del efecto de la alimentación sobre el desarrollo de glándula mamaria., El grupo que recibió leche con 15% de sólidos totales (\bar{x} 8.78 cm²; color verde) presentó una marcada diferencia ($P < 0.001$) en el desarrollo mamario predestete comparado con las becerras que recibieron leche con 11% de sólidos totales (\bar{x} 4.98 cm²; color rojo).

8.2. Etapa postdestete

8.2.1. Peso corporal

Una vez concluida la etapa predestete los dos grupos se dividieron totalmente al azar en 4 subgrupos cada uno, para su tratamiento postdestete descrito anteriormente, el peso corporal de las becerras aun al concluir la etapa postdestete a los 90 días (figura 31) estaba influenciado por los grupos de la etapa previa debido a que aún existían diferencias significativas si se evalúan los dos grupos iniciales ($P < 0.001$) esto apoya la teoría de que el efecto del protocolo de alimentación de la etapa previa, prepara adecuadamente a las becerras para obtener los nutrientes que requieren de una dieta sólida, debido a que dicho protocolo no influyo en el consumo de iniciador ($P = 0.4$) y gracias a esto las ganancias diarias de peso son superiores a las de la etapa previa, en promedio para todas las becerras (figura 32) fue de 1.46 kg/d, el peso corporal al finalizar la etapa postdestete fue 7.43% mayor en el grupo AA (111.43 kg) en comparación con el grupo N (103.72 kg). La etapa de transición fue fundamental y la mayor cantidad de datos que se pueda recolectar en dicha etapa, es un aspecto importante a considerar para futuras investigaciones o implementaciones adaptadas a los sistemas de producción de leche comerciales en México. En cuanto a la GDP postdestete el grupo que mostro mayor desempeño (22% mayor que el grupo que le sigue IZN) fue el

IZB con 1.75 kg/d ($P < 0.001$) con lo cual se sigue notando el efecto positivo de la alimentación de la etapa previa, igual que si se analiza la GDP total de 0 a 90 días ($P < 0.01$).

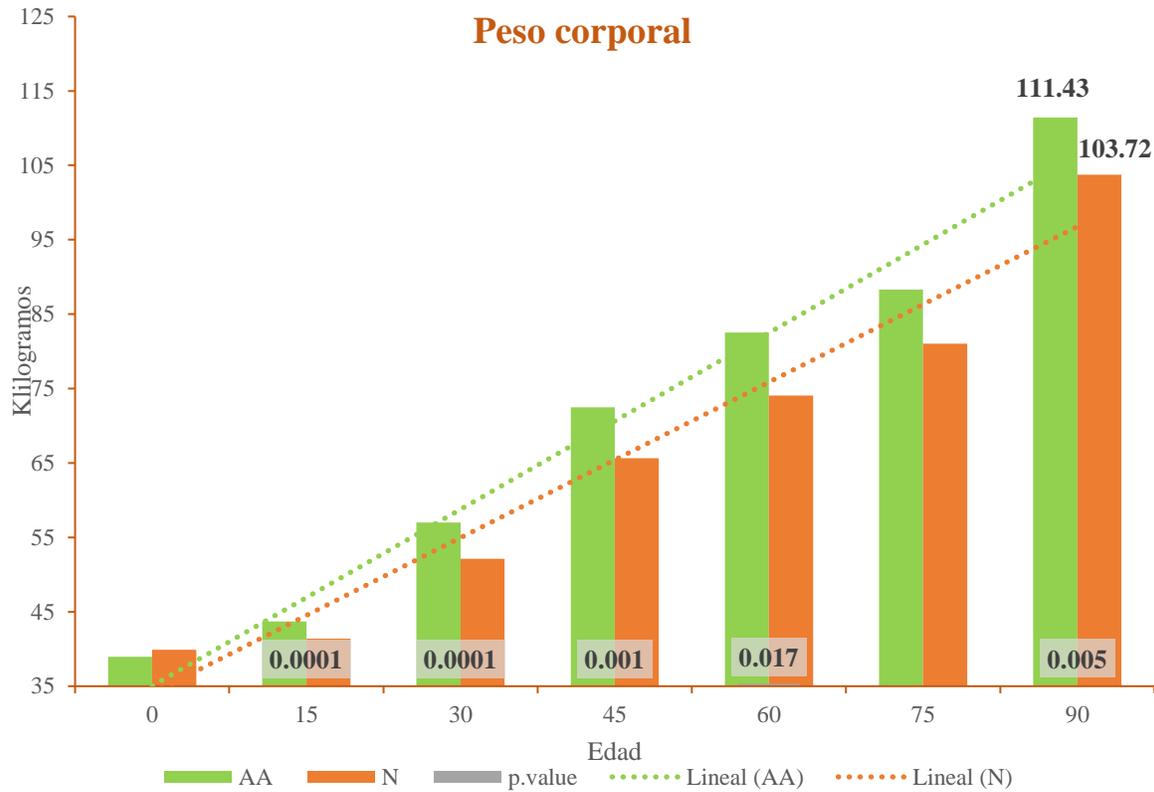


Figura 32. Representación gráfica del peso corporal de las becerras a los 90 días durante la etapa postdestete, línea de tendencia y diferencia estadística.

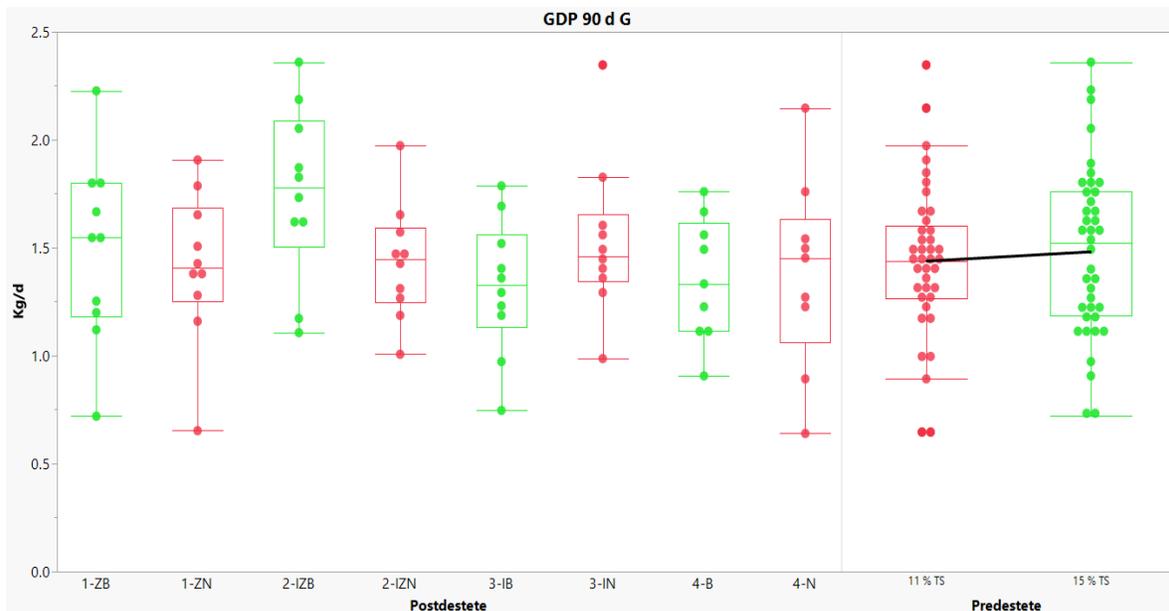


Figura 33. Representación gráfica de la ganancia diaria de peso de las becerras a los 90 días durante la etapa postdestete, analizada por grupos de tratamiento postdestete (parte izquierda) y por grupos predestete (parte derecha) para evaluar el efecto de la alimentación previa.

8.2.2. Glándula mamaria

En el desarrollo de la glándula mamaria después del destete a los 90 días, se observó una mejor respuesta del grupo AA que previamente fue ajustado en sus sólidos, siendo estadísticamente superior ($P < 0.01$) al compararlos con el grupo N que no tuvo ajuste, lo cual demuestra una vez más el potencial que tiene nutrir a las becerras con un plano elevado en la etapa de predestete. Los tratamientos postdestete están pensados para medir su efecto sobre la glándula mamaria dado que son promotores de crecimiento ampliamente utilizados en el ganado bovino, pero con el enfoque sobre la GDP. Al comparar el desarrollo de la glándula mamaria de 60 a 90 días se observó nuevamente como en la evaluación de GDP el grupo IZB se desempeñó mejor (49.8% más que la media; $P < 0.001$) en dicha evaluación y en comparación con su grupo par sin ajuste de sólidos es un 68.95% superior, al comparar los grupos AA de los tratamientos con sus pares de los grupos N se observa que son superiores (Figura 33), IZB 68.95% ($P < 0.001$) contra IZN, IB 52.45% ($P = 0.04$) contra IN, B 53.88% ($P < 0.01$) con excepción del grupo ZB contra ZN en donde no hubo diferencia significativa ($P = 0.92$), lo anterior se pudiera atribuir a la adición de zilpaterol. Si se evalúa el desarrollo de la glándula mamaria entre los grupos de zilpaterol contra los grupos de implante no existen diferencias significativas ($P = 0.3$) pero si se observa que fueron 11.88% superiores los de las becerras que recibieron implante, al igual que al observar la correlación con la nutrición predestete se obtuvo un mayor desarrollo (8.8%) para los grupos de implante que para los grupos de zilpaterol; ambos recibieron leche con ajuste de sólidos.

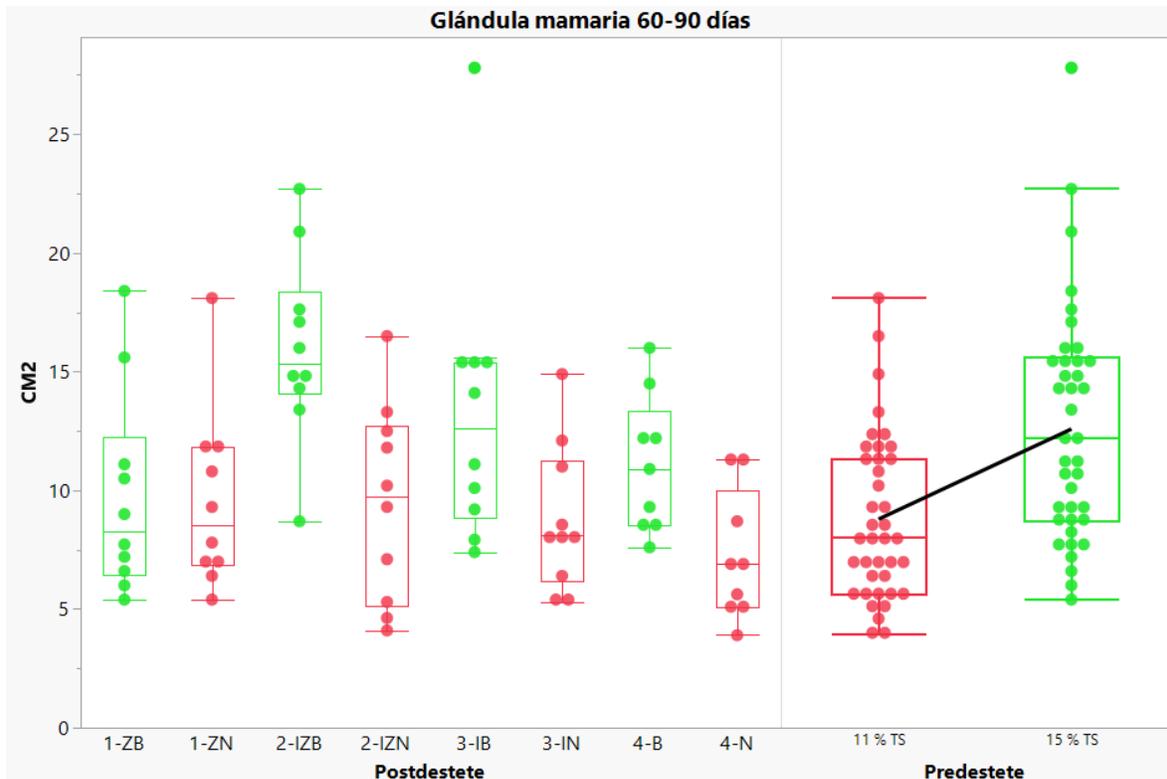


Figura 34. Representación gráfica del desarrollo de la glándula mamaria de las becerras de los 60 a los 90 días durante la etapa postdestete, analizada por grupos de tratamiento postdestete (parte izquierda) y por grupos predestete (parte derecha) para evaluar el efecto de la alimentación previa. ZN= zilpaterol con 11% sólidos totales, ZB= zilpaterol posterior a 15% sólidos totales, IZB= zilpaterol e implante de estradiol posterior a 15% de sólidos totales, IZN= zilpaterol e implante de estradiol posterior a 11% de sólidos totales, IB= implante de estradiol posterior a 15% de sólidos totales, IN= implante de estradiol posterior a 11% de sólidos totales.

Al evaluar el desarrollo de la glándula mamaria total a 90 días, al igual que en la evaluaciones previas, el grupo IZB fue el que mostró el mejor desempeño siendo 52.16% superior que la media de todos las becerras, al evaluar este desempeño y correlacionarlo con el tratamiento predestete de nutrición se observa que todos los grupos AA fueron superiores (Figura 34) en comparación con los grupos N, lo que al final se ajusta con la hipótesis de que la alimentación elevada en la etapa predestete influye positivamente en el desarrollo posterior de las becerras ya sea en la GDP o en el desarrollo de la glándula mamaria, ya que en el grupo ZB fue un 16.97% superior que su grupo sin ajuste ZN, al igual el resto de los grupos, IZB un 82.26% contra IZN ($P < 0.001$), IB un 61.24% contra IZ ($P < 0.001$), B un 64.16% contra N ($P < 0.001$).

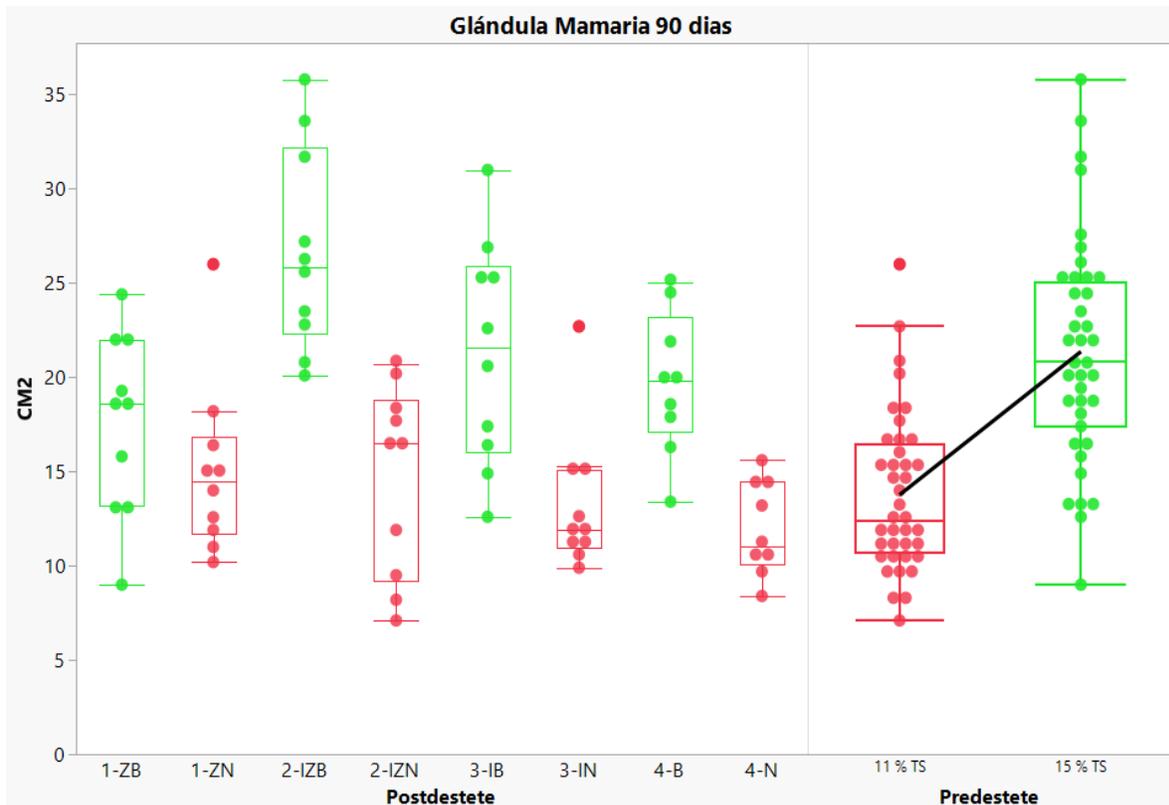


Figura 35. Representación gráfica del desarrollo de la glándula mamaria de las becerras a los 90 días durante la etapa postdestete, analizada por grupos de tratamiento postdestete (parte izquierda) y por grupos predestete (parte derecha) para evaluar el efecto de la alimentación previa. ZN= zilpaterol con 11% sólidos totales, ZB= zilpaterol posterior a 15% sólidos totales, IZB= zilpaterol e implante de estradiol posterior a 15% de sólidos totales, IZN= zilpaterol e implante de estradiol posterior a 11% de sólidos totales, IB= implante de estradiol posterior a 15% de sólidos totales, IN= implante de estradiol posterior a 11% de sólidos totales.

9. DISCUSIÓN

El sistema de alimentación convencional de becerras lecheras en sistemas intensivos, por definición es aquel que limita el consumo de leche a un nivel de 10% del peso vivo, buscando con esto fomentar el consumo de alimento iniciador (Kertz *et al.*, 2017; Vailati-Roboni *et al.*, 2018; Haisan *et al.*, 2019). En esta investigación se evaluó el efecto que tiene la modificación del sistema tradicional de alimentación de una explotación comercial, en el cual se les ofrecía a las becerras el 10% del peso vivo con un nivel de sólidos de 12%, en teoría (0.47% en base MS) y dicha modificación fue ofrecer el mismo porcentaje de alimentación con relación al peso vivo pero incrementado un 3% la cantidad de sólidos llegando a 15% (0.57 en base MS). Con lo anterior, teóricamente se incrementaría un 21% la ingestión de nutrientes de estas becerras, pero dada la variabilidad de los sólidos de la leche, se obtuvo un promedio de 11% (0.42% en base MS) lo cual representa una reducción del 14% y representó un incremento a 35% de aumento en la nutrición del grupo AA (leche con 15% de sólidos totales) en comparación con grupo N (testigo, leche con 11% de sólidos totales). Este es uno de los principales inconvenientes de los sistemas de alimentación convencional, que es muy difícil estandarizar el proceso de selección de leche para ofrecerles a las becerras, no se diga controlar a través de esa selección los sólidos de la leche y de ahí viene su variación, aunado a esto está comprobado que en los sistemas ad libitum, el consumo puede ser muy variable entre los individuos (Jasper and Weary, 2002; De Passillé and Rushen, 2012;) y en el mismo individuo entre un día y otro (De Passillé and Rushen, 2012; Bach *et al.*, 2013; Dennis *et al.*, 2018a), todo esto independientemente del peso individual de las becerras, lo cual complica aún más el ofrecer la cantidad exacta de nutrientes requeridos para cumplir con los porcentajes establecidos en el programa de alimentación. Una posible solución a este problema es la inclusión de sustitutos de leche como en Estados Unidos, que ya para 2011 el uso de sustituto de leche alcanzaba el 86% de las explotaciones lecheras, mientras que en el 68% de las explotaciones lecheras intensivas se alimentaba a las becerras exclusivamente con sustituto de leche (Floren *et al.*, 2016), lo cual elimina la variabilidad en los sólidos de la leche que existe al alimentar con leche entera a las becerras. Otra posible solución es ajustar los sólidos de la leche como en investigaciones descritas anteriormente (Glosson *et al.*, 2015), dicho enfoque fue el utilizado en la presente investigación.

El desarrollo corporal de las becerras se evaluó desde el nacimiento y cada 15 días después, hasta el momento del destete con un aumento del 11% en peso corporal del grupo AA comparado con el grupo N. Al comparar estos resultados con las recomendaciones conservadoras que se tenían anteriormente, donde se duplicaba el peso del nacimiento al destete (Van Amburgh *et al.*, 2008), esas expectativas fueron superadas en esta investigación y en comparación con una de las investigaciones principales que aborda este tema la de Diaz *et al.* (2001), el grupo fue similar en cuanto a su alimentación y días al destete (más 7 días), y mostró un peso similar (85 kg), pero con una GDP menor (600 g/d) parámetro en el cual el grupo AA fue superior (722 g/d) lo cual indica que dicho grupo sería 2.5 kg mayor si su destete hubiera sido a la misma edad y en comparación con el grupo N sería sólo 9.10% el aumento del peso contra el grupo de Días *et al.* (2001). Otro grupo de similar nutrición y días de destete fue el denominado HPLF de Daniels *et al.* (2009) en el cual se observó una GDP similar (700 g/d) con un peso al destete de 86.7 kg y con un 26% de mayor desarrollo corporal

que el grupo control (68.4 kg). Esta diferencia es mayor a la observada en esta investigación debido a que su grupo control consumía menos sólidos en comparación con el grupo N de esta investigación que tuvo un desarrollo corporal mayor (8%). Otras investigaciones también demuestran el efecto positivo de incrementar el nivel de nutrición de las becerras con 48% de incremento en el peso de las becerras al destete (Geiger *et al.*, 2016a), 36% de incremento (Soberon y Van Amburgh, 2017), 21% de incremento (Geiger *et al.*, 2014), 14% de incremento (Glosson *et al.*, 2015), 13.47% de incremento (Meyer *et al.*, 2006a), 8.4% de incremento (Dennis *et al.*, 2018a), 6.5% de incremento (Dennis *et al.*, 2018b) y 5.4% de incremento (Bach *et al.*, 2013).

El desarrollo general de las becerras se ve influenciado positivamente por la ingesta elevada de nutrientes durante la etapa de predestete (Meyer *et al.*, 2006a) así como una proporción elevada de proteína en dicho protocolo de alimentación (Meyer *et al.*, 2006a; Diaz *et al.*, 2001) lo cual se traduce en un aumento en el crecimiento de tejido magro de las becerras lo que incluye el desarrollo de órganos y tejidos de vital importancia para la vida productiva de las becerras, como corazón, sistema digestivo, glándula mamaria y el desarrollo general de las becerras (Geiger *et al.*, 2016a). Como se mencionó durante esta investigación, las becerras fueron alimentadas en un plano de nutrición elevado (15% contra 11% de sólidos totales en leche) además de eso, con dicho ajuste también se modificó la relación grasa proteína de la leche, llevándola a 0.38 de la leche con ajuste (70% más) contra 1.00 de la leche entera, con esto se cumple con dos aspectos fundamentales para mejorar el desarrollo de las becerras y sus órganos (nutrición elevada 15% y niveles altos de proteína 0.38). Como se planteó en la hipótesis del presente estudio, los efectos de este protocolo de alimentación fueron positivos y se comprobó que están altamente correlacionados ($R^2 = 1$) con la ingesta de sólidos. En cuanto al desarrollo de la glándula mamaria a los 60 días, se observó un 76% de incremento con relación al grupo N. Investigaciones enfocadas al desarrollo de la glándula mamaria reportan resultados similares; en una evaluación a los 100 días se reportan aumentos en desarrollo de la glándula mamaria del 73.1% en becerras alimentadas en un plano elevado, al igual que la relación de gramos de PAR/peso vivo fue mayor para dichas becerras, además de que confirman que no se ve afectada la composición de la glándula mamaria en cuanto a número de células y relación de PAR y almohadilla de grasa (Meyer *et al.*, 2006a). En una investigación complementaria a ésta se demostró que las becerras responden positivamente en la etapa predestete al incremento de nutrientes dado que existe una tendencia a una mayor proliferación de células epiteliales y que en la etapa postdestete no se ve afectado el crecimiento alométrico por la ingesta elevada de nutrientes, con lo cual se establece que los patrones de crecimiento postdestete serán iguales independientemente del protocolo de alimentación, pero se relacionan estrechamente con la edad a la pubertad (Meyer *et al.*, 2006b). En el grupo denominado HPLF (13.7 g PAR) de Daniels *et al.* (2009) se observó 129% de incremento en relación al grupo control (5.9 g PAR) sin modificar la composición química de la glándula mamaria (lípidos, proteínas o ADN de PAR). Posteriormente en la investigación de Geiger *et al.* (2016a) al evaluar el desarrollo de la glándula mamaria se observó que en el grupo de alimentación aumentada (255 g), la glándula mamaria pesaba 286% más que el grupo de alimentación restringida (66.1 g), además de otros órganos que también reaccionaron positivamente a dicho incremento de sólidos en la leche como el timo,

hígado, bazo, corazón y se apreció una tendencia en el peso del retículo-rumen. Dicho protocolo está basado en una alimentación aumentada (1.01 kg/d) con sustituto alto en proteína (28%), además el tejido del parénquima mamario fue 7 veces mayor en becerras con alimentación aumentada en comparación con alimentación restringida. Una investigación complementaria en la cual se describe la composición del crecimiento de la glándula mamaria y en la cual se reporta que la glándula mamaria fue 5.2 veces mayor (420%) en becerras cuya alimentación fue más elevada en comparación con becerras cuya alimentación fue restringida. Además, el PAR fue 7.3 veces mayor (633%) en dichas becerras, al igual que la almohadilla de grasa que fue 5.9 veces mayor (510%) y su relación en porcentaje en base a su peso vivo también fue superior, en los puntos evaluados glándula mamaria (1.3 vs 0.39 g/kg peso vivo), PAR (0.07 vs. 0.02 g/kg peso vivo) almohadilla de grasa (182 vs 29.6 g/kg peso vivo) para las becerras sometidas al plano nutricional elevado (Geiger *et al.*, 2016b).

Igualmente, otra investigación reciente que aborda este tema, reporta resultados similares en el desarrollo de la glándula mamaria, la cual fue 4.5 veces mayor (347%) en becerras alimentadas con un plano elevado de nutrición (337 g) en comparación con el grupo control (75 g), en ese estudio el PAR fue 5.9 veces mayor (489%) para el grupo alimentado con el plano elevado (6.48 g) contra el grupo control (1.10 g). Similar a otras investigaciones previas, se reporta el efecto positivo del desarrollo en otros órganos como hígado y riñón en becerras con alimentación elevada (Soberon y Van Amburgh, 2017). También se ha comprobado que la alimentación elevada tiene un efecto directo sobre la proliferación de células epiteliales de la glándula mamaria. Geiger *et al.* (2017) reportan una proliferación celular 60% mayor en el grupo de becerras con alimentación aumentada con énfasis especial en la zona TDU (unidades ductales terminales) donde la proliferación celular fue 91.6% mayor.

Todos estos resultados demuestran los efectos positivos de alimentar a las becerras con un nivel más elevado de nutrientes, dichos efectos observados primeramente en el desarrollo general de las becerras (peso corporal y GDP) y su salud, además también se comprueba que dichos beneficios son igualmente observados en el desarrollo de la glándula mamaria. Dicho desarrollo responde y se correlaciona estrechamente con la elevada ingesta de nutrientes en la etapa predestete y esto sin comprometer la composición del parénquima mamario y su relación con la almohadilla de grasa, ya que en dichas investigaciones se ofrecieron dietas con elevada cantidad de proteína también. Al igual que se establece que dichos protocolos promueven el crecimiento alométrico de la glándula mamaria durante los primeros 60 días de vida, todos estos resultados son prometedores y se espera que bajo estos protocolos que promueven el desarrollo temprano de la glándula mamaria se mejore la producción de leche futura de dichas becerras.

10. CONCLUSIÓN

En base a los resultados obtenidos en esta investigación se concluyó que, ajustar a un 15% los sólidos totales de la leche con un sustituto de leche alto en proteína en becerras Holstein en la Comarca Lagunera, incrementó marcadamente las ganancias de peso, concluyendo las becerras con un peso que fue 11% mayor que el testigo (11% de sólidos totales) al momento del destete. La mayor diferencia en los aumentos de peso se presentó a los 15 días de edad donde las becerras 15% los sólidos totales en la leche que recibieron tuvieron una ganancia diaria de peso 196% superior que el grupo testigo. De igual manera, estos datos muestran que el desarrollo de la glándula mamaria en etapas tempranas (predestete) responde positivamente a la ingesta elevada de sólidos, dado que las becerras que recibían 15% de sólidos totales en la leche presentó un desarrollo del parénquima mamario que fue 76% superior en comparación con el grupo control. Por lo tanto, el uso de este régimen alimenticio previo y posterior al destete indica potencial para proporcionar a la industria láctea un programa de cría más eficiente para becerras Holstein.

11. REFERENCIAS

- Akers R. M. (2002a) Mammary Development, Anatomy, and Physiology. Lactation and the mammary gland, Chapter 2, Páginas 45-65. ISBN 0-8138-2992-5
- Akers R. M. (2002b) Mammary Development, Anatomy, and Physiology. Endocrine, Growth Factor, and Neural Regulation of Mammary Development, Chapter 6, Páginas: 129-164. ISBN 0-8138-2992-5
- Akers, R. M. (2017). A 100-Year Review: Mammary development and lactation. *Journal of Dairy Science*, Volumen 100, Páginas 10332-10352.
- Bach A., Terré M. and Pinto A. (2013) Performance and health responses of dairy calves offered different milk replacer allowances. *Journal of Dairy Science*, Volumen 96, número 12, Páginas: 7790-7797.
- Barrera Bassols, Narciso (1996) Los orígenes de la ganadería en México. *Ciencias*, núm. 44, octubre-diciembre, Páginas 14-27. ISSN:0187-6376
- Buchanan D. S., (2016) Breeds of dairy cattle (Major Bos Taurus breeds) Module in Food Science. ISBN 9780081005965.
- Burger J., Kirchner M., Bramanti B., Haak W., and Thomas M. G. (2007) Absence of the lactase-persistence-associated allele in early Neolithic Europeans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)* Mar 2007, Volumen104, número 10, Páginas 3736-3741; DOI: 10.1073/pnas.0607187104
- Cerutti M. y Rivas E. (2008) La construcción de la cuenca lechera en la Laguna (1948-1975). *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional* 2008, 16 (31), 166-204 ISSN: 2395-9169
- Connor, E. E., Meyer, M. J., Li, R. W., Van Amburgh, M. E., Boisclair, Y. R., and Capuco, A. V. (2007). Regulation of gene expression in the bovine mammary gland by ovarian steroids. *Journal of Dairy Science* Volumenn 90, Páginas: E55-E65.
- Constanzo Linda S. (2011) Fisiología, cuarta edición. Elsevier. Edición en español de la cuarta edición de la obra original en inglés *Physiology* ISBN: 978-84-8086-824-2
- Daniels K.M., Capuco A.V., McGilliard M. L., James R. E. and Akers R. M. (2009) Effects of milk replacer formulation on measures of mammary growth and composition in Holstein heifers. *Journal of Dairy Science*, Volumen 92, número 12, Páginas: 5937-5950.
- De Passillé A. M and Rushen J. (2012) Adjusting the weaning age of calves fed by automated feeders according to individual intakes of solid feed. *Journal of Dairy Science*, Volumen 95, número 9, Páginas 5292-5298.
- De Passillé A. M., Borderas F. and Rushen J. (2011) Cross-sucking by dairy calves may become a habit or reflect characteristics of individual calves more than milk

- allowance or weaning. *Applied Animal Behaviour Science*, Volumen 133, Números 3–4, Páginas: 137-143.
- Del Valle María del Carmen (1989) La industria lechera en los estados del norte, desarrollo y limitaciones. *Estudios Fronterizos*, año IV, vol. IV, núm. 10-11, mayo-agosto/septiembre-diciembre de 1986, pp. 11-42 e-ISSN 2395-9134
- Dennis T. S., Suarez-Mena F. X., Hill T. M., Quigely J. D., Sholotterbeck R. L. and Hubert L. (2018b) Effect of milk replacer feeding rate, age at weaning, and method of reducing milk replacer to weaning on digestion, performance, rumination, and activity in dairy calves to 4 months of age. *Journal of Dairy Science*, Volumen 101, Número 1, páginas: 268–278.
- Dennis T. S., Suarez-Mena F. X., Hill T.M., Klopp R. N., Lascano G. J. and Hulbert L. (2018a) Effects of gradual and later weaning ages when feeding high milk replacer rates on growth, textured starter digestibility, and behavior in Holstein calves from 0 to 4 months of age. *Journal of Dairy Science*, Volumen 101, número 11, Páginas: 9863-9875.
- Diaz M. C., Van Amburgh M. E. and Smith J. M. (2001) Composition of Growth of Holstein Calves Fed Milk Replacer from Birth to 105-Kilogram Body Weight. *Journal of Dairy Science*, Volumen 84, Páginas: 830-842.
- Drackley J. K. (2008) Calf nutrition from birth to breeding. *Veterinary Clinics Food Animal*, Volumen 24, páginas: 55–86.
- Eckert E., Brown H. E., Leslie K, E., DeVries T. J. and Steele M. A. (2015) Weaning age affects growth, feed intake, gastrointestinal development, and behavior in Holstein calves fed an elevated plane of nutrition during the preweaning stage. *Journal of Dairy Science*, Volumen 98, número 9, Páginas: 6315-6326.
- Ferreira M. A., Bislev L. S., Bendixen E., Almeida M. A. (2013) The mammary gland in domestic ruminants: A systems biology perspective, *Journal of Proteomics*, Volumen 94, número 6, Páginas: 110-123.
- Floren H. K., Sicho W. M. and Moore D. A. (2016) Technical note: Use of a digital and an optical Brix refractometer to estimate total solids in milk replacer solutions for calves. *Journal of Dairy Science*, Volumen 99, número 9, páginas: 7571-7522.
- Food and agriculture organization of the united nations (FAO). (2015) Animal genetic resources for food and agriculture, the second report on the state of the world´s.
- Food and agriculture organization of the united nations (FAO). (2020) Dairy market review. March, 2020. FAO
- Food and agriculture organization of the united nations (FAO). (2019a) Dairy market review. March, 2019. FAO

- Food and agriculture organization of the united nations (FAO). (2019b) Milk and milk products. In Food Outlook November 2019. FAO
- Food and agriculture organization of the united nations (FAO). (2018) Milk facts. Recuperado el 13 de febrero de 2020 desde <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/273893/>
- Food and agriculture organization of the united nations Statistics Division (FAO-STAT). (2020) Data, Value of Agricultural Production. Recuperado en 19 de mayo de 2020 desde <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QL>
- García Martínez Bernardo (1994) Los primeros pasos del ganado en México. Relaciones Estudios de Historia y Sociedad (Relaciones) 59, vol. XV. ISSN 2448-7554.
- Geiger A. J. (2019) Review: The pre-pubertal bovine mammary gland: unlocking the potential of the future herd. *Animal*, Volumen 13 - Número S1 - S1, Páginas: s4-s10.
- Geiger A. J., Parsons C. L. M., and Akers R. M. (2016b) Feeding a higher plane of nutrition and providing exogenous estrogen increases mammary gland development in Holstein heifer calves. *Journal of Dairy Science*, Volumen 99, número 9, Páginas: 7642-7653.
- Geiger A. J., Parsons C. L. M., James R. E. and Akers R. M. (2016a) Growth, intake, and health of Holstein heifer calves fed an enhanced preweaning diet with or without postweaning exogenous estrogen. *Journal of Dairy Science*, Volumen 99, número 5, Páginas: 3995-4004.
- Geiger A. J., Ward S. H., Williams C. C., Rude B. J., Cabrera C. J., Kalestch K. N., and Voelz B. E. (2014) Short communication: Effects of increasing protein and energy in the milk replacer with or without direct-fed microbial supplementation on growth and performance of preweaned Holstein calves *Journal of Dairy Science*, Volumen 97, Páginas:7212-7219.
- Glosson K. M., Hopkins B. A., Washburn S. P., Davison S., Smith G., and Earleywine T. M. C. (2015) Effect of supplementing pasteurized milk balancer products to heat-treated whole milk on the growth and health of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, Volumen 98, Páginas: 1127-1135.
- Gorewit, R. C., Ostensson, K., Astrom, G., and Svennersten, K. (1993). Flow and composition of afferent mammary gland lymph. *Journal of Dairy Science*, Volumen 76, Páginas: 1539-1543.
- Gross, J. J., and Bruckmaier, R. M. (2019). Invited review: Metabolic challenges and adaptation during different functional stages of the mammary gland in dairy cows: Perspectives for sustainable milk production. *Journal of Dairy Science*, Volumen 102, Páginas: 2828-2843.

- Guarín, J. F., Baumberger, C., and Ruegg, P. L. (2017). Anatomical characteristics of teats and premilking bacterial counts of teat skin swabs of primiparous cows exposed to different types of bedding. *Journal of Dairy Science*, Volumen 100, Páginas: 1436-1444.
- Haisan J., Steele M. A., Ambrose D. J. and Oba M. (2019) Effects of amount of milk fed, and starter intake, on performance of group-housed dairy heifers during the weaning transition. *Applied Animal Science*, Volumen 35, Número 1, Páginas: 88-93.
- Heinrichs, A.J., Zanton G. I., Lascano G. J., Jones C. M. (2017) A 100-Year Review: A century of dairy heifer research. *Journal of Dairy Science*, Volumen 100, Número 12, páginas: 10173-10188.
- Hill T. M., Beteman II H. G., Aldrich J. M., Quigley J. D. and Schlotterbeck R. L. (2013) Evaluation of ad libitum acidified milk replacer programs for dairy calves. *Journal of Dairy Science*, Volumen 96, Páginas: 3153–3162.
- Inman, J. L., Robertson, C., Mott, J. D., and Bissell, M. J. (2015). Mammary gland development: Cell fate specification, stem cells and the microenvironment. *Development (Cambridge)*, Volumen 142, Páginas: 1028-1042.
- Holstein Association of Canada (HA-C) (2020) Breakdown of Traits. Recuperado el 22 de mayo de 2020 desde: https://www.holstein.ca/Public/en/Services/Classification/Breakdown_of_Traits
- Holstein Association USA (HA-USA) (2018) linear descriptive traits.
- Holstein Association USA (HA-USA) (2020a) Holstein Breed Characteristics. Recuperado el 9 de mayo de 2020 desde http://www.holsteinusa.com/holstein_breed/breedhistory.html
- Hurley W.L., Looor J.J. (2011) Mammary Gland - Growth, Development and Involution. *Encyclopedia of Dairy Sciences* (second edition), Páginas: 338–345. ISBN 9780123744074.
- Isobe, N. (2017). Control mechanisms for producing antimicrobial factors in ruminant mammary gland. *Animal Science Journal*, Volumen 88, Páginas: 937-946.
- International Farm Comparison Network (IFCN) (2019) Global Dairy Trends and Drivers 2019. 15th October 2019
- Jasper J. and Weary D. M. (2002) Effects of Ad libitum milk intake on dairy calves. *Journal of Dairy Science*, Volumen 85, Páginas: 3054-3058.

- Kertz A. F., Prewitt L. R. and Everett J. P. JR. (1979) An early weaning calf program: Summarization on review. *Journal of Dairy Science*, Volumen 62, Páginas: 1835-1843.
- Kertz F. A., Hill M. T., Quigley D J., Heinrichs A. J., Linn G. J., Drackley K. J. (2017) A 100-Year Review: Calf nutrition and management. *Journal of Dairy Science*, Volumen 100, Número 12, 10151–10172.
- Khan M. A., Weary D. M., von Keyserling M. A. G. (2011) Invited review: Effects of milk ration on solid feed intake, weaning, and performance in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, Volumen 94, Número 3, Páginas: 1071–1081.
- Khan, M.A., Lee H. J., Lee W. S., Ha J. K. and Choi Y. J. (2007) Pre- and Postweaning Performance of Holstein Female Calves Fed Milk Through Step-Down and Conventional Methods. *Journal of Dairy Science*, Volumen 90, Número 2, Páginas: 876 – 885.
- Klein Bradley G. (2014) *Fisiología veterinaria*, quinta edición. Elsevier. Edición en español de la quinta edición de la obra original en inglés Cunningham's Textbook of Veterinary Physiology. ISBN: 978-84-9022-422-9
- Lacasse, P., Zhao, X., and Ollier, S. (2019). Effect of stage of lactation and gestation on milking-induced hormone release in lactating dairy cows. *Domestic Animal Endocrinology*, Volumen 66, Páginas: 72-85.
- Lamote, I., Meyer, E., Massart-Leën, A. M., and Burvenich, C. (2004). Sex steroids and growth factors in the regulation of mammary gland proliferation, differentiation, and involution. *Steroids*, Volumen 69, Páginas: 145-159.
- Madsen, T. G., Nielsen, M. O., Andersen, J. B., and Ingvarsen, K. L. (2008). Continuous lactation in dairy cows: Effect on milk production and mammary nutrient supply and extraction. *Journal of Dairy Science*, Volumen 91, número 5, Páginas: 1791-1801.
- McGuffey R. K., and Shirley J. E. (2011) Introduction - History of dairy farming. *Encyclopedia of dairy sciences* (second edition) Páginas: 2-11, ISBN 9780123744074.
- Meyer M. J., Capuco A. V., Ross D. A., Lintault L. M. and Van Amburgh M. E. (2006_a) Developmental and Nutritional Regulation of the Prepubertal Heifer Mammary Gland: I. Parenchyma and fat pad mass and composition. *Journal of Dairy Science*, Volumen 89, Número 11, Páginas: 4289-4297.
- Meyer M. J., Capuco A. V., Ross D. A., Lintault L. M. and Van Amburgh M. E. (2006_b) Developmental and nutritional regulation of the prepubertal bovine mammary gland: II. Epithelial cell proliferation, parenchymal accretion rate, and allometric growth. *Journal of Dairy Science*, Volumen 89, Número 11, páginas: 4298-4304.

- Mirzaei, M., Khorvash, M., Ghorbani, G. R., Kazemi-Bonchenari, M., and Ghaffari, M. H. (2017). Growth performance, feeding behavior, and selected blood metabolites of Holstein dairy calves fed restricted amounts of milk: No interactions between sources of finely ground grain and forage provision. *Journal of Dairy Science*, Volumen 100, Páginas: 1086-1094.
- Mourupoju A., and Sundaresan V. (2017) Milk-hormones: narrative review. *Advances in Dairy Research*, Volumen 6, Número 3, DOI: 10.4172/2329-888X.1000212.
- Nickerson S. C. and Akers R. M. (2011) Mammary Gland – Anatomy. *Encyclopedia of Dairy Sciences* (second edition) Páginas: 328-337. ISBN 9780123744074.
- Nonnecke B. J., Foote M. R., Smith J. M., Pesch B. A. and Van Amburgh M. E. (2003) Composition and Functional Capacity of Blood Mononuclear Leukocyte Populations from Neonatal Calves on Standard and Intensified Milk Replacer Diets. *Journal of Dairy Science*, Volumen 86, Número 11, páginas: 3592-3604.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO). (2010) La situación de los recursos zoogenéticos mundiales para la alimentación y la agricultura. Parte 1 Situación de la biodiversidad en el sector ganadero. Sección B situación de los recursos zoogenéticos.
- Pandey, Y., Taluja, J. S., Vaish, R., Pandey, A., Gupta, N., and Kumar, D. (2018). Gross anatomical structure of the mammary gland in cow. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, Volumen 6, Número 4, Páginas: 728-733.
- Paulrud, C. O. (2005). Basic concepts of the bovine teat canal. *Veterinary Research Communications*, Volumen 29, Páginas: 215-245.
- Paixão, M. G., Abreu, L. R., Richert, R., and Ruegg, P. L. (2017). Milk composition and health status from mammary gland quarters adjacent to glands affected with naturally occurring clinical mastitis. *Journal of Dairy Science*, Volumen 100, Páginas: 7522–7533.
- Pros & cons of current números (ProCon). (2019) History of Cow's Milk from the Ancient World to the Present. Recuperado el 13 de mayo de 2020 desde <https://milk.procon.org/historical-timeline/#8000-bc-63-bc>
- Reece, William O. (2015) *Dukes' Physiology of Domestic Animals*. Wiley-Blackwell ISBN-13: 978-0-1185-0139-9
- Rocha, J. F., Lopez-Villalobos, N., Burke, J. L., Sneddon, N. W., and Donaghy, D. J. (2018). Factors that influence the survival of dairy cows milked once a day. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, Volumen 61, Páginas: 42-56.

- Rosenberger, K., Costa, J. H. C., Neave, H. W., von Keyserlingk, M. A. G., and Weary, D. M. (2017). The effect of milk allowance on behavior and weight gains in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, Volumen 100, Páginas: 504-512.
- Sasaki, O. (2013). Estimation of genetic parameters for longevity traits in dairy cattle: A review with focus on the characteristics of analytical models. *Animal Science Journal*, Volumen 84, Páginas: 449–460.
- Sejrsen K., Huber J. T. and Tucker H. A (1983) Influence of amount fed on hormone concentrations and their relationship to mammary growth in heifers. *Journal of Dairy Science*, Volumen 66, Páginas: 845-855.
- Sejrsen K., Huber J. T., Tucker H. A. and Akers R. M. (1982) influence of nutrition on mammary development in pre- and postpubertal heifers. *Journal of Dairy Science* Volumen 65, Páginas: 793–800.
- Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP) (2019) Boletín de Leche, enero-marzo 2019.
- Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP) (2020a) Leche de Bovino Avance mensual de la producción pecuaria. Recuperado en 21 de mayo de 2020 desde http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp
- Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP) (2020b) Análisis de la Balanza Comercial Agroalimentaria de México, SIAP enero-febrero 2020.
- Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP) (2020c) Reporte mensual del Indicador Global de la Actividad Económica, Sector primario, SIAP marzo 2020.
- Soberon F. and Van Amburgh M. E. (2013). Lactation biology symposium: The effect of nutrient intake from milk or milk replacer of preweaned dairy calves on lactation milk yield as adults: A meta-analysis of current data. *Journal of Animal Science*, Volumen 91, Número 2, Páginas: 706–712.
- Soberon F. and Van Amburgh M. E. (2017). Effects of preweaning nutrient intake in the developing mammary parenchymal tñúmero. *Journal of Animal Science*, Volumen 100, Número 6, Páginas: 4996–5004.
- Soberon F., Raffrenato E., Everett W. R., and Van Amburgh M. E. (2012) Preweaning milk replacer intake and effects on long-term productivity of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, Volumen 95, Páginas: 783–793.
- United states department of agriculture (USDA) (2020) Dairy products: Per capita consumption, United States (Annual). Recuperado el 19 de mayo de 2020 desde <https://www.ers.usda.gov/data-products/dairy-data/dairy-data/>
- United states department of agriculture (USDA) (2020b) The American dairy industry, early history. Recuperado el 17 de mayo de 2020 desde

<https://www.nal.usda.gov/exhibits/speccoll/exhibits/show/the-american-dairy-industry/early-history>

- Vailati-Roboni M., Bucktrout R. E., Zhan S., Geiger A., McCann J. C., Akers R. M. and Looor J. J. (2018) Higher plane of nutrition pre-weaning enhances Holstein calf mammary gland development through alterations in the parenchyma and fat pad transcriptome. *BMC Genomics*, Volumen 19, páginas: 900-910.
- Van Amburgh M. E., Soberon F., Meyer M. J. and Molano R. A. (2019) Symposium review: Integration of postweaning nutrient requirements and supply with composition of growth and mammary development in modern dairy heifer. *Journal of Dairy Science*, Volumen 102, Número 4, Páginas: 3692-3705.
- Van Amburgh M.E., Raffrenato E., Soberon F. (2008) Early life management and long-term productivity of dairy calves. In: *Proc. Cornell Nutr. Conf. Vol. 70. Dept. of Animal Science, Cornell Univ., Syracuse, NY, Ithaca, NY 2008*: Páginas:185-192.
- Weaver S.R., Hernandez L.L (2016) Autocrine-paracrine regulation of the mammary gland. *Journal of Dairy Science*, Volumen 99, Número 1, Páginas: 842-853.
- Weiss D., Weinfurtner M., Bruckmaier R. (2014) Teat Anatomy and its Relationship with Quarter and Udder Milk Flow Characteristics in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, Volumen 87, Número 10, October 2004, Páginas: 3280-3289.
- Zeng, X., Huang, S. L., Qian, Z., Hao, Y., Wang, D., Ji, J., and Nabi, G. (2017). Characterization of milk composition in narrow-ridged finless porpoises (*Neophocaena asiaeorientalis*) at different lactation stages. *Marine Mammal Science*, Volumen 33, Páginas 803-816.