

Fisiología y Reproducción

Título **La Somatotropina Bovina, su Efecto Sobre el Crecimiento, la Producción de Leche y la Reproducción**

Autor **Alfredo N. García Gavidia, Ph.D.**
Fisiología y Nutrición de Rumiantes
Universidad del Zulia, Facultad de Ciencias Veterinarias, Departamento de Producción e Industria Animal,
Cátedra de Sistemas de Producción de Bovinos

Español

INTRODUCCION

En muchos países en desarrollo las necesidades de leche exceden el suministro disponible para el consumo humano; esta situación se espera sea más crítica, al respecto, durante los últimos 30-40 años, el crecimiento de la población mundial parece haber incrementado en la misma proporción o incluso más que el crecimiento en la producción de alimentos. En parte, debido a que los países con las más altas temperaturas climáticas, localizados en los trópicos y sub-trópicos (localizados 30 grados latitud norte-sur), no producen suficiente cantidad de alimento para satisfacer sus propias necesidades, aún cuando, esta región reúne aproximadamente el 50% de la tierra arable en el mundo. El Banco Mundial ha estimado que es necesario incrementar la producción mundial de alimento alrededor de un 4%, para asegurar el suministro de alimentos para el año 2025 (Phipps, 1994). Esta tasa de incremento es bastante ambiciosa pero alcanzable si tecnologías mejoradas se incorporan a los sistemas de producción y si mejores recursos alimenticios y mejor manejo de los animales se utilizan. Ciertamente, el uso de la Somatotropina bovina (bST) podría ser incluido como una herramienta para incrementar la producción de leche en los países de los trópicos y sub-trópicos.

Uno de los primeros productos derivados biotecnológicamente disponible para ser utilizados en producción animal es la Somatotropina Bovina (bST), que contrariamente a los esteroides es una hormona proteica. Muchas investigaciones han demostrado respuestas positivas en producción de leche y persistencia de la lactancia debidas al uso de bST en todas las razas lecheras evaluadas; sin embargo, la calidad en el manejo de los animales, aparentemente parece ser el factor más importante afectando la magnitud de la respuesta en producción de leche debida al bST. La eficiencia productiva de las vacas lecheras ha sido definida como la relación entre la producción de leche y de componentes de la leche y el costo nutricional de mantenimiento, lactación y el retorno de la vaca al nivel de condición corporal que presentaba antes de que se iniciara la lactancia.

Incrementar la productividad animal en los trópicos y sub-trópicos tal como fue definido, no es fácil, es probable que bajos niveles de producción de leche y pequeños incrementos pueden ocurrir si se compara la respuesta de los animales tratados con la de animales que son manejados en zonas templadas. Altas temperaturas y alta humedad ambiental directa e indirectamente tienden a disminuir la producción de leche. Las oportunidades para incrementar la producción lechera están focalizadas en el ganado lechero, particularmente ganado del género *Bos Taurus*, debido a que éstos producen leche a más altos niveles y como rumiantes que son, tienen la capacidad de utilizar productos alimenticios y sub-productos de otras industrias, los cuales no pueden ser utilizados por los humanos. También consumen forrajes, establecidos sobre suelos que no reúnen las mejores características para el cultivo de granos de cereales (utilizados por los humanos) y finalmente pueden utilizar recursos de nitrógeno no proteico (urea, amonio) para satisfacer sus necesidades de proteína.

Fisiología y Reproducción

El objetivo principales de esta ponencia es describir algunos aspectos de importancia en la fisiología y metabolismo para la utilización de la ST bovina en los sistemas de producción, haremos un breve recuento de los resultados obtenidos mediante la utilización de bST en novillas en crecimiento así como también los aspectos mas relevantes sobre la producción de leche y la reproducción durante la lactancia temprana.

Consideraciones Generales Sobre el Uso de la Somatotropina

La capacidad del bST para aumentar la producción de leche en vacas lecheras en lactancia es bien conocida. Inyecciones de bST a vacas de alta o mediana habilidad productiva, al principio, mitad e incluso durante lactancias avanzadas, resulta en un incremento de 2-5 kg/d en la producción de leche, siendo dicho aumento bastante consistente y representa entre 5 - 40% del aumento total en producción de leche durante la lactancia completa. Es evidente que existen variaciones en la respuesta, pero son debidas al nivel de la dosis de bST, al número de inyecciones aplicadas, al estado de la lactancia de la vaca, condiciones de manejo, factores ambientales y muchos otras razones. El aumento en la producción de leche se observa entre 1-2 días después de haber comenzado las inyecciones de bST y continua durante todo el período hasta que las inyecciones sean suspendidas. Se han reportado incrementos entre el 8-40%, pero en uso comercial el actual incremento esperado es del 15-25% bajo buenas condiciones ambientales y de manejo; sin embargo esto puede ser grandemente afectado por diferencias entre las vacas, manejo y ambiente.

Es importante entender la fisiología de la lactancia y las adaptaciones en el metabolismo energético de las vacas durante la lactancia para justificar o no el uso del bST. Si entendemos que los productores tienen por objetivo mantener vacas en producción de leche a través de todo el año, ello implica tener un conocimiento adecuado de los aspectos de manejo, entre otros por ejemplo, que la recuperación de la condición corporal de las vacas en la etapa temprana después del parto es de crucial importancia. El plano nutricional de las vacas durante la lactancia puede tener un efecto significativo sobre la producción de leche y sobre el normal reinicio de la actividad ovárica post parto. El aumento o la disminución de la energía del cuerpo de las vacas en lactancia puede ser medido cualitativamente y cuantificado como herramienta para determinar el estatus energético y la movilización de tejido y es definido como Condición Corporal (CC). Valores de CC pueden ser utilizados para determinar la cuantía de deficiencias energéticas en la dieta durante la pérdida de peso al inicio de la lactancia o para estimar la cantidad de alimento necesario para recuperar el peso corporal durante el final de la lactancia.

La lactancia resulta en una disminución en la tasa de síntesis de ácidos grasos en el tejido adiposo, mientras que al mismo tiempo causa un aumento en la movilización de tejidos corporales, especialmente durante la lactancia temprana. Estas adaptaciones ocurren para facilitar el uso preferencial de los precursores lipogénicos por la glándula mamaria. Las hormonas responsables de estas adaptaciones son: Insulina (INS), Prolactina (PRL) y Somatotropina (ST). El status nutricional modifica las concentraciones séricas de ST, mientras otros metabolitos como la glucosa, ácidos grasos no esterificados (AGNE) y amino ácidos también han sido postulados como factores secundarios que modulan la secreción de ST. Colectivamente los datos recopilados demuestran que bajo ciertas condiciones fisiológicas tales como la lactancia, alteraciones en el metabolismo energético influyen sobre la función Hipotalámico-Pituitaria. La ST es un controlador homeorretico que cambia la partición de los nutrientes y así es involucrada en la coordinación del metabolismo de varios tejidos y organos. Los cambios en el metabolismo de los tejidos envuelven efectos directos sobre algunos tejidos y efectos indirectos mediados por las Somatomedinas (IGF-I) dependientes de la ST para otros tejidos (Bauman, 1992).

La literatura internacional reporta que existe un aumento en el consumo voluntario de materia seca (MS) en las vacas suplementadas con bST. El aumento en el consumo voluntario de MS generalmente ocurre pocas semanas después de la iniciación del tratamiento y persiste durante todo el tiempo mientras se mantenga la suplementación con bST. Sin embargo, la magnitud en el aumento en el consumo de MS depende de la respuesta en producción de

Fisiología y Reproducción

leche y de la densidad energética de la dieta. Si no ocurre el aumento en el consumo de MS, entonces las vacas utilizarán las reservas corporales para mantener la producción de leche al más alto nivel y ello conducirá a un descenso en la CC del animal. Las vacas aumentarán su consumo de alimento, pero sólo podrán hacerlo si suficiente alimento de buena calidad les es ofrecido. Cuando las aplicaciones de bST se empiezan después del parto en el momento recomendado (60 días post partum), las vacas que generalmente se encuentran en balance negativo de energía, aumentarán su consumo de alimento y experimentarán un incremento en la eficiencia de utilización del alimento (kg leche corregida al 3.5%), pero ello debe ocurrir si se espera que la vaca sostenga el incremento en producción de leche. De manera, que es evidente que las vacas deben tener una buena CC para el momento cuando se inicia el tratamiento con bST, adicionalmente, deben ser provistas de suficiente alimento de buena calidad para satisfacer las demandas extra de energía y otros nutrientes que le permitan responder con la producción de leche adicional. Esto se hace aún más importante para vacas tratadas con bST y manejadas en ambientes calientes. Aunque no se sabe con seguridad, si son los efectos directos de la somatotropina e insulina como factor de crecimiento (IGF I y II), o son los nutrientes mismos, quienes actúan sobre los núcleos hipotalámicos (quizás el centro del apetito) para causar el aumento en el consumo de alimento. Muchos órganos del cuerpo, incluyendo el tracto digestivo aumentan de tamaño durante la lactancia, y es posible que estos órganos incrementen aún más debido al tratamiento con bST, pero como todo ello resulta en un mayor consumo de alimento, todavía se desconoce.

En otro orden de ideas en los sistemas de producción animal con bovinos, el crecimiento es un proceso a largo plazo y muchos órganos muestran grandes cambios en tamaño a través de la vida, dichos cambios son debidos al trabajo físico o metabólico que cada uno realiza durante el proceso de crecimiento y que realizará durante la vida adulta. Los cambios en la distribución relativa de los tejidos de las novillas de reemplazo en crecimiento puede ser función de la selección genética para la producción de leche a través del tiempo (Hoffman and Funk, 1992). Durante el desarrollo, los mecanismos responsables del aumento en el tamaño de los órganos y en general de todo el cuerpo son hiperplasia e hipertrofia o ambos (Reeds and Fiorotto, 1990). Muchos factores pueden afectar la tasa de crecimiento de los animales a diferentes edades, éstos incluyen enfermedades, nutrición y las de prácticas de manejo. El manejo y la nutrición a menudo son difíciles de controlar debido a cambios en las condiciones ambientales, cambios en la calidad del alimento o la incidencia de problemas de salud de corta o larga duración. El crecimiento de las novillas es un proceso a relativamente largo plazo (cuadro 1), donde el aumento en el tamaño corporal ocurre en tres fases: temprano entre 3 y 6 meses de edad cuando el crecimiento es hipertrofico; durante el período prepuberal cuando el crecimiento incluye tanto hiperplasia como hipertrofia de órganos y tejidos y después de la pubertad cuando la hiperplasia domina los mecanismos de crecimiento diferente en varios períodos, (García, 1995; DiMarco et al., 1987).

Muchos estudios han demostrado que cuando la ST es utilizada en animales durante los períodos de crecimiento, la retención de nitrógeno, la ganancia de peso y el contenido de tejido magro de la canal aumentan. La ST exógena aumenta el promedio de ganancia diaria de peso y significativamente altera el patrón normal de crecimiento halométrico, resultando en una mayor tasa de crecimiento del músculo esquelético (deposición de proteína) y en una reducción en la tasa de deposición de tejido adiposo. Estos resultados y otros que describen un mejoramiento del crecimiento, desarrollo y de la composición del cuerpo cuando el bST es usado, indican que parece ser importante considerar si el bST puede ser utilizado como un positivo regulador del crecimiento en los programas de levante de novillas en las fincas comerciales.

El levante de novillas de reemplazo aumenta los beneficios al productor cuando el peso de servicio se alcanza más eficientemente con costos reducidos; el costo de levantar una novilla lechera hasta el primer parto ha sido recientemente estimado en 1.200,00 \$ (VandeHaar, 1998), pero es evidente que habrá diferencias entre regiones y sistemas de manejo. Una vía para disminuir el costo en el levante de novillas es disminuyendo el tiempo en el cual las novillas alcanzan el primer parto, siendo uno de los factores más importantes que afectan

Fisiología y Reproducción

la edad al primer parto, la limitada capacidad de las novillas para la partición de nutrientes cuando se intenta aumentar la velocidad de crecimiento. Los posibles efectos de esa limitada capacidad influyen el desarrollo del tejido epitelial mamario y la deposición de proteína corporal, ambos son importante pero permanecen secundarios a la partición de nutrientes para un mas rápido crecimiento (Hoffman and Funk, 1992).

El uso de agentes que permitan la partición de los nutrientes tales como β -agonistas o el uso de reguladores del crecimiento como la ST y/o los esteroides puede ser útil para alterar la utilización de los nutrientes de las novillas en crecimiento y debido a que el aumento en la velocidad de crecimiento del esqueleto y la reducción en la tasa de deposición del tejido adiposo de novillas lecheras típicamente ocurre durante el período de crecimiento prepuberal, el uso de bST puede ser benefico, especialmente si el bST es utilizado después de la pubertad o durante el periodo de crecimiento durante la preñez lo cual puede ser benefico para la producción de leche durante la primera lactancia. Los efectos sobre la promoción del crecimiento y la repartición de nutrientes del bST exogeno han sido ya demostrados, de manera que la manipulación del crecimiento mediante el uso de agentes de redistribución de nutrientes debe ser evaluada criticamente (cuadro 2).

CUADRO 1:

Medias cuadraticas y EE para las tasa de ganancia de peso diario (Kg/d) de novillas¹ Holstein durante varios períodos de crecimiento prepuberal and peripuberal.

Períodos de crecimiento	Tratamientos ²					
	I	II	III	IV	V	VI
No. de animales	52	56	36	27	9	14
Prepuberal						
90 to 120 d	0.433 ± 0.09	0.536 ± 0.07	0.442 ± 0.10	0.560 ± 0.17	0.275 ± 0.20	0.194 ± 0.13
90 to 180 d	0.619 ± 0.03	0.708 ± 0.03	0.630 ± 0.04	0.694 ± 0.05	0.469 ± 0.06	0.568 ± 0.06
90 to 220 d	0.634 ± 0.03	0.746 ± 0.02	0.630 ± 0.03	0.699 ± 0.04	0.553 ± 0.05	0.751 ± 0.05
120 to 220 d	0.724 ± 0.03	0.821 ± 0.03	0.630 ± 0.03	0.707 ± 0.05	0.572 ± 0.06	0.843 ± 0.05
Peripuberal						
220 to 365 d	0.739 ± 0.02	0.815 ± 0.02	0.913 ± 0.02	1.031 ± 0.04	0.957 ± 0.04	1.010 ± 0.05
General						
90 to 365 d	0.719 ± 0.02	0.802 ± 0.01	0.817 ± 0.02	0.875 ± 0.03	0.752 ± 0.03	0.889 ± 0.03

¹ Novillas levantadas sobre dos planos nutricionales e inyectadas o no con 12.6 or 35.7 mg bST/d.

² Tratamientos : I = Dieta Control - no bST; II = Dieta de Alta energía - no bST; III = Dieta Control + 35.7 mg bST/d; IV = Dieta de alta energía + 35.7 mg bST/d; V = Dieta Control + 12.6 mg bST/d; VI = Dieta de alta energía + 12.6 mg bST/d.

Model: ADG = treatment, season, trt(season, adjusted by initial weight).

Somatotropina, Crecimiento y Desarrollo Corporal

Las razas lecheras grandes como la Holstein usualmente alcanzan la pubertad entre 9 - 11 meses de edad con un peso promedio de 250 - 280 kg.; que representa alrededor del 45 - 50% de su peso maduro. El nivel de alimentación de las novillas de reemplazo es la principal fuente de variación asociada con las tasas de crecimiento dentro de una raza (Moran and Roche, 1989; Schillo et al., 1992; Garcia, 1998). Introducir las novillas al programa de inseminación artificial y preñarlas con peso menor del recomendado (320 - 350 kg), trae como resultado vacas con menor tamaño al momento del primer parto, con menor desarrollo de la glándula mamarria, con mayores problemas de distocias al momento del parto y con menores probabilidades de producción de leche durante la primera y segunda lactancia (Hoffman and Funk, 1992).

Fisiología y Reproducción

CUADRO 2.

Medias cuadráticas y EE para la tasa de ganancia diaria de peso (kg/d) de novillas Holstein durante el período de crecimiento peripuberal¹.

	No de animales	GDP ²	
<u>Plane of Nutrition</u>			
Dieta control	97	0.876 ± 0.02	
Dieta de alta energía	97	0.932 ± 0.02*	
<u>Somatotropina (bST)</u>			
			Contrastes
0 mg/d (I)	108	0.789 ± 0.02	(I vs II +III)
12.6 mg/d (II)	23	0.947 ± 0.02	
35.7 mg/d (III)	63	0.966 ± 0.03	**

¹Novillas levantadas sobre dos planos nutricionales e inyectadas o no con 12.6 mg bST/d or 35.7 mg bST/d durante el período de crecimiento peripuberal de 220 a 365-d de edad.

² GDP = ganancia diaria de peso (kg/d).

* P? 0.0505

**P<0.001

El sistema endócrino controla el crecimiento corporal (Armstrong and Hansel, 1956), y la ST es considerada como la hormona clave asociada con la tasa de ganancia de peso, debido a sus efectos anabólico, anti insulínico y lipolítico (Bass and Gluckman, 1990). Los resultados de estudios realizados a corto y largo plazo en ovejas, novillos, ganado y cerdos demostrarán que la ST mejoraba la utilización del alimento y que incrementaba la retención de nitrógeno y como resultado aumentaba el promedio de ganancia diaria de peso (Brumby, 1959; Early et al., 1990; Enright, 1989; Grings et al., 1990; Moseley et al., 1982; Sandles and Peel, 1987; Stelwagen et al., 1992; ; Wallace and Basset, 1966; Wynn et al., 1979). Similarmente, el tratamiento con ST exógena en novillas durante el periodo prepuberal en tres experimentos sucesivos realizados en la Unidad de Producción Lechera de la Universidad de Florida, resulto en una mayor ganancia de peso y altura en los animales tratados (cuadro 3), lo que sugiere que la ST alteró el patrón normal de crecimiento halométrico de los tejidos, resultando en una mayor tasa de deposición de proteína (crecimiento muscular) y una disminución en la deposición de tejido adiposo lo que se asume se tradujo en resultaron (García, 2001; Muir et al., 1983). En general, los resultados de los estudios donde la ST ha sido administrada en animales en crecimiento indican que la ST es necesaria para el crecimiento y que es necesaria para la partición de los nutrientes para el músculo o para el tejido adiposo.

Las acciones de la ST a corto plazo, han sido descritas como relacionadas con la conservación de la proteína, o para la preservación de la proteína en los tejidos corporales a expensas de la movilización de grasa para proveer la energía necesaria cuando el consumo es insuficiente (Pell and Bates, 1987). Por otra parte, las acciones de la ST a largo plazo están dirigidas a la partición de los nutrientes, redireccionando los mismos hacia tejidos específicos que apuntan la realización de procesos tales como el crecimiento o la lactancia; es decir la estimulación del crecimiento producida por la aplicación de ST exógena es probablemente debida a una combinación de factores los cuales incluyen mejora en la eficiencia en conversión alimenticia, cambios en el metabolismo de nutrientes especialmente en el hígado en orden de generar más sustratos para ser utilizados por el organismo o por cambios en el metabolismo de tejidos específicos, relacionados con los efectos directos de la ST en esos tejidos. Adicionalmente, dentro de éstos cambios se incluye un aumento en procesos de síntesis de algunos sustratos, como es el caso de la gluconeogénesis, para aumentar la disponibilidad de glucosa para los tejidos en crecimiento. La ST también estimula el crecimiento corporal

Fisiología y Reproducción

actuando en forma indirecta a través de otras hormonas o factores de crecimiento como es el caso de la Insulina o la IGF-I. Como resultado de éstas actividades de la ST, las células de diferentes tejidos sufren procesos de mitosis, aumentan la síntesis de proteína y la depositan dentro de ellas, resultando en hipertrofia o expansión celular; de manera que una unidad de ganancia de peso puede estar representada por diferentes proporciones de grasa, proteína y cenizas (Bonczek et al., 1988).

Somatotropina, Crecimiento y Desarrollo de la Glándula Mamaria.

El potencial para la producción de leche es una función directa del número de células secretorias en la glándula mamaria y de la capacidad de síntesis de leche durante la lactancia (Forsyth, 1996; Knight and Wilde, 1987), siendo el número de células probablemente el factor más limitante (McGrath, 1987). Adicionalmente, es importante que los animales en lactancia tengan no solo la capacidad de comer suficiente cantidad de los nutrientes apropiados sino también sean capaces de realizar la partición de dichos nutrientes hacia la glándula mamaria y hacia otros órganos de importancia, con el fin de asegurar un adecuado nivel de producción de leche. Por estas y otras razones de índole económico y de manejo, la tasa de crecimiento de las novillas de reemplazo es gran importancia para el subsiguiente desenvolvimiento de la novilla dentro del rebaño lechero.

El crecimiento y desarrollo de las células de la glándula mamaria ocurre en distintas fases relacionadas con el desarrollo reproductivo, durante la vida fetal, alrededor de la pubertad, durante la preñez y finalmente durante la preparación para la lactancia y la lactancia misma. El desarrollo de la glándula mamaria depende de hormonas mamogénicas tales como la ST, estrogénos (E_2) y prolactina (PRL) y además de otros factores de crecimiento (Forsyth, 1996; Tucker, 1981, 1987). La mayor parte del desarrollo mamario ocurre durante la preñez, aún cuando es evidente que existe crecimiento mamario durante la pubertad pero, la cantidad y calidad de dicho desarrollo es menos pronunciado que durante la preñez, sin embargo el desarrollo mamario durante la pubertad es de gran importancia para la futura habilidad productora de leche de la novilla y/o vaca lechera (Foldager and Sejrsen, 1987; Johnson, 1988; Sejrsen, 1994; Sejrsen and Purup, 1997). La cantidad y tipo de crecimiento del sistema mamario que ocurre a través de los diferentes periodos de crecimiento post natal puede afectar la cantidad de leche que la novilla producirá durante la primera y segunda lactancia, debido a que durante la pubertad se define el número, tamaño y ramificaciones de los conductos galactoforos que darán posteriormente origen al crecimiento de los acinos glandulares.

Durante el período prepuberal se conocen dos factores que afectan la deposición de tejido parenquimatoso en la glándula mamaria y ellos son el plano de nutrición y las concentraciones periféricas de ST (Sejrsen et al., 1989). Ha sido reportado que la cascada hormonal que controla los cambios en la expansión del epitelio de los conductos dentro de la almohadilla adiposa de la glándula mamaria, pueden ser mediados en parte, por la propia almohadilla adiposa. La almohadilla adiposa recibe señales hormonales las cuales actúan sobre las células adiposas, quienes responden enviando la apropiada señal química al tejido del conducto para estimular su crecimiento. Adicionalmente, ha sido postulado que durante la fase prepuberal de crecimiento acelerado de la glándula mamaria, la tasa de crecimiento del tejido parenquimatoso es 1,8 - 3,5 veces mayor que la tasa de crecimiento observada en todo el cuerpo (Tucker, 1981), por lo que se ha sugerido que los cambios hormonales en la pubertad son la señal para que la glándula mamaria retorne a una tasa de crecimiento isométrico similar a la del resto del cuerpo, sin embargo la señal exacta aun no ha sido identificada (Forsyth, 1996; Van Amburgh and Galton, 1994).

Fisiología y Reproducción

CUADRO 3.

Medias cuadraticas y EE para la ganancia de peso total (GTP), la ganancia diaria de peso (GDP) y el incremento total en alzada (ITA) de novillas Holstein duranmte el período prepuberal¹ inyectadas o no con bST

	Tratamientos ²			
	I	II	III	IV
Experimento I				
Nº. De animales	12	7	14	6
Peso Inicial	155,4 ± 7,9	153,9 ± 11,7	165,9 ± 5,2	167,4 ± 6,3
GTP (Kg)	75,7 ± 7,3	110,8 ± 9,6	121,9 ± 6,7	124,8 ± 10,5
GDP (kg/d)	0,55 ± 0,05	0,80 ± 0,07	0,84 ± 0,07	0,88 ± 0,05
ITA (cm)	11,3 ± 1,0	11,5 ± 1,3	13,3 ± 0,9	14,0 ± 1,5
Experimento II				
Nº. De animales	15	16	16	16
Peso Inicial	152,1 ± 5,5	145,4 ± 3,5	162,4 ± 5,2	177,7 ± 3,4
GTP	115,0 ± 4,2	118,7 ± 4,4	123,2 ± 4,0	131,2 ± 4,6
GDP	0,85 ± 0,03	0,88 ± 0,03	0,92 ± 0,03	0,97 ± 0,01
ITA	15,6 ± 0,7	15,1 ± 0,7	14,8 ± 0,7	17,6 ± 0,8
Experimento III				
Nº. de animales	52	42	58	31
Peso Inicial	159,1 ± 3,0	151,6 ± 3,2	164,5 ± 2,6	156,3 ± 4,1
GTP	132,1 ± 3,2	154,2 ± 3,6	137,3 ± 3,3	163,1 ± 4,5
GDP	0,75 ± 0,02	0,87 ± 0,02	0,80 ± 0,02	0,94 ± 0,02
ITA	18,3 ± 0,43	19,6 ± 0,5	19,1 ± 0,44	19,94 ± 0,7

¹ Período prepuberal de 220 a 365 días.

² Tratamientos: I= Dieta Control; II= Dieta control + bST; III= Dieta alta en energía; IV= Dieta alta en energía + bST.

Dosis de 8, 12 y 25 mg de bST/d aplicadas cada 14 días para los experimentos I, II y III respectivamente

Una vez que las novillas han sido servidas y quedan preñadas, la glándula mamaria es expuesta a las hormonas de la preñez y a otros factores de crecimiento, los cuales estimulan el segundo período de crecimiento acelerado de la glándula mamaria (crecimiento halométrico), mejor visto durante el último tercio de la preñez. La madurez fisiológica de la novilla al momento del servicio es importante, especialmente si consideramos la calidad y cantidad de desarrollo mamario. Cuando el primer parto ocurre a edad temprana debido a que las novillas fueron servidas y preñadas con peso menor al óptimo recomendado, no ocurre un crecimiento adecuado de la glándula mamaria y en consecuencia la producción de leche durante la primera lactancia es menor de la esperada. Para optimizar la producción de leche durante la primera lactancia, el peso corporal de las novillas al primer parto debería ser el 82 % del peso maduro esperado, condición que disminuiría el grado de competencia por el alimento entre ellas y las

Fisiología y Reproducción

vacas adultas y en consecuencia aseguraría un adecuado consumo de MS. Es sabido que las novillas con menor peso al parto tienen un menor consumo de MS y adicionalmente utilizan en forma preferencial la energía consumida para compensar el crecimiento y en consecuencia la producción de leche es menor aún cuando la persistencia de la lactancia sea mayor (Van Amburgh and Galton, 1994).

El plano nutricional y las concentraciones plasmáticas de ST son los dos factores que tienen el mayor efecto sobre el contenido de tejido parenquimatoso de la glándula mamaria durante el período de crecimiento prepuberal. Una alta ganancia de peso diaria antes de la pubertad, afecta negativamente el crecimiento del parenquima de la glándula mamaria; novillas alimentadas para una alta tasa de crecimiento durante el período peripuberal tuvieron una reducción del 23% en el peso del tejido epitelial y un 32 % de reducción en el contenido de AND. Debido a éstos resultados muchos investigadores han concluido que la reducción en el crecimiento del tejido epitelial compromete la subsecuente producción de leche después del primer parto de las novillas (Foldager and Sejrsen 1987, Niezen et al., 1996; Sejrsen et al., 1986, 1989). Sin embargo, en oposición a estos investigadores, existe un número creciente de investigadores que concluyen que las novillas podrían ser levantadas a altas tasas de crecimiento durante el período peripuberal sin comprometer el crecimiento del tejido epitelial mamario ni tampoco la subsecuente producción de leche (Capuco et al., 1995; García, 1998; Head et al., 1991; VandeHaar, 1998, Van Amburgh and Galton, 1994). Existen varias razones para éstos hallazgos contradictorios, pero lo más importante quizás es el hecho de que por razones obvias, las medidas de producción de leche y de crecimiento epitelial mamario durante el período peripuberal no han sido determinadas en los mismos animales. Para medir el crecimiento del tejido epitelial de la glándula mamaria durante la fase de crecimiento, las novillas tuvieron que ser sacrificadas y las medidas ser hechas sobre los tejidos colectados, en consecuencia no pudo haberse medido subsecuente producción de leche. Adicionalmente, existe del otro lado un problema opuesto y es que cuando se mide la producción de leche, no existe un a via real para determinar el crecimiento que han sufrido los diferentes tipos de células de la glándula mamaria de esos animales vivos durante el período de crecimiento peripuberal, por lo que no se puede asegurar que el crecimiento del tejido mamario ha sido deprimido debido al programa de alimentación.

Una elevada tasa de crecimiento durante el período de crecimiento halométrico, no está importantemente asociada con una reducción en el crecimiento de los componentes epiteliales de la glándula mamaria si la dieta está correctamente balanceada y contiene suficiente cantidad de PC (García, 1998; Sejrsen and Purup, 1997; VandeHaar, 1998). Resultados de varios investigadores indican que cualquiera que sea la asociación entre la tasa de crecimiento, las hormonas y el crecimiento del tejido epitelial mamario, la producción de leche a 305 días y la producción de leche total es igual o mayor para las novillas con mas alta tasa de crecimiento y mayor peso al parto (cuadro 4). Ha sido reportado que la producción de leche a 305 días y la producción de leche total de novillas tratadas con 35,7 mg de bST las cuales tuvieron alta tasa de crecimiento durante el periodo peripuberal, fué mayor que la producción de las novillas no inyectadas o inyectadas con 12,6 mg de bST durante la misma fase de crecimiento (García, 1998; cuadro 5).

Fisiología y Reproducción

CUADRO 4.

Medias cuadráticas y EE para la producción de leche a 305 días y la leche total de vacas Holstein primiparas¹.

Tratamientos ²	No de Animales	GDP ³	Producción de leche a 305-d ⁴	Producción total de leche
I	52	0.758 ± 0.02	6841.3 ± 187.3	7939.6 ± 384.5
II	56	0.830 ± 0.03	7024.8 ± 170.1	8555.0 ± 349.1
III	36	0.928 ± 0.03	7006.9 ± 247.6	8410.1 ± 562.9
IV	27	1.030 ± 0.04	7076.1 ± 456.7	8663.3 ± 508.3
V	9	0.957 ± 0.04	6706.3 ± 387.6	8221.9 ± 937.4
VI	14	1.010 ± 0.03	6860.3 ± 274.2	7735.0 ± 795.6

¹Novillas levantadas sobre dos planos de alimentación inyectadas o no con 12.6 mg bST/d o 35.7 mg bST/d durante el período de crecimiento peripuberal de 220 a 365-d de edad.

²Tratamientos : I = Dieta control - no bST; II = Dieta de alta energía - no bST; III = Dieta control + 35.7 mg bST/d; IV= Dieta de alta energía + 35.7 mg bST/d;

V = Dieta control + 12.6 mg bST/d; VI = Dieta de alta energía + 12.6 mg bST/d.

³GDP = ganancia diaria de peso (kg/d). ⁴Producción de leche (kg).

Contrastes ortogonales:

I, II vs. III, IV, V, VI was not significant.

I, III, V vs. II, IV, VI was not significant.

I, IV, VI vs. II, III, V was not significant.

III, IV vs. V, VI was not significant.

La ST es requerida para el máximo crecimiento puberal y para el desarrollo de la glándula mamaria, sin embargo, durante el período prepuberal (3,5 - 8 meses de edad) y durante el período puberal (de 8 a 12 meses de edad) de novillas manejadas en un plano alto de alimentación, las concentraciones séricas de ST son menores (Sejrsen et al., 1986; Capuco et al., 1995; Sejrsen et al., 1982). La ST tiene un importante rol en la mamogénesis, la administración de bST aumentó el contenido de parenquima mamario y mejoró el efecto detrimental de un alto nivel de alimentación de novillas determinado por el peso al destete de los becerros de las mismas vacas durante tres partos. Más aun vacas primiparas tratadas con bST desde el día 118 de la lactancia aumentaron la producción de leche, la producción de componentes de la leche y la actividad metabólica (ARN) en el tejido mamario sin aumentar el número de células mamarías (AND), pero más importante aun disminuyó la cantidad de Plasmina en leche. Este cambio en la cantidad de plasmina debido al tratamiento con bST durante la lactancia implica que el bST actúa como un inhibidor de la involución gradual del tejido de la glándula mamaria que normalmente ocurre a través de la lactancia (Binelli, 1995; Politis and Turner, 1990). Adicionalmente, existen reportes de que la producción de leche corregida al 4% de grasa aumentó en un 19% cuando novillas holstein fueron tratadas con 20 mg de bST/d antes del parto, pero que contrariamente no se observó ningún efecto cuando fueron tratadas con 40 mg de bST/d, así como tampoco se observó ningún efecto en producción de leche durante la primera lactancia cuando el bST fué aplicado durante la etapa de servicio (13- 18 meses de edad) o durante la etapa puberal de 7 a 11 meses de edad (Stelwagen et al., 1992; Grings et al., 1990; Murphy et al., 1991).

Fisiología y Reproducción

La ST es el principal controlador de crecimiento del tejido mamario durante el período de crecimiento prepuberal, sin embargo, la síntesis de ST parece estar regulada por el nivel energético del animal, por lo que en novillas sobre condicionadas habrá una menor secreción de ST; sin embargo es sabido que la ST estimula la síntesis hepática de IGF-I cuando el balance energético es positivo y que en novillas de reemplazo alimentadas con un alto nivel energético, las concentraciones circulantes de IGF-I están aumentadas por lo que parece que la ST actúa sobre la glándula mamaria de novillas prepuberes indirectamente vía IGF-I (Stelwagen et al, 1992; Sejrsen, 1994; Breier et al., 1988). La verdadera relación entre ST, IGF-I y el crecimiento mamario puede ser modificado por las proteínas ligadas o transportadoras de la IGF-I encontradas en sangre y tejidos y también por la producción local de IGF-I en la glándula mamaria (Sejrsen, 1994). Las acciones de la ST sobre la glándula mamaria son mediadas por la IGF-I; las concentraciones séricas de IGF-I son incrementadas por la administración de ST exógena de manera que la IGF-I puede estimular múltiples respuestas celulares asociadas con la síntesis de AND, con la síntesis de proteína celular y crecimiento de los tejidos (Clemmons and Underwood, 1991; Crooker et al., 1990; McShane et al., 1989; Purup et al., 1995).

Receptores para la IGF-I han sido demostrados en el tejido mamario de vacas; estos receptores están involucrados en las acciones de la ST sobre la glándula mamaria, mediadas a través de la IGF-I. Más aun, los receptores para la IGF-I en la glándula mamaria cambian con el estado fisiológico del tejido, por ejemplo el número de receptores para la IGF-I declina durante el período preparto, aumentan hasta en un 75% durante la lactogénesis y dicho aumento está asociado con el aumento en la unión de la IGF-I a los microsomas mamaros, finalmente los receptores disminuyen durante el período post parto. Estos conceptos soportan la teoría de que la IGF-I juega un importante papel modulando la actividad metabólica en la glándula mamaria de los bovinos, actuando directamente sobre las células epiteliales normales para estimular la síntesis de AND para aumentar el número de células (Dehoff et al., 1988). Sin embargo, ha sido reportado que el crecimiento de la glándula mamaria durante la preñez no es regulado a nivel de los receptores tipo I para la IGF-I, ni tampoco está asociado con un aumento en la unión de la IGF-I con los microsomas mamaros (Winder et al., 1992; Dehoff et al., 1988).

CUADRO 5.

Medias cuadráticas para la producción de leche a 305-d y la leche total de vacas Holstein primiparas¹.

	No. de animales	GDP ²	Producción de leche a 305-d ³ (kg)	Producción total de leche (kg)
Plano Nutricional				
Dieta Control	97	0.876 ± 0.02	6601.8 ± 155.6	8133.0 ± 320.2
Dieta de alta energía	97	0.932 ± 0.02 ⁴	6916.3 ± 149.5	8282.2 ± 307.5
Somatotropin (bST)				
0 mg/d (I) ⁴	108	0.799 ± 0.02	6899.7 ± 190.0	8261.5 ± 279.7
12.6 mg/d (II)	23	0.947 ± 0.04	6841.3 ± 328.1	7992.3 ± 675.1
35.7 mg/d (III)	63	0.966 ± 0.03	6996.2 ± 205.9	8478.9 ± 424.9

¹ Novillas levantadas sobre dos planos nutricionales e inyectadas o no con 12.6 mg bST/d o 35.7 mg bST/d durante

el período de crecimiento peripuberal de 220 a 365-d de edad.

² GDP = ganancia diaria de peso (kg/d).

³ Las medias para la producción de leche a 305-d o la leche total no fueron significativamente diferentes ni para el plano nutricional, ni para el tratamiento con bST, tampoco fue significativa la interacción de estos (P>0.10).

⁴ Contrastes ortogonales I vs. II, II para GDP P<0.001

* P<0.0505

Fisiología y Reproducción

Somatotropina, Peso al Parto y Producción de leche.

Ha sido demostrado que tanto la tasa de crecimiento prepuberal como la tasa de crecimiento post puberal tienen efectos significativos sobre el peso al parto, sin embargo solo la tasa de crecimiento postpuberal tiene efecto significativo sobre la producción de leche (Hoffman and Funk, 1991; García, 1998). Existe una correlación positiva entre el tamaño corporal al primer parto y la producción de leche durante la primera lactancia, las novillas más pesadas al parto producen mayor cantidad de leche durante la primera lactancia (Heinrichs and Hargrove, 1987; Keown, 1986; Keown and Everett, 1986). El efecto negativo de una alta tasa de crecimiento durante el período prepuberal parece estar relacionado con preñeces tempranas y parto antes de los 22 meses de edad (Hoffman et al., 1996; Lin et al., 1986). La madurez fisiológica de las novillas para el momento del servicio es importante, ello permite un adecuado crecimiento de la glándula mamaria, de manera que una tasa de crecimiento promedio de 0,8 kg/d durante la fase puberal, seguido de una mayor velocidad de crecimiento durante la preñez no tiene ningún efecto negativo sobre el desarrollo del tejido mamario (Daccarett et al., 1993; Harrison et al., 1983; Sejrsen et al., 1982; USDA/DHIA, 1990). Por ello es importante, que al momento del primer parto la novilla pese alrededor del 82 % del futuro peso corporal maduro. Utilizando éste criterio para un peso al parto preestablecido, se puede optimizar la producción de leche durante la primera lactancia, pues las novillas más pesadas serán capaces de competir por los nutrientes y de seleccionar el alimento dentro del rebaño lechero, situación que garantiza un consumo suficiente de MS (VanAmburgh and Galton, 1994).

La producción de leche a 305 días y la producción de leche total durante la primera lactancia de novillas inyectadas con bST durante el período de crecimiento peripuberal, aumento linealmente con el aumento en el consumo de MS, dicho aumento siguió el mismo comportamiento que usualmente es esperado para las vacas. Las vacas alcanzan el pico de producción entre 5 a 8 semanas después del parto, de allí en adelante, la persistencia de la lactancia declina entre 3 a 6 % por mes durante la primera mitad de la lactancia, de manera que la mayor cantidad de leche es producida durante éste período de la lactancia; contrariamente, durante la segunda mitad de la lactancia hasta 240 días la persistencia en la producción de leche declina entre 8 a 10 % por mes, por lo que el aumento en la producción total de leche ocurre a una menor velocidad. Finalmente, durante la lactancia avanzada y hasta el final de la lactancia la pérdida en la producción es todavía mayor y puede ser influenciada en mayor grado por la preñez y la alimentación de manera que la cantidad de leche producida no representa un porcentaje importante de la leche total producida hasta el final de la lactancia.

El peso al parto, los días en ordeño y los días abiertos tienen un efecto altamente significativo sobre la producción de leche a 305 d. y la producción total de leche; sin embargo debido al efecto positivo y significativo que tiene la tasa de ganancia de peso durante el período peripuberal de 220 - 365 días de edad sobre la producción de leche (cuadro 6), es importante conocer la relación que existe entre la tasa de crecimiento durante el período peripuberal con el peso al parto, los días abiertos y los días en ordeño. Al efecto, novillas alimentadas con dietas de alta energía tuvieron mayores tasa de crecimiento y fueron 8 kg más pesadas al parto que las alimentadas con dietas control (497.9 vs. 490.1 kg); Adicionalmente, los resultados de varios experimentos (García, 1998) demostraron que las novillas inyectadas con 35,7 mg de bST/día, con una ganancia de peso diaria de 920 gr fueron 23,4 y 39,6 kg más pesadas al parto (530.3 vs. 506.9 and 490.7) que novillas inyectadas con 12,6 mg/día de bST y que aquellas simplemente no inyectadas.

La tasa de crecimiento de las novillas debe ser lo suficientemente alta para que las novillas alcancen el peso deseado a la edad deseada, para obtener el primer parto a una edad temprana (24 - 30 meses) con un tamaño adecuado (García, 1998; Hoffman and Funk, 1992; Keown, 1986; NRC, 1989). Ha sido reportado que las novillas de rebaños de alta producción de leche paren más pesadas que las novillas de rebaños de baja producción (Heinrichs and Hargrove, 1987, 1991, 1994).

Fisiología y Reproducción

Ha sido reportado un efecto altamente significativo de la tasa de crecimiento de las novillas durante el período peripuberal sobre los días en ordeño ($P < 0.01$) y un efecto altamente significativo ($P < 0.001$) de los días abiertos sobre los días en ordeño de las novillas de primer parto (García, 1998); así como también, el promedio de días abiertos fue significativamente afectado ($P < 0.001$) por el efecto lineal y cuadrático de los días en ordeño. Las novillas alimentadas con una dieta de alta energía durante el período de crecimiento peripuberal, con alta tasa de ganancia de peso diario, tuvieron menos días abiertos comparadas con las novillas alimentadas con una dieta base con baja tasa de ganancia diaria de peso. Más aun las novillas inyectadas con 35,7 mg de bST/d con altas tasas de crecimiento (920 gr/d) y por consiguiente más pesadas al parto tuvieron menos días abiertos (162,8) que las novillas inyectadas con 12,6 mg de bST/d (175,7) y que las no inyectadas (177,0), por lo que este estudio sugiere que la administración de bST durante el período de crecimiento peripuberal tiene un efecto positivo sobre la ganancia de peso, resultando en novillas más pesadas al momento del parto las cuales tiene una menor cantidad de días abiertos después del parto.

CUADRO 6.

Medias cuadráticas y EE para el peso al parto (Kg), los días en ordeño y los días abiertos de vacas Holstein primiparas¹.

		GDP (kg)	Peso al Parto (kg)	Días en ordeño	Días abiertos
	No. de Animales	Medias ± EE			
Plano de Nutrición					
Dieta Control	97	0.876 ± 0.02	490.4 ± 4.9	362.5 ± 8.0†	175.6 ± 9.6
Dieta de alta energía	97	0.932 ± 0.02*	497.9 ± 5.0	368.9 ± 7.7	168.1 ± 10.2
Somatotropin (bST)					
0 mg/d (I) ²	108	0.789 ± 0.02	490.7 ± 4.4	366.3 ± 6.9	177.0 ± 8.7
12.6 mg/d (II)	23	0.947 ± 0.04	506.9 ± 10.8	363.4 ± 7.1	175.7 ± 21.7
35.7 mg/d (III)	63	0.966 ± 0.03	530.3 ± 6.7	362.6 ± 7.7	162.8 ± 13.6

¹Novillas levantadas sobre dos planos nutricionales e inyectadas o no con 12.6 mg bST/d o 35.7 mg/ bST/d durante el período de crecimiento peripuberal de 220 a 365 d de edad.

† $P < 0.01$

* $P < 0.0505$

²Contrastes Ortogonales : I vs. II, III para peso al parto ($P < 0.01$); no significativo los días en ordeño ni para los días abiertos pero significativa para la ganancia de peso diaria ($P < 0.001$).

La IGF-I estimula la proliferación y diferenciación de las células de la granulosa *in vitro*. En ratas la expresión del ARNm para la IGF-I y los niveles de IGF-I en el ovario varían durante el ciclo estral, siendo que existe una elevación de los niveles de IGF-I entre el proestro y estro (Carlsson et al., 1989). Debido a que existe una correlación negativa entre el balance energético y las concentraciones circulantes de IGF-I durante la lactancia temprana y dado el papel de la IGF-I en la esteroidogénesis, la IGF-I ha sido implicada como el mediador de los efectos del balance energético sobre la reproducción (McGuire et al., 1992b). Existen muchas evidencias sobre los efectos positivos inducidos por el bST sobre la IGF-I actuando sobre el ovario, la función luteal y el crecimiento folicular. El tratamiento con bST aumentó el número de folículos antrales de 2 a 5 mm de diámetro en novillas maduras (Gong et al., 1991, 1993b). Parece ser que la relación entre bST, IGF-I y la eficiencia reproductiva es sensible al estatus nutricional y energético del animal. Ha sido sugerido que el nivel energético (glucosa u otros

Fisiología y Reproducción

metabolitos glucogénicos incluyendo amino ácidos al menos para la gluconeogénesis) pueden afectar la transcripción del ARNm de la IGF-I, mientras que la proteína (amino ácidos) pueden principalmente controlar la traslación (McGuire et al., 1992a). Un alto consumo de energía disminuye las concentraciones plasmáticas de ST, sin embargo el tratamiento con bST puede restaurar las concentraciones plasmáticas de ST y del mismo modo estimular la secreción de IGF-I por el hígado y por otros tejidos diferentes al hígado.

Un aumento en la CC está directamente asociado con un balance energético positivo y un aumento en el balance energético está asociado con un aumento en las concentraciones séricas de IGF-I durante la lactancia temprana. Ese aumento en las concentraciones de IGF-I está asociado con un aumento en la secreción de progesterona (P_4) durante el diestro del primer y segundo ciclo estral post parto, pero un aumento en la producción de leche está asociado con una disminución en el balance energético y una disminución de las concentraciones séricas de IGF-I (Spicer et al., 1990). De manera que aumentando el consumo de MS antes del parto y durante la lactancia temprana podría ser una vía para aumentar el balance energético y para mantener elevadas las concentraciones séricas de IGF-I durante la fase inicial de la lactancia. Uno de los resultados a esperar sería un aumento en la secreción de P_4 y con ello un aumento en la actividad ovárica post parto, lo cual sería muy útil para disminuir el intervalo parto primer celo post parto y probablemente disminuir también el intervalo entre partos. El tratamiento post parto temprano de vacas lecheras (día 14 después del parto) con 5 mg de bST/d aumento la producción de leche corregida por grasa y quizás la respuesta reproductiva aun cuando los resultados no fueron conclusivos (García, 1998; Stanisiewski et al., 1992). Sin embargo, el bST aumento el consumo de MS después de pocas semanas de iniciado el tratamiento y aumento también las concentraciones séricas de IGF-I (García, 1998).

Es importante tener presente que las vacas durante la lactancia temprana presentan un balance negativo de energía y debido a que existe una correlación negativa entre el balance energético y las concentraciones circulantes de IGF-I durante la lactancia temprana y dado el rol de la IGF-I en la esteroidogénesis, la IGF-I ha sido descrita como un indicador del balance energético que afecta la reproducción. Es como si la interrelación entre bST, IGF-I y eficiencia reproductiva fuesen sensibles al estatus nutricional y energético del animal. Un aumento en la CC está directamente asociado con un balance energético positivo y un aumento en el balance energético está asociado con un aumento en las concentraciones circulantes de IGF-I durante la lactancia temprana y de ésta manera con un aumento en la producción de progesterona (P_4) por el ovario durante los subsecuentes ciclos estrales. Contrariamente, un aumento en la producción de leche durante la lactancia temprana está asociado con una disminución en las concentraciones plasmáticas de IGF-I y una reducción en el balance energético.

Somatotropina, Consumo de Materia Seca y Partición de Nutrientes

Existen reportes contradictorios en la literatura con respecto al efecto de la ST y el consumo de MS. El tratamiento con bST entre 15 a 44 semanas después del parto aumentó el consumo de MS y la producción de leche corregida al 3,5% de grasa; el aumento en la producción de leche ocurre inmediatamente después de haber comenzado las inyecciones a la semana 6, mientras que el aumento en el consumo de MS fué observado al final de la semana 14, lo que indica que el pico en el consumo de MS ocurre después del pico de producción de leche (Salfer et al., 1994; McGuffey and Wilkinson, 1991). Ha sido reportado que existen 4 semanas de vacío entre el inicio del tratamiento con bST y el aumento en el consumo de MS (Chalupa and Galligan, 1989); otros. (Lough et al., 1988; Lucy et al., 1993; Remond et al., 1991) reportaron que en vacas tratadas con bST entre 44 y 105 días de lactancia, aun cuando hubo un aumento en la producción de leche y un aumento en la producción de grasa, no hubo aumento en el consumo de MS y por consiguiente las vacas permanecieron en balance negativo de energía. Más aun, el consumo de MS preparto de las vacas tratadas con bST tendió a ser 21 kg menos que el de las vacas no tratadas con bST durante la última semana preparto. La disminución en el consumo de MS fué de alrededor de 1,9 kg mayor para las

Fisiología y Reproducción

vacas tratadas con 14 mg de bST/d, sin embargo, durante la primera semana post parto el consumo de MS de las vacas tratadas con bST aumento en 3 kg/d, no existiendo de allí en adelante diferencias entre los diferentes grupos (Simmons et al., 1994). Contrariamente, otros investigadores (Garcia, 1998; Hartnell et al., 1991) demostraron que tratamientos con bST a largo plazo aumentaron el consumo de MS y de energía neta (EN) en forma dosis dependiente comparado con los grupos control (cuadro 7). Este aumento en el consumo voluntario de MS resultó en un aumento en la producción de leche y soporto la excreción de nutrientes a través de la leche (Jenny et al., 1992). Otros investigadores reportaron que ni el consumo de alimento, ni estatus energético, ni la eficiencia para la producción de leche corregida fueron afectados por el tratamiento con 350 mg de bST/14 d desde el día 98 hasta el final de la lactancia (Gallo and Block, 1990a). En general, las vacas que han sido tratadas con bST previamente, tienen un mayor consumo de MS después del parto (Bauman et al., 1985; Hemken et al., 1991; Lean et al., 1991), adicionalmente presentan menores concentraciones de ácidos grasos no esterificados (AGNE) y de β -hydroxybutyrate pero mayor es concentraciones plasmáticas de glucosa (Lean et al., 1991).

Las diferencias en el metabolismo post parto de las vacas puede ser atribuido a diferencias en la composición del cuerpo, como resultado de el tratamiento con bST durante la lactancia anterior; de manera que las vacas previamente tratadas con bST movilizan menos lípidos y producen mas leche a partir del alimento ingerido que a partir de los metabolitos que llegan con la circulación provenientes de la movilización de las reservas corporales (cuadro 7), a pesar de que existen algunos reportes que indican que el tratamiento con bST aumenta las concentraciones plasmáticas de AGNE y mejora el consumo de triglicéridos (TG) plasmáticos por la glándula mamaria (Lough et al., 1988). Adicionalmente ha sido reportado que la administración de bST antes del parto (-46 ± 6 d) aumento las reservas de proteínas y estimulo la síntesis de proteína de la leche durante una semana después del parto, pero sin alterar el metabolismo de la grasa subcutánea, de manera que las concentraciones plasmáticas de AGNE de las vacas tratadas y no tratadas fueron similares antes y después del parto, por lo que el estatus energético fue positivo para todas las vacas antes del parto, siendo el estatus energético de las vacas tratadas con 5 mg/d de bST 1,5 Mcal/d, mientras que el de las vacas tratadas con 14 mg de bST fue de 1,1 Mcal/d y el de las no tratadas de 3,8 Mcal/d. (Simmons et al., 1994). Aun cuando después del parto, el estatus energético disminuyo en todas las vacas a través de toda la lactancia, en general no hubo diferencias en el estatus energético entre los diferentes grupos de vacas. Sin embargo, Lanna et al. (1995) encontraron que las vacas inyectadas con bST a la mitad de la lactancia, durante 8 días, mostraron cambios en el estatus energético, pasando de altamente positivo a ligeramente negativo (7.7 a -1.1 Mcal/d) y como consecuencia la tasa de lipogénesis y la actividad de las enzimas Acetil CoA carboxilasa y de la Sintetasa de los ácidos grasos fueron reducidas en las vacas tratadas con bST. Esto indica que cuando las vacas estan en un estatus energético positivo existe una reducción en la síntesis de ácidos grasos en el tejido adiposo, lo cual representa el principal mecanismo a través del cual el bST altera la partición de nutrientes para soportar una mayor producción de leche.

Fisiología y Reproducción

CUADRO 7.

Medias cuadráticas y EE para el consumo de MS (CMS) y el estatus energético de vacas Holstein durante la lactancia temprana (0-65 d).

Fuente	Tratamientos ¹								Contrast		
	I		II		III		IV		Pretrt	PPtrt	Pretrt*PPtrt
No. de animales	11		12		12		11				
	Media	±EE	Media	±EE	Media	±EE	Media	±EE			
CMS (kg/d)	20.21	0.15	19.97	0.14	19.08	0.14	23.69	0.15	NS	*	NS
CMS (% p.v.)	3.5	0.02	3.30	0.02	3.20	0.02	3.70	0.02	NS	*	NS
Consumo EN (Mcal/d)	31.93	0.23	31.74	0.23	30.20	0.22	36.92	0.24	---	---	---
Peso vivo (kg)	608.9	0.51	608.21	0.46	594.85	0.45	639.93	0.49	NS	**	**
GWC	9.08	0.01	9.16	0.00	9.01	0.01	9.26	0.01	NS	**	**
Cambio de p.v. (kg/d)	-0.94	0.12	-1.20	0.12	-0.92	0.12	-0.53	0.12	---	---	---
ENcpv (Mcal/d)	4.46	0.62	5.78	0.60	4.35	0.59	2.44	0.62	---	---	---
Energía en leche (Mcal/d)	25.65	0.22	26.53	0.22	25.47	0.21	29.90	0.23	---	---	---
Balanza Energética (Mcal/d)	-7.5	0.72	-10.87	0.70	-9.82	0.69	-6.03	0.72	NS	NS	NS

¹Tratamientos (Preparto, Postparto); Tratamiento I= 0,0 mg bST/d; II=0,5 mg bST/d; III=5,0 mg bST/d; IV=5,5 mg bST/d.

NS=Not significant

? P < 0.1

** P < .01

La Suplementación con bST significativamente mejora la eficiencia en conversión del alimento ingerido (cuadro 8), sin alterar el contenido de grasa ni tampoco el contenido de células somáticas en la leche, pero con una menor producción de proteína (García, 1998; Remond et al., 1991). Sin embargo otros investigadores han reportado que el tratamiento con bST aumenta el porcentaje de sólidos no grasos (SNG) y disminuye el porcentaje de proteína, sin producir cambios en el contenido de lactosa pero, que aumento la producción de grasa de la leche y aumento la producción total de energía en la leche (Lough et al., 1988). Contrariamente, otros investigadores (Gallo and Block, 1990a; Hartnell et al., 1991) indicaron que no existen cambios en los constituyentes de la leche de vacas Holstein tratadas con diferentes cantidades de bST (350 y 250, 500 o 750 mg /14 d) desde el día 60 o 98 post parto y a través de toda la lactancia. La administración temprana de bST durante los primeros 14 a 60 días de lactancia resultó en un aumento en la producción diaria de leche corregida al 3,5 % de grasa. Las vacas inyectadas con 5 mg de bST/d produjeron 1,2 kg/d mas de leche que las vacas inyectadas con 14 mg de bST/d, mientras que éstas últimas produjeron 1,3 kg mas de leche que las vacas no inyectadas (Stanisiewski et al., 1992).

La Somatotropina, Condición Corporal y Producción de Leche.

El llenado y la depresión de la energía del cuerpo ha sido medida cuantitativamente como condición corporal (CC). Al parto, la cantidad de grasa corporal estimada a través de la CC ha sido utilizada como un indicador de la energía disponible para ser utilizada durante la lactancia temprana para suplir los recursos necesarios y proveer la diferencia entre el consumo de energía dietética y los requerimientos para el mantenimiento corporal y la producción de leche (Gearhart et al., 1990). Waltner et al. (1993) evaluó la relación existente entre la CC y las variables productivas de vacas Holstein y encontraron que la CC disminuía durante la lactancia temprana y que se recuperaba durante la mitad y final de la lactancia, pero que el tiempo para alcanzar el punto inicial de la CC difería dependiendo del número de parto de las vacas; de manera que la recuperación del valor inicial de CC fué de 2 meses para las vacas de 1ª y and 2ª lactancia y de 4 meses para las de 3ª o mas partos. La inerrelación entre la CC al parto

Fisiología y Reproducción

y la producción de leche corregida por grasa (LCG) a los 90 días post parto es cuadrática; aumentando la CC de 2 a 3 aumento la LCG en 322 kg; aumentando la CC de 3 a 4 aumento la LCG en 33 kg adicionales, pero aumentando la CC una unidad completa de 4 a 5 disminuye la LCG en 223 kg. También ha sido reportado que la CC al parto no afecta la producción de leche o la respuesta reproductiva (Pedron et al., 1993; Ruegg and Milton, 1995). En general una unidad de CC al parto esta asociada con 438 kg de leche equivalente adulto y con 422 kg de leche a 305 días de producción, por lo que los cambios en la CC han sido utilizados como una medida de la movilización de lípidos que ocurre durante la lactancia temprana para soportar el aumento en producción de leche (cuadro 7).

Efectos variables del tratamiento con bST han sido reportados. Vacas tratadas con bST de 9 a 39 o de 29 a 36 semanas post parto recuperaron la CC mas lentamente que vacas no tratadas (Remond et al., 1991; Salfer et al., 1994; Tessmann et al., 1991). Sin embargo otros autores han señalado que la CC no es afectada por el tratamiento con bST si se compara con el efecto producido cuando las vacas son tratadas con el factor de liberación de la hormona de crecimiento (GHRF). Las vacas inyectadas con bST mantuvieron un estatus energético positivo, a pesar de que otros reportaron que tanto las vacas tratadas con bST como las no inyectadas desde 8 a 20 semanas de lactancia, perdieron 8,5 y 21 kg de grasa respectivamente (Dahl et al., 1991; Chilliard et al., 1991). Entre 20 y 39 semanas de lactancia las vacas tratadas con bST ganaron mas peso corporal, agua y proteína pero perdieron mas CC y en consecuencia mas lípidos que las vacas control no inyectadas. Más aun las vacas inyectadas con 14 mg de bST/d entre 14 y 60 días de lactancia presentaron menor CC que las vacas inyectadas con 5 mg de bST/d. o que las vacas control no tratadas durante el mismo período lactacional (Stanisiewski et al., 1992).

Las concentraciones de ST aumentan durante el final de la gestación para alcanzar el máximo pico al momento del parto y luego disminuir durante el post parto hasta concentraciones moderadamente elevadas durante la lactancia temprana. La ST ejerce una fuerte influencia galactopietica una vez que la lactancia se ha establecido; la ST también altera la respuesta de los tejidos a la Insulina y a las catecolaminas y mas importante aun dentro de los efectos de la ST esta el disminuir la tasa de lipogenesis y de regular la activación de las enzimas lipogenicas claves tal como es el caso de la Acetil CoA carboxilasa la cual es la enzima principal que limita la tasa de síntesis de acidos grasos a partir del acetato o de la glucosa, bloqueando la respuesta de los tejidos a la insulina (Bauman and Vernon, 1993). La reducción en la lipogénesis ha sido asociada con una reducción de los receptores para la insulina en los adipocitos (Bauman and Elliot, 1983; Bauman and Vernon, 1993; Vernon and Taylor, 1988). Sin embargo la ST no altera la unión de la insulina a su receptor, pero de alguna manera a nivel post receptor la ST o inhibe la acción del segundo mensajero o inhibe su síntesis (Bauman and Vernon, 1993). Un mecanismo a través del cual la ST puede afectar la acción de la insulina es mediante la alteración de la captación de la insulina dentro de la célula y su degradación, inhibiendo la acción de la proteasa necesaria para la acción de la insulina (McNamara, 1995). De allí que la ST es un regulador homeorretico primario durante la transición de la preñez a la lactancia (Bauman and Vernon, 1993). Ha sido reportado el efecto positivo de la ST sobre la respuesta lipolítica del tejido adiposo a los agentes adrenérgicos *in vivo* (Bernal Santos, 1982). El tratamiento prolongado de vacas lactantes con bST produce un aumento en la respuesta lipolítica, pero no afecta la sensibilidad a la epinefrina (Sechen et al., 1990). Mas aun la ST causa un aumento en la gluconeogénesis hepática *in vivo* e *in vitro* posiblemente disminuyendo la habilidad de la insulina para inhibir la gluconeogénesis.

Tal como fue ya revisado, la ST es un controlador homeorretico que regula la partición de los nutrientes, y de esta manera esta envuelto en la coordinación del metabolismo de varios tejidos y órganos. Los cambios en el metabolismo de los tejidos incluyen ambos, los efectos directos sobre algunos tejidos y efectos indirectos mediados por los somatomedines dependientes de la ST (IGF-I e IGF-II) para otros tejidos (Bauman, 1992). Las concentraciones plasmáticas de IGF-I e IGF-II estan parcialmente controladas por la ST, sin embargo el plano nutricional ha sido demostrado que juega un importante papel en la regulación del axis somatotropico en especies rumiantes y monogastricos (Breier et al., 1986; Maes et al., 1983a,b; Phillips and Unterman, 1984).

Fisiología y Reproducción

TABLE 8.

Medias cuadráticas y EE para la producción de leche, leche corregida al 4 % de grasa y componentes de la leche de vacas Holstein durante la lactancia temprana (0-65 d).

Tratamientos ¹	I		II		III		IV		Contrastes		
No. De animales	11		12		12		11		Preprt ²	PPrt ³	Preprt ² PPrt ³
Fuente	Media	±EE	Media	±EE	Media	±EE	Media	±EE			
Produc. De leche (kg/d)	37.69	0.21	35.39	0.20	35.64	0.20	39.27	0.21	NS	NS	NS
LCG 4% (kg/d)	36.03	0.24	35.55	0.23	34.89	0.23	39.34	0.24	NS	NS	NS
Grasa (%)	3.71	0.02	4.09	0.02	3.89	0.02	4.08	0.02	NS	*	**
Grasa (kg/d)	1.4	0.01	1.43	0.01	1.38	0.01	1.58	0.01	NS	NS	NS
Proteína (%)	2.9	0.01	3.02	0.01	2.97	0.01	2.92	0.01	NS	NS	**
Proteína (kg/d)	1.08	0.01	1.04	0.01	1.04	0.01	1.13	0.01	NS	NS	NS
SNG (%)	8.85	0.06	9.32	0.06	9.19	0.06	8.97	0.06	NS	NS	**
SNG (kg/d)	3.32	0.03	3.25	0.03	3.25	0.03	3.51	0.03	NS	NS	NS

¹Tratamiento (Prepartum, Postpartum); Tratamiento I= 0,0 mg bST/d; II=0,5 mg bST/d; III=5,0 mg bST/d; IV=5,5 mg bST/d.²Tratamientos Preparto.³Tratamientos Postparto. NS=No significativo? P<0.1** P<0.01

En el ganado, bajas concentraciones circulantes de IGF-I durante la lactancia temprana están asociadas con un bajo balance nutricional (Ronge et al., 1988; Spicer et al., 1990; Vicini et al., 1991). Las respuestas de la IGF-I al tratamiento con bST fué mayor durante el período seco cuando las vacas presentaban un estatus nutricional positivo, mientras que las concentraciones de IGF-II no fueron afectadas ni por el estado de la lactancia ni por una restricción en el consumo de nutrientes. (McGuire et al., 1992a). El consumo voluntario de MS aumento en las vacas suplementadas con bST, éste aumento ocurrió pocas semanas después de haber iniciado la suplementación con bST y persistió durante el tiempo que bST fue suplementado, sin embargo la magnitud en el aumento en el consumo de MS dependió de la respuesta en producción de leche y de la densidad energética de la dieta (Chilliard, 1989).

Las vacas inyectadas con 5 mg de bST antes y después del parto produjeron 3,3 kg más de LCG 4 % y simultáneamente tuvieron un mayor consumo de MS, lo que represento un mayor consumo de energía neta para lactación (cuadro 9). Adicionalmente, fue observado en el mismo estudio, que los cambios en el peso corporal después del parto fueron menores para las vacas tratadas con bST comparado con las no tratadas, lo que demostro que la movilización de tejido para compensar la energía necesaria para la producción de leche fué menor en las vacas inyectadas con bST (García, 1998). Los resultados de ese estudio indicaron que las vacas inyectadas con bST produjeron mas leche (LCG 4 %) a partir de la energía del alimento ingerido y en consecuencia la eficiencia corregida para la producción de leche corregida al 4 % de grasa fue mayor para el grupo de vacas inyectadas con bST (cuadro 9).

Somatotropina y Producción de Leche en ambientes Tropicales.

La respuesta a bST en zonas de climas cálidos es presentada en el cuadro 10. El incremento en producción de leche debido al efecto de bST, fué a menudo igual al incremento en producción de leche observado en vacas que fueron inyectadas con bST durante temperaturas mas moderadas (Lotan, 1993; Phipps, 1994; West, 1994b). Asociado con el incremento en producción de leche, hubo un incremento en el consumo de alimento; aunque los efectos potencialmente antagonistas de bST y el estrés cálido sobre la producción de leche y el consumo de alimento no estuvieron presentes. Sin embargo, en otros estudios con vacas tratadas con bST, el incremento porcentual en producción de leche fué menor mientras que la frecuencia respiratoria y la temperatura rectal se observaron mas elevadas.

Fisiología y Reproducción

Las diferencias en la respuesta fisiológica de las vacas al tratamiento con bST están resumidas en el cuadro 11. En evaluaciones hechas en ambientes con temperaturas neutras y calientes el incremento cálido, el consumo de energía bruta y energía para leche, todos, aumentaron en las vacas inyectadas con bST comparados con las vacas no inyectadas. La evaporación (a través de la piel y respiración) fue mayor en las vacas tratadas con bST en ambas condiciones ambientales. Sin embargo, a pesar de que la temperatura rectal de las vacas fue mayor en el ambiente con temperatura caliente, la temperatura corporal no incrementó debido al tratamiento con bST. Los resultados indican que las vacas pueden rendir en leche perfectamente en ambientes cuando existe calor y que la aplicación de bST no disminuyó esta habilidad.

CUADRO 9.

Medias cuadráticas para la producción de leche corregida al 4 % de grasa y la eficiencia para la producción de leche de vacas Holstein durante la lactancia temprana (0-65 d).

Medidas	Tratamientos ¹			
	I (n=11)	II (n=12)	III (n=12)	IV (n=11)
LCG ² 4% (kg/d)	36.06	35.55	34.89	39.34
CMS ³ (kg/d)	20.71	19.97	19.08	23.02
Consumo de EN, (NEI; Mcal·d ⁻¹)	32.78	31.74	30.20	36.42
Energía en leche (Mcal·d ⁻¹)	25.65	26.53	25.47	29.30
Cambio de peso corporal ⁴ (kg/d)	-0.94	-1.20	-0.92	-0.53
EN _{CPC} (Mcal·d ⁻¹)	4.46	5.78	4.35	2.44
Eficiencia Aparente (LCG/CMS; kg)	1.74	1.78	1.83	1.71
Eficiencia bruta (LCG/CEN; kg/Mcal)	1.12	1.12	1.16	1.08
LCG 4% Estimada a partir de CPC (kg)	5.96	7.73	5.82	3.26
LCG 4% a partir del alimento ⁵ (kg/d)	30.07	27.82	29.07	36.08
Eficiencia Corregida para LCG ⁶ 4% (kg/d)	1.45	1.39	1.52	1.57

¹Tratamiento (Preparto, Postparto); Tratamiento I= 0,0 mg bST/d; II=0,5 mg bST/d; III=5,0 mg bST/d; IV=5,5 mg bST/d; numeros de animales en parentesis.

²Leche corregida por grasa (4%). ³Consumo de Materia Seca. ⁴Cambio en peso corporal

⁵LCG 4% Producida - LCG 4% de la energía producida por los cambios en peso corporal

⁶LCG 4% del alimento÷CMS.

Fisiología y Reproducción

CUADRO 10.

Respuesta al bST en climas calientes

Temperatura		Humedad Rel.		Producción de leche			CMS		
Max	Min	Max	Min	Control	bST	Cambio	Control	bST	Cambio
-----°C-----		-----%-----		-----kg-----		%	-----kg-----		%
28.9	--	55	--	20.5	21.3	3.9	--	--	--
35	22	65	60	28.8	34.9	21.2	14.5	17.2	18.6
35	24	65	55	21	28.3	34.8	--	--	--
28.1	--	--	--	16.9	19.5	15.4	--	--	--
34.6	22.2	100	59.8	17.5	26	48.6	15.2	16.6	9.2

Adaptado de West, 1994, J. Dairy Sci. 77: 2091.

El manejo de las vacas es importante, permitirle a las vacas alimentarse a pastoreo o en potreros para obtener la mayor parte de sus nutrientes diarios, al menos la fracción de forrajes, es una práctica común en muchas áreas del mundo, especialmente en los trópicos y subtropicos. Este sistema es utilizado debido al largo período de crecimiento, a la disponibilidad de tierra y al relativo alto costo de los subproductos y granos de cereales. Existen algunas desventajas con esta práctica, especialmente cuando el bST es utilizado. Generalmente, el consumo de nutrientes bajo sistemas de pastoreo no soporta la producción de leche de las vacas con gran habilidad genética y el uso del bST

CUADRO 11.

Efecto del bST sobre incremento y pérdidas de calor en la zona termoneutral (TN) y en ambientes calientes (C)

Variable (Mcal/d)	TN ¹		C ¹	
	Control	bST	Control	bST
Producción de calor	30.6	<u>36.4</u>	30.3	<u>38</u>
Consumo de energía bruta	83.9	<u>94.6</u>	65	<u>76.1</u>
Energía de lactación	15	<u>21.1</u>	12.7	<u>18.8</u>
Evaporización cutánea (PIEL)	7.5	<u>10.2</u>	11.2	<u>14.2</u>
Evaporización por respiración	1.8	<u>2.2</u>	2.5	<u>2.9</u>
Pérdida de calor por enfriamiento	1.8	<u>2.7</u>	2.4	<u>2.8</u>
Temperatura Rectal (°C)	38.3	38.5	39.7 ^a	39.9 ^a

Adaptado de West, 1994, J. Dairy Sci. 77: 2091.

¹Los valores subrayados son significativamente diferentes de los otros dentro del mismo ambiente; valores con el superescrito (a) fueron diferentes de los valores correspondiente a otros ambientes

Fisiología y Reproducción

incrementa aún más el déficit de nutrientes. Dado al hecho de que el consumo de nutrientes es más reducido en las zonas de clima tropical, el uso del bST puede resultar en efectos negativos para la vaca si la CC de la misma no es la adecuada. Adicionalmente, cabe señalar que el uso del bST podría no ser económicamente factible si el nivel de producción de los animales es muy bajo. El mejoramiento de los recursos alimenticios antes de adoptar la técnica del bST es deseable pero podría ser no práctico; este hecho no necesariamente excluye el uso del bST, pero la respuesta parece ser menor. (Phipps, 1994).

El uso del bST en los sistemas de producción de leche en el trópico ha sido revisado por Phipps (1994). Los resultados de las investigaciones, compilados y evaluados, señalan que la respuesta en incremento a la producción de leche debida al bST es variable, similar a lo que sucede en zonas de clima más moderado y bajo sistemas de producción más tradicional. En países en desarrollo de Africa y Asia, vacas criollas (nativas) de baja producción tratadas con bST tuvieron un incremento en la producción de leche de 35% por encima de las vacas que no fueron tratadas. Los mayores incrementos en la producción parecieron estar asociados con la utilización de algún suplemento concentrado, sin embargo, las respuestas aún fueron evidentes en los sistemas donde no se hizo ningún cambio en el manejo de las vacas o del régimen alimenticio. Se ha reportado que vacas lecheras puras *Bos taurus* y cruzadas (meztizas) respondieron al uso del bST. En Brasil se comparó el uso de una dosis reducida de bST de liberación lenta (250 mg/14días) contra la dosis de liberación lenta de 500 mg/14días recomendada comercialmente; la respuesta al incremento en la producción de leche fué similar para ambas dosis (2.5 kg de leche/día, equivalente al 21.5%), quizás debido a que la disponibilidad de nutrientes no fué suficiente para una mayor producción de leche cuando se aplicó la dosis mayor. De cualquier manera, los resultados obtenidos de estos diversos sistemas de producción demuestran, que el uso del bST resulta en una mayor cantidad de leche producida por vaca..

CONCLUSIONES

De ésta ponencia se desprende que las novillas levantadas a una alta velocidad de crecimiento entre 90 - 365 días de edad tienen un mayor peso corporal cuando son alimentadas sobre un plano nutricional alto durante el período de crecimiento prepuberal de 90 a 220 días de edad y durante el período de crecimiento peripuberal de 220 a 365 d de edad. El tratamiento con bST durante el período de crecimiento peripuberal aumenta la tasa de crecimiento irrespectivamente de si fueron alimentadas en un plano nutricional alto o bajo. Adicionalmente, el promedio de ganancia diaria de peso durante el periodo de crecimiento peripuberal está significativamente asociado con la producción de leche a 305 días y la producción de leche total de las novillitas de primer parto. Adicionalmente, queda evidente que la administración de bST aumenta la producción de leche al mismo tiempo que aumenta el consumo de MS y con ello aumenta el consumo de energía para la lactancia. Mas aun se destaca que el aumento en la producción de leche ocurre sin producir variaciones en los componentes de la leche y sin menoscavo de la CC y la reproducción de las vacas.

Fisiología y Reproducción

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Armstrong, D. T., and W. Hansel. 1956. The effect of age and plane of nutrition on growth hormone and thyrotropic hormone content of pituitary glands of Holstein heifers. *J. Anim. Sci.* 15:640-647.
- Bass, J. J., and P. D. Gluckman. 1990. Regulation of growth by the growth hormone axis. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 50:73-79.
- Bauman, D. E. 1992. Bovine somatotropin: Review of an emerging animal technology. *J. Dairy Sci.* 75:3432-3451.
- Bauman, D.E., and J. M. Elliot. 1983. Control of nutrient partitioning in lactating ruminants. In: T. B. Mephan (Ed.). *Biochemistry of Lactation* Elsevier, Amsterdam, The Netherlands. p437.
- Bauman, D. E., P. J. Eppard, M. J. DeGeeter, and G. M. Lanza. 1985. Responses of high producing dairy cows to long term treatment with pituitary somatotropin and recombinant somatotropin. *J. Dairy Sci.* 68:1352-1361.
- Bauman, D. E., and R. G. Vernon. 1993. Effects of exogenous bovine somatotropin on lactation. *Annu. Rev. Nutr.* 13:437-445.
- Bernal Santos, G. 1982. Changes in glucose and energy homeostasis with onset of lactation. M. S. Thesis. Cornell Univ., Ithaca, NY.
- Binelli, M., W. K. Vanderkooi, L. T. Chapin, M. J. VandeHaar, J. D. Turner, W. M. Moseley, and H. A. Tucker. 1995. Comparison of growth hormone releasing factor and somatotropin: body growth and lactation of primiparous cows. *J. Dairy Sci.* 78:2129-2139.
- Bonczek, R. R., C. W. Young, J. E. Wheathon, and K. P. Miller. 1988. Responses to somatotropin, insulin, prolactin, and thyroxine to selection for milk yield in Holsteins. *J. Dairy Sci.* 71:2470-2476.
- Breier, B. H., J. J. Bass, J. H. Butler, and P. D. Gluckman. 1986. The somatotropic axis in young steers: Influence of nutritional status on pulsatile release of growth hormone and circulating concentrations of insulin like growth factor-1. *J. Endocrinol.* 111:209-217.
- Breier, B. H., P. D. Gluckman, and J. J. Bass. 1988. The somatotropic axis in young steers: Influence of nutrition and estradiol 17B on hepatic high and low affinity somatotropic binding sites. *J. Endocrinol.* 116:169-174.
- Brumby, P. J. 1959. The influence of growth hormone on growth in young cattle. *N. Z. J. Agric. Res.* 2:683-688.
- Capuco, A. V., J. J. Smith, D. R. Waldo, and C. E. Rexroad, Jr. 1995. Influence of prepubertal dietary regimen on mammary growth of Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 78:2709-2725.
- Carlsson, L. M. S., R. G. Clark, A. Skottner, and C. A. F. Robinson. 1989. Growth hormone and growth in diabetic rats: effects of insulin and insulin-like growth factor-I infusions. *J. Endocrinol.* 122:661-671.
- Chalupa, W., and D. T. Galligan. 1989. Nutritional implications of somatotropin for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 72:2510-2518.
- Chilliard, Y. 1989. Long-term effects of recombinant bovine somatotropin (rBST) on dairy cow performances: a review. p. 61. In: *Use of somatotropin in livestock production*. K. Sejrsen, M. Vestergaard, and A. Neimann-Sorensen, ed. Elsevier Appl. Sci., New York, NY.
- Chilliard, Y., M. Cisse, R. Lefaivre, and B. Remond. 1991. Body composition of dairy cows according to lactation stage, somatotropin treatment, and concentrate supplementation. *J. Dairy Sci.* 74:3103-3116.
- Clemmons, D. R., and L. E. Underwood. 1991. Nutritional regulation of IGF-I and IGF binding proteins. *Annu. Rev. Nutr.* 11:393-399.
- Crooker, B. A., M. A. McGuire, W. S. Cohick, M. Harkins, D. E. Bauman, and K. Sejrsen. 1990. Effect of dose of bovine somatotropin on nutrient utilization in growing dairy heifers. *J. Nutr.* 120:1256-1264.

Fisiología y Reproducción

Daccarett, M. G., E. J. Bortone, D. E. Isbell, and J. L. Morrill. 1993. Performance of Holstein heifers fed 100% or more of National Research Council Requirements. *J. Dairy Sci.* 76:606-614.

Dahl, G. E., L. T. Chapin, M. S. Allen, W. M. Moseley, and H. A. Tucker. 1991. Comparison of somatotropin and growth hormone-releasing factor on milk yield, serum hormones, and energy status. *J. Dairy Sci.* 74:3421-3428.

Dehoff, M. H., R. G. Elgin, R. J. Collier and D. R. Clemmons. 1988. Both type I and II insulin-like growth factor receptor binding increase during lactogenesis in bovine mammary tissue. *Endocrinology.* 122:2412-2417.

Di Marco, O. N., R. L. Baldwin, and C. C. Calvert. 1987. Relative contributions of hyperplasia and hypertrophy to growth in cattle. *J. Anim. Sci.* 65:150-157.

Early, R. J., B. W. McBride, and R. O. Ball. 1990. Growth and metabolism in somatotropin-treated steers: III. Protein synthesis and tissue energy expenditures. *J. Anim. Sci.* 68:4153-4159.

Enright, W. J. 1989. Effects of administration of somatotropin on growth, feed efficiency and carcass composition of ruminants: a review. In: K. Sejrsen, M. Vestergaard, and A. Neimann Sorensen (Ed.) *Use of Somatotropin in livestock production.* Elsevier Appl. Sci., London, England. p.132-154.

Foldager, J., and K. Sejrsen. 1987. Mammary gland development and milk production in dairy cows in relation to feeding and hormone manipulation during rearing. In: *Research in Cattle Production Danish Status and Perspectives.* Landhusholdningssselskabets Forlag, Copenhagen, Denmark. p.102.

Forsyth, I. A. 1996. The insulin-like growth factor and epidermal growth factor families in mammary cell growth in ruminants: Action and interaction with hormones. *J. Dairy Sci.* 79:1085-1096.

Gallo, G. F., and E. Block. 1990a. Effects of recombinant bovine somatotropin on nutritional status of dairy cows during pregnancy and of their calves. *J. Dairy Sci.* 73:3266-3275.

Garcia-Gavidia, A. N. 2001. Effects of bovine somatotropin on growth rates during the peripubertal growth period of Holstein heifers fed two planes of nutrition. *Revista Científica FCV,* 2001.

Garcia-Gavidia, A. N. 1998. Use of bovine somatotropin (bST) in management of growing heifers and transition of cows to improve rates and milk production. Ph.D Dissertation. University of Florida.

Garcia-Gavidia, A. N. 1995. Growth rates of Holstein heifers fed two planes of nutrition and treated with bST during the peripubertal period. MS Thesis. University of Florida.

Gearhart, M. A., C. R. Curtis, H. N. Ebb, R. D. Smith, C. J. Sniffen, L. E. Chase, and M. D. Cooper. 1990. Relationship of changes in condition score to cow health in Holsteins. *J. Dairy Sci.* 73:3132-3141.

Gong, J. G., T. Bramley, and R. Webb. 1991. The effect of recombinant bovine somatotropin on ovarian function in heifers: follicular populations and peripheral hormones. *Biol. Reprod.* 45:941-949.

Gong, J. G., T. A. Bramley, I. Wilmut, and R. Webb. 1993b. Effect of recombinant bovine somatotropin on the superovulatory response to pregnant mare serum gonadotropin in heifers. *Biol. Reprod.* 48:1141-1149.

Grings, E. E., D. M. de Avila, R. G. Eggert, and J. J. Reeves. 1990. Conception rate, growth and lactation of dairy heifers treated with recombinant somatotropin. *J. Dairy Sci.* 73:73-77.

Harrison R. D., I. P. Reynolds, and W. Little. 1983. A quantitative analysis of mammary glands of dairy heifers reared at different rates of live weight gain. *J. Dairy Res.* 50:405-412.

Hartnell, G. F., S. E. Franson, D. E. Bauman, H. H. Head, J. T. Huber, R. C. Lamb, K. S. Madden, W. J. Cole, and R. L. Hintz. 1991. Evaluation of somatotropin in a prolonged release system in lactating dairy cows. production responses. *J. Dairy Sci.* 74:2645-2663.

Fisiología y Reproducción

Head, H. H., K. C. Bachman, M. Campos, and C. J. Wilcox. 1991. Effects of plane of nutrition and somatotropin on growth rates and first lactation milk yields of Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 74(Suppl. 1):189 (Abstr.).

Heinrichs, A. J., and G. L. Hargrove. 1987. Standards of weight and height for Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 70:653-660.

Heinrichs, A. J., and G. L. Hargrove. 1991. Standards of weight and height for Guernsey and Jersey heifers. *J. Dairy Sci.* 74:1684-1691.

Heinrichs, A. J., and G. L. Hargrove. 1994. Standards of weight and height for Ayrshire, Brown Swiss, and Milking Shorthorn heifers. *J. Dairy Sci.* 77:1676-1681.

Hemken, R.W., R. J. Harmon, W. J. Silvia, W. B. Tucker, G. Heersche, and R. G. Eggert. 1991. Effect of dietary energy and previous bovine somatotropin on milk yield, mastitis, and reproduction in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:4265-4272.

Hoffman, P. C., N. M. Brehm, S. G. Price, and A. Prill Adams. 1996. Effect of accelerated postpubertal growth and early calving on lactation performance of primiparous Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 79:2024-2031.

Hoffman, P. C., and D. A. Funk. 1991. Growth rates of Holstein heifers in selected Wisconsin dairy herds. *J. Dairy Sci.* 74(Suppl. 1):212.(Abstr.).

Hoffman, P. C., and D. A. Funk. 1992. Applied dynamics of dairy replacement growth and management. *J. Dairy Sci.* 75:2504-2521.

Jenny, B. F., L. W. Grimes, and F. E. Pardue. 1992. Lactational response of Jersey cows to bovine somatotropin administered daily or in a sustained release formulation. *J. Dairy Sci.* 75:3402-3407.

Johnson, I. D. 1988. The effect of prepubertal nutrition on lactation performance by dairy cows. In: *Nutrition and lactation in the dairy cow*. P. C. Garsworthy, ed. Butterworths, London, England. p.171-183.

Keown, J. F. 1986. Freshen heifers at 1200 lb. *Dairy herd management*, August. p. 18.

Keown, J. F., and R. W. Everett. 1986. Effects of days carried, calf, days dry, and weight of first calf heifers on yield. *J. Dairy Sci.* 69:1891-1897.

Knight, C. H., and C. J. Wilde. 1987. Mammary growth during lactation: implications for increasing milk yield. *J. Dairy Sci.* 70:1991-1996.

Lanna, D. P. D., K. L. Houseknecht, D. M. Harris, and D. E. Bauman. 1995. Effect of somatotropin treatment on lipogenesis, lipolysis, and related cellular mechanisms in adipose tissue of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 78:1703-1712.

Lean, I. J., H. F. Troutt, M. L. Bruss, T. B. Farver, R. L. Baldwin, J. G. Galland, D. Kratzer, C. A. Holmberg, and L. D. Weaver. 1991. Postparturient metabolic and production responses in cows previously exposed to long term treatment with somatotropin. *J. Dairy Sci.* 74:3429-3445.

Lin, C. Y., A. J. McAllister, T. R. Batra, A. J. Lee, G. L. Roy, J. A. Vesely, and J. M. Wauthy. 1986. Production and reproduction of early and late bred dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 69:760-773.

Lotan, E., H. Sturman, J.I. Weller and E. Ezra. 1993. Effects of recombinant bovine somatotropin under conditions of high production and heat stress. *J. Dairy Sci.* 76:1394.

Lough, D. S., L. D. Muller, R. S. Kensinger, T. F. Sweeney, and L. C. Griel. 1988. Effect of added dietary fat and bovine somatotropin on the performance and metabolism of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 71:1161-1169.

Lucy, M. C., R. J. Collier, M. L. Kitchell, J. J. Dibner, S. D. Hauser, and G. G. Krivi. 1993. Immunohistochemical and nucleic acid analysis of somatotropin receptor populations in the bovine ovary. *Biol. Reprod.* 48:1219-1227.

Maes, M., J. M. Ketelslegers, and L. E. Underwood. 1983. Low plasma somatomedin-C in streptozotocin-induced diabetes mellitus: correlation with changes in somatogenic and lactogenic liver binding sites. *Diabetes.* 32:1060-1069.

Maes, M., L. E. Underwood, and J. M. Ketelslegers. 1983. Plasma somatomedin-C in fasted and refed rats: close relationship with changes in liver somatogenic but not lactogenic binding sites. *J. Endocrinol.* 97:243-252.

Fisiología y Reproducción

- McGrath, M. F. 1987. A novel system for mammary epithelial cell culture. *J. Dairy Sci.* 70:1967-1980.
- McGuffey, R. K., and J. I. D. Wilkinson. 1991. Nutritional implications of bovine somatotropin for the lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* 74:63-71.
- McGuire, M. A., D. E. Bauman, M. M. Miller, and G. F. Hartnell. 1992a. Response of somatomedins (IGF-I and IGF-II) in lactating cows to variations in dietary energy and protein and treatment with recombinant n-methionyl bovine somatotropin. *J. Nutr.* 122:128-138.
- McGuire, M. A., J. L. Vicini, D. E. Bauman, and J. J. Veenhuizen. 1992b. Insulin-like growth factors and binding proteins in ruminants and their nutritional regulation. *J. Anim. Sci.* 70:2901-2910.
- McNamara, J. P. 1995. Role and regulation of metabolism in adipose tissue during lactation. *J. Nutr. Biochem.* 6:120-129.
- McShane, T. M., K. K. Schillo, J. A. Boling, N. W. Brandley, and J. B. Hall. 1989. Effects of recombinant DNA-derived somatotropin and dietary energy intake on development of beef heifers. I. Growth and puberty. *J. Anim. Sci.* 67:2230-2237.
- Moran, C., and J. F. Roche. 1989. Puberty in heifers. A review. *Anim. Reprod. Sci.* 18:167-172.
- Moseley, W. M., L. F. Krabill, and R. F. Olsen. 1982. Effect of bovine growth hormone administered in various patterns on nitrogen metabolism in the Holstein steer. *J. Anim. Sci.* 55:1062-1070.
- Muir, L. A., S. Wien, P. F. Duquette, E. L. Rickes, and E. H. Cordes. 1983. Effects of exogenous growth hormone and diethylstilbestrol on growth and carcass composition of growing lambs. *J. Anim. Sci.* 56:1315-1324.
- Murphy, K. D., H. Chester Jones, B. A. Crooker, R. D. Appleman, J. E. Wheaton, and L. B. Hansen. 1991. Effects of selection for milk yield on growth, endocrine profiles and response to epinephrine. *J. Anim. Sci.* 69(Suppl.1):91(Abstr.).
- National Research Council. 1989. Nutrient requirements of dairy cattle. 6th Rev. Ed. Natl. Acad. Press., Washington, DC.
- Niezen, J. H., D. G. Grieve, B. W. McBride, and J. H. Burton. 1996. Effect of plane of nutrition before and after 200 kilograms of body weight on mammary development of prepubertal Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 79:1255-1260.
- Pedron, O., F. Cheli, E. Senatore, D. Baroli, and R. Rizzi. 1993. Effect of body condition score at calving on performance, some blood parameters, and milk fatty acid composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:2528-2535.
- Pell, J. M., and P. C. Bates. 1987. Collagen and noncollagen protein turnover in skeletal muscle of growth hormone treated lambs. *J. Endocrinol.* 115:R1 (abstr.).
- Phillips, S., and T. G. Unterman. 1984. Somatomedin activity in disorders of nutrition and metabolism. *Clin. Endocrinol. Metab.* 13:145-155.
- Politis, I., E. Block, and J. D. Turner. 1990. Effect of somatotropin on the plasminogen and plasmin system in the mammary gland: proposed mechanism of action for somatotropin on the mammary gland. *J. Dairy Sci.* 73:1494-1499.
- Phipps, R.H. 1994. The use of bovine somatotropin (somatech) in tropical milk production systems: a review. *Trop Ag 2000 Conf. Advances in tropical agriculture in the 20th century and prospects for the 21st.* September 4-9, Trinidad.
- Purup, S., K. Sejrsen, and R. M. Akers. 1995. Effect of bovine GH and ovariectomy on mammary tissue sensitivity to IGF-I in prepubertal heifers. *J. Endocrinol.* 144:153-158.
- Reeds, P. J., and M. L. Fiorotto. 1990. Growth in perspective. *Proc. Nutr. Soc. Scientific Meeting part of 181 st. Scottish Meeting Aberdeen Univ., Sept. 26-28.* 49:1128-1135.
- Remond, B., M. Cisse, A. Ollier, and Y. Chilliard. 1991. Slow release somatotropin in dairy heifers and cows fed two levels of energy concentrate. 1. Performance and body condition. *J. Dairy Sci.* 74:1370-1381.
- Ronge, H., J. Blum, C. Clement, F. Jans, H. Leuenberger, and H. Binder. 1988. Somatomedin C in dairy cows related to energy and protein supply and to milk production. *Anim. Prod.* 47:165-173.

Fisiología y Reproducción

- Ruegg, P. L., and R. L. Milton. 1995. Body condition scores of Holstein cows on Prince Edward Island, Canada: Relationships with yield, reproductive performance, and disease. *J. Dairy Sci.* 78:552-564.
- Salfer, J. A., J. G. Linn, D. E. Otterby, and W. P. Hansen. 1994. Effects of calcium salts of long chain fatty acids added to a diet containing choice white grease on lactation performance. *J. Dairy Sci.* 77:2367-2375.
- Sandles L. D., and C. J. Peel. 1987. Growth and carcass composition of pre pubertal dairy heifers treated with bovine growth hormone. *Anim. Prod.* 44:21-29.
- Schillo, K. K., J. B. Hall, and S. M. Heleman. 1992. Effects of nutrition and season on the onset of puberty in the beef heifers. *J. Anim. Sci.* 70:3994-4005.
- Sechen, S.J., F.R. Dunshea, and D.E. Bauman. 1990. Somatotropin in lactating cows: Effect on response to epinephrine and insulin. *Am. J. Physiol.* 258:E528.
- Sejrsen, K. 1994. Relationships between nutrition, puberty and mammary development in cattle. *Proc. Nutr. Soc.* 53:103-111.
- Sejrsen, K., J. Foldager, and D. E. Bauman. 1989. Subsequent milk yield of heifers treated with somatotropin during the pubertal phase of mammary development. *Proc. Eur. Assoc. Anim. Prod.* 1:447-456.
- Sejrsen, K., J. Foldager, M. T. Sorensen, R. M. Akers, and D. E. Bauman. 1986. Effect of exogenous bovine somatotropin on pubertal mammary development in heifers. *J. Dairy Sci.* 69:1528-1535.
- Sejrsen, K., J. T. Huber, H. A. Tucker, and R. M. Akers. 1982. Influence of nutrition on mammary development in pre and postpubertal heifers. *J. Dairy Sci.* 65:793-798.
- Sejrsen, K., and S. Purup. 1997. Influence of prepubertal feeding level on milk yield potential of dairy heifers: a review. *J. Anim. Sci.* 75:828-835.
- Simmons, C. R., W. G. Bergen, M. J. Vandehaar, D. J. Sprecher, C. J. Sniffen, E. P. Stanisiewski, and H. A. Tucker. 1994. Protein and fat metabolism in cows given somavubove before parturition. *J. Dairy Sci.* 77:1835-1847.
- Spicer, L. J., W. B. Tucker, and G. D. Adams. 1990. Insulin like growth factor 1 in dairy cows: relationships among energy balance, body condition, ovarian activity, and estrous behavior. *J. Dairy Sci.* 73:929-937.
- Stanisiewski, E. P., L. F. Krabill, and J. W. Lauderdale. 1992. Milk yield, health, and reproduction of dairy cows given somatotropin (somavubove) beginning early postpartum. *J. Dairy Sci.* 75:2149-2164.
- Stelwagen, K., D. G. Grieve, and B. W. McBride. 1992. Growth and subsequent lactation in primigravid Holstein heifers after prepartum Bovine Somatotropin treatment. *J. Dairy Sci.* 75:463-472.
- Tessmann, N. J., T. R. Dhiman, J. Kleinmans, H. D. Radloff, and L. D. Satter. 1991. Recombinant bovine somatotropin with lactating cows fed diets differing in energy density. *J. Dairy Sci.* 74:2633-2644.
- Tucker, H. A. 1981. Physiological control of mammary growth, lactogenesis and lactation. *J. Dairy Sci.* 64:1403-1421.
- Tucker, H. A. 1987. Quantitative estimates of mammary growth during various physiological states: A review. *J. Dairy Sci.* 70:1958-1966.
- USDA/DHIA Bull and Cow Evaluations. 1990. Animal improvement programs laboratory. Agriculture Research Center, USDA, Beltsville, MD.
- Van Amburgh, M. E., and D. M. Galton. 1994. Accelerated growth of Holstein heifers. Effects on lactation. 56th Mtg. Proc. Cornell Nutr. Conf. for Feed Manufacturers. 147-154.
- Vandehaar, M. J. 1998. Current concepts in feeding dairy replacements. *In: Proc. 9th. Ann. Florida Ruminant Nutr. Symp.* p. 14-25.
- Vernon, R. G., and E. Taylor. 1988. Insulin, dexamethasone and their interactions in the control of glucose metabolism in adipose tissue from lactating and nonlactating sheep. *Biochem. J.* 256:509-517.

Fisiología y Reproducción

Vicini, J. L., F. C. Buonomo, J. J. Veenhuizen, M. A. Miller, D. R. Clemons, and R. J. Collier. 1991. Nutrient balance and stage of lactation affect responses on insulin, insulin like growth factors I and II, and insulin like growth factor binding protein 2 to somatotropin administration in dairy cows. *J. Nutr.* 121:1656-1664.

Wallace, A. L. C., and J. M. Bassett. 1966. Effect of sheep growth hormone on plasma insulin concentration in sheep. *Metabolism* 15:95-107.

Waltner, S. S., J. P. MacNamara, and J. K. Hillers. 1993. Relationships of body condition score to production variables in high producing Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 76:3410-3419.

West, J.W. 1994a. Managing and feeding lactating dairy cows in hot weather. *Bulletin* 956. *Coop. Ext. Ser., Univ Georgia.*

West, J.W. 1994b. Interactions of energy and bovine somatotropin with heat stress. *J. Dairy Sci.* 77:2091.

Winder, S. J., S. D. Wheatley, and I. A. Forsyth. 1992. Receptor binding of insulin like growth factor I to mammary microsomes from non pregnant, pregnant and lactating sheep. *J. Endocrinol.* 136:297-304.

Wynn, P. C., A. L. C. Wallace, and E. F. Annison. 1979. Effects of growth hormone on wool growth and nitrogen balance in ewes. *Proc. Nutr. Soc. Australia.* 4:133(Abstr.).