Alternativas Tecnológicas para Incrementar la Eficiencia Reproductiva

César A. Rosales Nieto[1] and Graeme B. Martin[2]

[1] INIFAP, San Luis Potosí, México
[2] UWA Institute of Agriculture M082, The University of Western Australia, Crawley 6009, Australia

Alternativas Tecnológicas para Incrementar la Eficiencia Reproductiva

César A. Rosales Nieto[1] and Graeme B. Martin [2]

[1] *INIFAP, San Luis Potosí, México*

[2] *UWA Institute of Agriculture M082, The University of Western Australia, Crawley 6009, Australia*

Nota: Este artículo está basado en una publicación previa (Martin y Rosales Nieto, 2014).

Resumen

La industria que utiliza pequeños rumiantes, como cabras y ovejas, es la principal contribuyente a la oferta mundial de alimentos; no obstante, en los sistemas de producción extensiva, la tecnología en reproducción es muy limitada en la mayoría de las unidades. El mayor problema de las unidades de producción del sistema extensivo es la nutrición, ya que muchas de ellas están limitadas principalmente al pastoreo. De tal modo, que en este tipo de sistema se necesitan herramientas sencillas de bajo costo para el manejo en la reproducción con el fin de incrementar la producción. La forma de incrementar la eficiencia reproductiva es coordinando de manera precisa los insumos nutricionales con los eventos reproductivos de los animales con el fin de asegurar que las señales metabólicas sean las apropiadas. Así que, una manera de controlar los eventos reproductivos es separando al macho de las hembras y posteriormente usar el "efecto macho".

Adicionalmente, la genética juega un papel fundamental en la eficiencia reproductiva. El mejoramiento genético es una herramienta que debería ser considerada como parte de la estrategia en el desarrollo de la unidad de producción desde el principio. Hoy en día, muchas de los factores cuentan con un fuerte componente genético, como lo demuestra la variación de variables productivas y reproductivas entre genotipos y entre individuos dentro de un mismo rebaño. Adicionalmente, como hemos demostrado recientemente, otro beneficio del mejoramiento genético es que la acumulación de tejido muscular puede acelerar la madurez sexual en hembras pre-púberes y esto puede conducir a mejoras simultáneas en la producción de carne y la eficiencia reproductiva.

Para poder lograr una verdadera eficiencia reproductiva es necesario adaptaciones que cubran las variaciones entre los genotipos y los medios geográficos y socioeconómicos. Es importante considerar estas alternativas tecnológicas de una manera sencilla y rentable que ayudará a mejorar la productividad de las unidades de producción.

Antecedentes

La eficiencia reproductiva es un componente importante de la productividad de las unidades de producción de leche y carne, por lo que necesitamos optimizar la reproducción en los sistemas de manejo extensivo. Aquellas hembras que no son reproductivamente eficientes son un gasto más para la unidad de producción porque no producen. Esto acrecienta las consecuencias de que las hembras tarden en alcanzar la madurez sexual (pubertad), que tengan un bajo porcentaje de fertilidad, un incremento en la duración del anestro post-parto e incremento en la mortandad postnatal.

Hay una larga historia y un gran esfuerzo en lograr avances sobre la capacidad de manipular el aparato reproductor, los gametos, los embriones y los genes; y se ha aprovechado dichas alternativas tecnológicas para la investigación y el desarrollo que sustenta nuestros objetivos en la producción animal. Sin embargo, estas tecnologías no abordan directamente dos problemas importantes en la industria:

i) *La relevancia directa:* La mayoría de las unidades de producción de rumiantes son manejadas ya sea extensivamente (rebaños con un gran número de animales localizados en grandes áreas para pastoreo) por productores que no consideran la tecnología reproductiva como relevante en el corto y medio plazo para sus unidades de producción; o por los productores con un número reducido de animales en donde los recursos son limitados y que no les permite participar con tecnología costosa. En ambos casos, los productores están interesados en el mejoramiento genético, pero no son capaces de hacer frente a la inseminación artificial y mucho menos a 'alta tecnología' como la transferencia de embriones o clonación. En otras palabras, los productores necesitan herramientas simples, baratas y fiables que no sean complejas y puedan ser utilizadas a gran escala sin incrementar la intensidad del trabajo (Martin, 1995; 2014);

ii) *La visión del mercado:* La industria animal necesita responder rápidamente a las presiones de la sociedad y del mercado que requieren métodos de producción 'limpio, verde y ético' (Martin *et al.* 2004). En resumen;

Limpio Reducir el uso, sino es que la eliminación, de prácticas que dependen del uso de drogas, productos químicos y hormonas exógenas; a pesar de la falta de evidencia científica sobre el daño en la salud humana, en mucho casos, el mercado es la fuerza dominante y frecuentemente no sigue la lógica o la evidencia; por otro lado, la eliminación de productos hormonales en el medio ambiente y el uso excesivo de antibióticos son riesgos evidentes,

dando lugar a la prohibición de estas herramientas en muchos mercados;

Verde Daño mínimo al medio ambiente; muchos problemas que hoy enfrenta el medio ambiente son debidos al incremento y expansión de la población humana y estos problemas se ven agravados por el incremento en número y distribución de los animales de granja. El resultado han sido plagas, daños al paisaje y contaminación (producción de metano por parte de los animales rumiantes, los desechos de los animales, uso excesivo de fertilizantes para producir alimentos para los animales); el problema de la huella de carbono se aumenta cada vez más debido a la infertilidad de las hembras que no logran quedar gestantes ya que solo producirán metano. Esto se acentúa más e incrementa como consecuencia del retraso de la pubertad y la edad al primer empadre, el anestro posparto prolongado y la mortalidad postnatal. Por lo tanto, el mejorar la fertilidad reducirá la cantidad de gas de efecto invernadero producido por unidad de carne o de leche (la "intensidad de emisiones")

Ética La cuestión ética obvia es el bienestar animal, una gran preocupación para todos los sectores que trabajan en mercados sofisticados donde los consumidores esperan que los animales de producción sean tratados y manejados amablemente; esto conduce a una presión sobre la sustitución de las herramientas quirúrgicas (como la castración sin anestesia).

Problemas Reproductivos

Para poder entender adecuadamente los problemas reproductivos es necesario tener conocimiento básico sobre la fisiología de la reproducción y el comportamiento de los animales (Figura 1), ya que, en ese conocimiento, encontraremos maneras de manipular los factores externos que afectan el eje reproductivo y así podemos evitar depender de hormonas, el manejo intensivo y la tecnología compleja (Martin, 1995). Adicionalmente, es importante entender y controlar las respuestas de los animales a su ambiente (Cuadro 1.)

Dentro de los factores externos, inevitablemente, encontramos el rol central de la nutrición, que es el mayor limitante en los sistemas extensivos. En estos sistemas, el aporte nutricional, en términos de calidad y cantidad, generalmente son difíciles de controlar. Una solución a este problema puede ser difícil de encontrar porque los requisitos nutricionales de los animales cambian de acuerdo al estado fisiológico y, de tal manera, deben coordinarse con los cambios estacionales en la cantidad y la calidad del forraje disponible. Algunos productores pudieran tratar de coordinar la época de mayor demanda (lactación) con la época de mayor suministro de alimento; sin embargo esto pudiera estar limitado por la

estacionalidad reproductiva de los animales (Figura 2). Como se ilustra en la figura 2, generalmente el resultado es una descoordinación entre el alimento disponible, particularmente la energía disponible y los requerimientos de energía de los animales (Martin *et al*. 2008). Adicionalmente, los suplementos alimenticios son relativamente costosos, por lo que es necesario que los productores los utilicen con la mayor eficiencia posible.

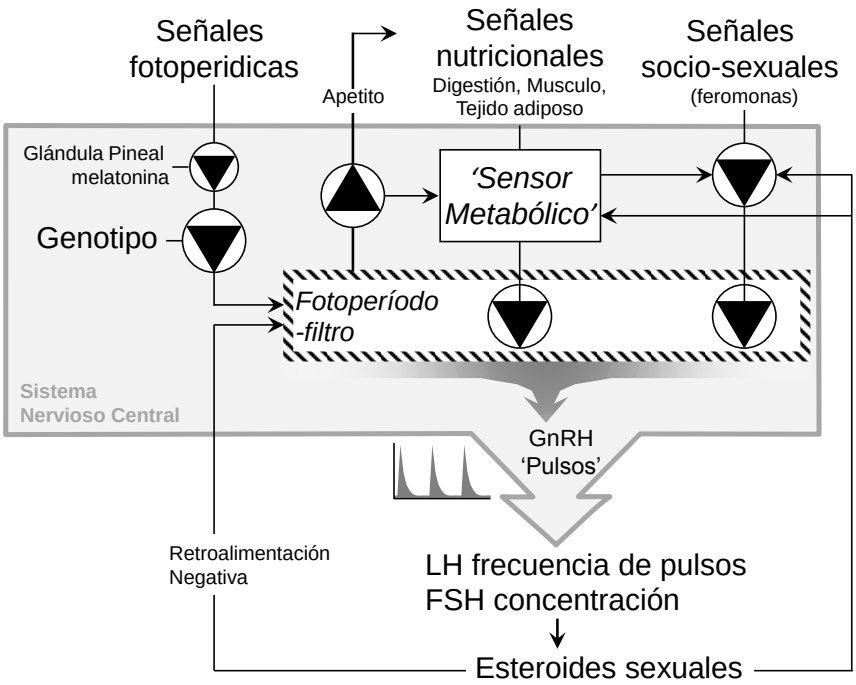

Figura 1. Esquema sobre las principales señales que afectan el sistema reproductivo de las hembras (Fotoperiodo, nutrición, señales socio-sexuales). Las señales operan a través de varias vías, muchas de las cuales afectan al eje reproductivo a través de la secreción pulsátil de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), que a su vez, controla la secreción pulsátil de la hormona luteinizante (LH) y la hormona estimulante del folículo (FSH). Nuestras observaciones sugieren que el fotoperíodo actúa como un "filtro" que depende de la raza del animal (genotipo) y que modifica las respuestas a las señales nutricionales y socio-sexuales. Los animales originarios de diferentes ambientes agroecológicos responden débilmente al efecto del fotoperíodo, sin embargo, muestran una respuesta muy clara a los estímulos nutricionales y socio-sexuales. Las señales socio-sexuales parecen trabajar principalmente a través de las feromonas que actúan sobre el sistema olfativo y en menor intensidad a través de estímulos visuales y auditivos. Las señales nutricionales también se perciben a nivel cerebral, pero también hay efectos nutricionales y metabólicos en las gónadas, útero y en la función mamaria que afectan el éxito reproductivo. Modificado después de Blache *et al*. (2003).

Cuadro 1. Características del sistema extensivo para pequeños rumiantes en el norte de México (Delgadillo y Martin, 2015).

Sistema de Producción	Norte de México Cabras
Genotipo dominante	Criolla
Producción de carne – consumo local	√√√
Producción de carne – exportación	x
Producción de leche	√√√
Producción de lana	x
Pastoreo extensivo, forraje nativo	√√√
Pastoreo extensivo, forraje introducido y mejorado	x
Problemas en la industria	
Variación estacional en calidad y cantidad de alimento	√√
Estacionalidad reproductiva	√√
Machos y hembras juntos todo el año	√√√
Tecnología en reproducción	x
Alta mortandad neonatal	√√
Problemas en salud animal	Brucelosis, encefalitis caprina, parásitos intestinales
Presión por parte del mercado/comunidad	
Contaminación, ética animal, alimentos limpios	√√

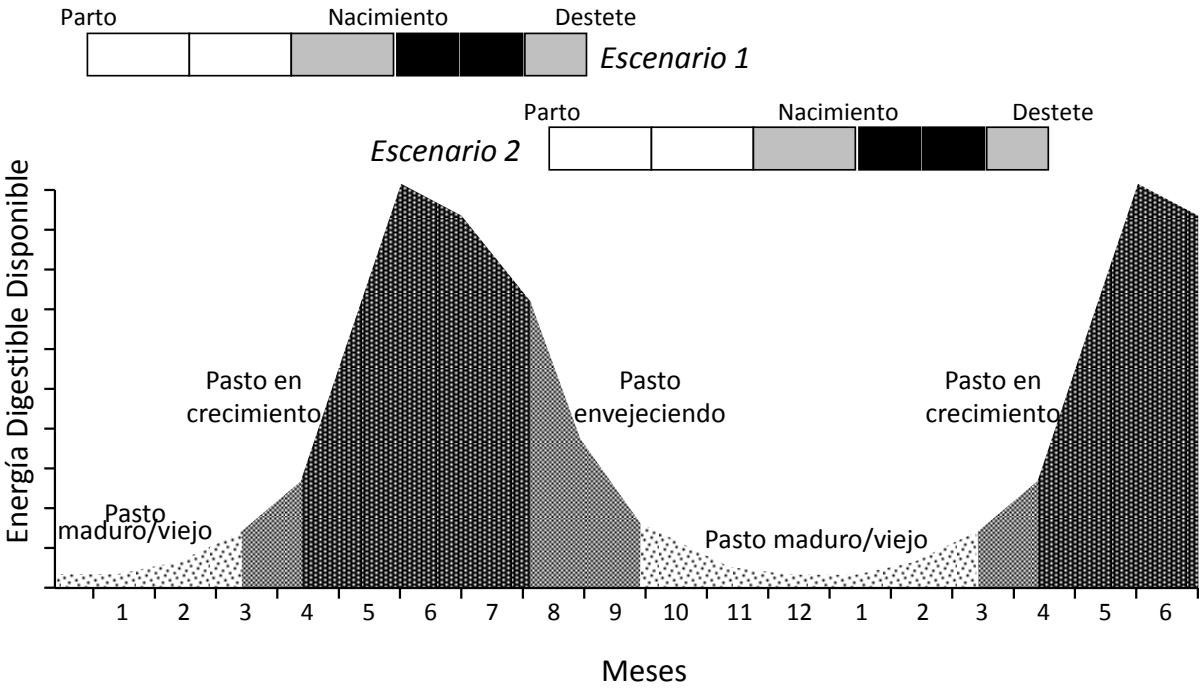

Figura 2: El ciclo anual de la disponibilidad de pastos y su relación con dos posibles escenarios reproductivos. En el escenario 1, la última etapa de la gestación o embarazo y el inicio de la lactancia coinciden con la máxima disponibilidad de la energía, la situación normal para las ovejas y las cabras adaptadas a las regiones templadas, con los principales eventos reproductivos típicos de un 'animal con actividad sexual en días cortos'. Escenario 2: La producción de leche se inicia cuando la disponibilidad de energía está en su punto más bajo, situación que refleja la relación de genotipos templados tratando de reproducir en una región 'mediterránea'. Modificado de Martin *et al.* (2008).

Alternativas Tecnológicas

La nutrición es el factor externo básico en la reproducción y, por lo tanto, es una herramienta indispensable en el manejo (Figura 3).

Proponemos la '***alimentación de enfoque***' para optimizar el manejo nutricional, un concepto que va de acuerdo a la teoría de '***sincronía de nutrientes***' descrito por Hersom (2008) en el sentido de intensificar la alimentación de los animales.

Esto nos lleva a plantear que la "***alimentación de enfoque***", expresada en la figura 3, sea coordinada con los eventos reproductivos importantes con el fin de garantizar el costo de los suplementos al mínimo mientras que las señales metabólicas apropiadas se utilizan para, tratar, de alcanzar la eficiencia reproductiva requerida. Sin embargo la alimentación de enfoque se tiene que ver

como una meta a alcanzar al mediano plazo, dado que muchos aspectos que se involucran aun requieren más investigación y desarrollo y algunos requieren grandes cambios en el manejo de la unidad de producción.

Es importante señalar que lo que se sugiere es relativamente sencillo; que son alternativas tecnológicas de "baja tecnología" y que pueden ser aplicadas en gran escala; sin embargo, algunas alternativas requieren precisión en el manejo y para algunas otras se requiere que los productores abandonen las prácticas "tradicionales" y adopten estas nuevas alternativas. Por ejemplo, los productores pueden incrementar el hato al empadrar hembras a una edad temprana (Rosales Nieto 2013a;b; 2015) y controlar la época de pariciones al separar al macho de las hembras y por lo tanto asegurándose que las hembras estarán fértiles para el empadre (Rosales Nieto et al., 2006; 2011). Otras opciones permiten un mejor control y abren oportunidades para usar aspectos de la biología reproductiva de los machos y no nada más que sean utilizados como productores de semen.

El grado de adopción de las alternativas tecnológicas se propone en diferentes etapas y dependerá en gran medida del poder adquisitivo del productor, de la localización geográfica de la unidad de producción y del mercado. Sin embargo, algunas de las alternativas tecnológicas son conocidas para muchos productores, ya que, probablemente, las practican continuamente en sus unidades de producción. La excepción, probablemente, sería el uso del ultrasonido para el diagnóstico de gestación, debido a que el costo del equipo y las habilidades para usar el equipo algunas veces están fuera del alcance de la mayoría de los productores; sin embargo, esto se puede solucionar al contratar un técnico especializado. A continuación se mencionan algunas alternativas tecnológicas que ayudaran a incrementar la eficiencia reproductiva.

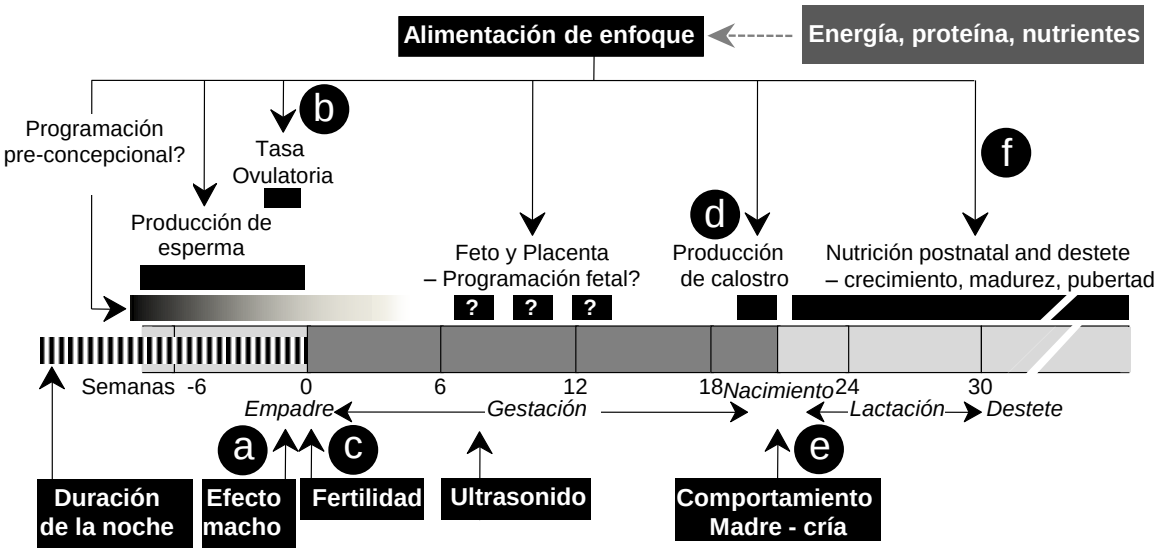

Figura 3: "**Alimentación de enfoque**" para el manejo de la reproducción en rumiantes: períodos de alimentación de enfoque para suministrar energía y proteínas que se utilizan en controlar los procesos reproductivos y mejorar el éxito reproductivo. Para sincronizar con precisión los períodos de alimentación con eventos reproductivos específicos, la época de empadre debe ser controlada y breve, o el ultrasonido debe ser utilizado para clasificar las madres basadas en la edad de sus fetos. Por último, la supervivencia de los recién nacidos debe maximizarse mediante una combinación de buena genética y un buen manejo. Los números en los círculos indican un enfoque por etapas para maximizar el rendimiento reproductivo (Modificado a Martin y Kadokawa, 2006).

Acortar la duración de los partos en el rebaño

En los sistemas de producción extensiva en México, es muy común observar unidades de producción en donde los machos permanecen con las hembras durante todo el año; por lo que no existe un control sobre la fecha de empadre, nacimientos y época de lactación. Muchos productores creen que esto es benéfico para las hembras dado que tienen más "oportunidad de quedar gestante". Sin embargo, cerca del 70% de los partos registrados en este sistema de producción ocurren espontáneamente por cuatro meses de Noviembre a Febrero, por lo que los cabritos nacen durante la peor época de forraje disponible y esto repercutirá, eventualmente, en el desarrollo post-natal y la venta de las crías (Figura 2). En estas unidades de producción, generalmente, se venden a los machos a temprana edad (~ 4 semanas); de tal manera que, generalmente, la producción de este sistema está orientada principalmente a la producción de cabrito. Sin embargo, la demanda de los mercados de cabrito se centra en carne de canal de menos de 45 días de edad, lactantes, y con elevado peso y rendimiento de carne. Adicionalmente, las hembras se

quedan como remplazo; no obstante, tienen contacto continuo con los machos y muchas de ellas quedan gestantes (cargadas) a una edad temprana cuando fisiológicamente no han llegado a la madurez.

Por lo que se recomienda separar a los machos y tener un periodo de empadre controlado y reducido a 45 días (~ 2 ciclos; figura 4) con el fin de concentrar la época de pariciones. Las razones se describen a continuación:

i) *Fertilidad* - un período de empadre de 2 ciclos da a las hembras sólo dos posibilidades de quedar gestante (Figura 4) y eso ayudará al productor de descubrir problemas de infertilidad. La eliminación selectiva de hembras infértiles ayudará, eventualmente, a mejorar la genética del rebaño.

ii) *Alimentación y empadre* - los pequeños rumiantes se empadran de manera natural en el otoño y, generalmente, esta es la peor temporada del año para la calidad y cantidad de pastos (Figura 2). Si la duración del empadre se extiende en esta época, ocasionará que, las hembras que no quedan gestantes al inicio del empadre trataran de hacerlo en el segundo o tercer ciclo reproductivo; sin embargo, para entonces ya habrán perdido peso y condición corporal significativamente. Esto, consecuentemente, ocasionará reducción en la tasa de concepción y de fecundidad. La solución a esto es desarrollar un programa de suplementación, lo cual podría ser muy costoso.

iii) *Reducción de la mortalidad neonatal* – la unidad de producción se volverá más rentable con un periodo corto y concentrado de nacimientos dado que ayudará a reducir la mortalidad neonatal. Así mismo, el utilizar la alimentación de enfoque, como veremos más adelante, ayudará a incrementar la calidad de calostro.

iv) *Evitar la 'cola'* – nacimientos contemporáneos (edad y peso similar) son más fáciles de manejar y comercializar; por lo que los animales que nacen después (más tarde que el resto) necesitan de un trato especial y reducen las ganancias económicas.

Adicionalmente, al tener un empadre más corto y controlado es posible determinar la fertilidad de las hembras mediante el uso de un chaleco marcador. Los machos son provistos de chalecos marcadores y es recomendable cambiar el color del crayón cada dos semanas para poder determinar si las hembras cargadas (marcadas por el macho) regresan a la actividad sexual (estro). Esta es una actividad de bajo costo y funciona bien para ovejas y cabras. Adicionalmente, se puede llevar a cabo un diagnóstico de gestación entre 45 y 60 días posteriores a la separación del macho para determinar las hembras que quedaron gestantes con las que no. Por lo tanto, el utilizar el chaleco marcador y el

ultrasonido darán información importante sobre la fertilidad del rebaño y eventualmente harán más eficiente la unidad de producción.

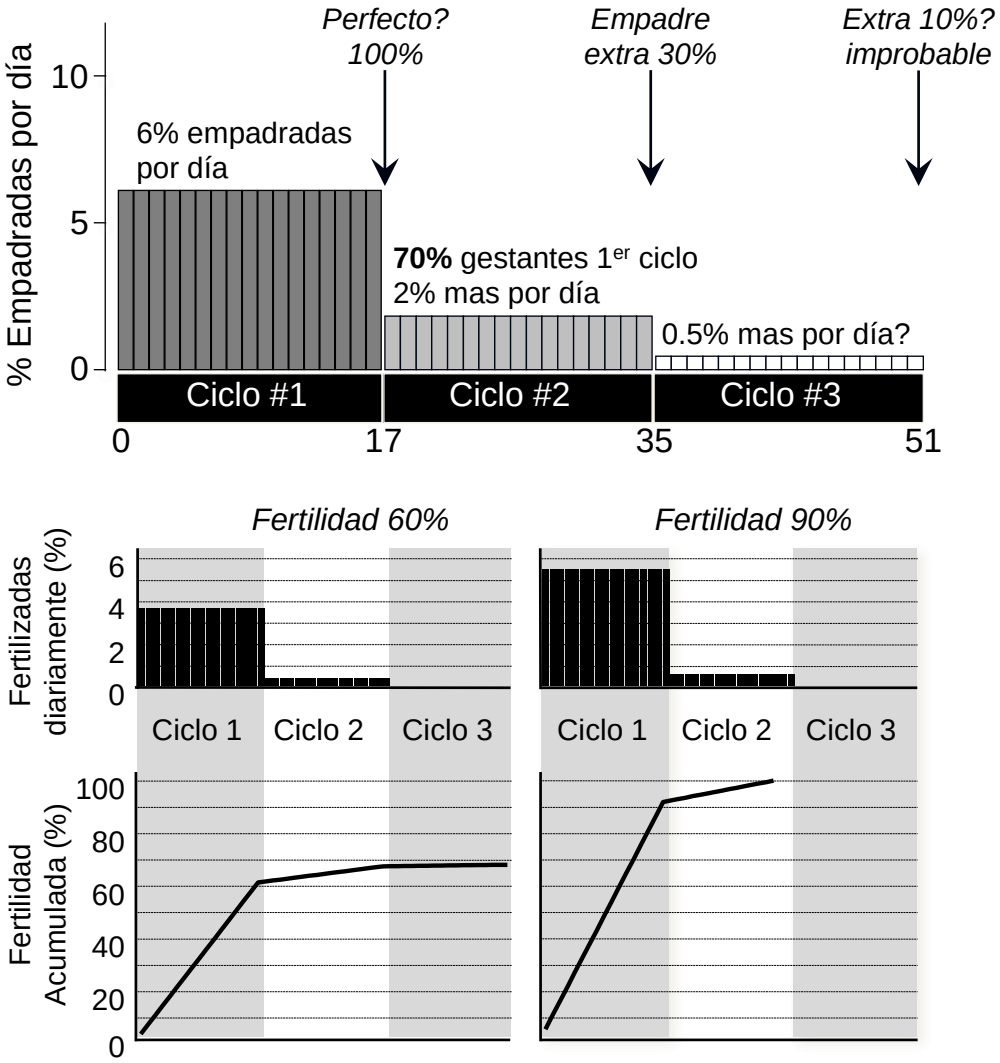

Figura 4. Aspectos teóricos sobre resultados de empadres a través de una serie de tres ciclos de celo en un rebaño de ovejas. *Arriba:* Asumiendon valor bajo, 70% en la tasa de gestación, es claro que las ganancias por el tercer ciclo, en particular, son insignificantes. *Abajo:* La tasa de gestación acumulada de un rebaño de ovejas se compara: 60% de fertilidad (izquierda) con el 90% de fertilidad (derecha; Martin, 2014).

Controlando la fecha de Nacimiento

Existen tres aspectos fundamentales en la reproducción que limitan la época del año para el empadre natural: pubertad, estacionalidad reproductiva y anestro post-parto. Existen algunas alternativas tecnológicas que han sido demostradas ser eficientes para disminuir este efecto.

Cambiando la duración de la noche

El control de la duración de la noche de entre 6 a 10 semanas puede ser utilizado fácilmente para 'encender' el centro reproductivo del cerebro en cabras y ovejas. El propósito es cambiar la duración de la noche, esto quiere decir, incrementar las horas luz (16 horas luz y 8 horas obscuridad) del 1ero de Noviembre al 15 de Enero del siguiente año. Esto es atractivo para los productores que cuentan con rebaños con actividad sexual estacional; sin embargo, esto esta probablemente limitado a los machos ya porque son menos en número. El tratamiento se puede utilizar para garantizar que el eje reproductivo este trabajando a su máxima eficiencia cuando los machos se utilizan para empadres de corto tiempo (como se describió anteriormente), o para el "efecto macho" (Delgadillo *et al.* 2014).

Adicionalmente, se ha demostrado que los tratamientos de luz (16 horas luz y 8 horas obscuridad) por 5 meses en las hembras lactantes y que paren en Octubre - Noviembre pueden incrementar la producción de leche sin afectar la composición (Flores et al., 2011; 2015) y reducir el anestro post-parto (Flores et al., 2013).

El "efecto macho"

La principal atracción del "efecto macho" es la simplicidad y el sentido práctico de la idea de juntar machos sexualmente activos con las hembras en el mismo lugar. De tal manera que en muchos genotipos de ovejas y cabras, la introducción repentina de machos 'nuevos' puede inducir la ovulación en las hembras que están en reposo sexual o época de anestro; ya sea porque son pre-púberes, están fuera de la temporada sexual o están lactantes (revisiones: Martin *et al.* 1986; Rosa y Bryant 2002; Delgadillo 2011; Jorre de St Jorre et al., 2014). El "efecto macho" puede ser eficaz durante la época de anestro estacional y durante le época reproductiva (Hawken et al., 2009; Delgadillo et al., 2009; Jorre de St Jorre et al., 2014). Más aun, la sincronización ocurrida por el "efecto macho" puede ser eficiente para inseminación artificial según reportes (Martin y Scaramuzzi 1983; López-Sebastián et al., 2014). Adicionalmente, el productor tendrá la certeza de las fechas aproximadas de ovulación, empadre y parto. Por lo tanto, el "efecto macho" puede ofrecer control de dos aspectos indispensables en las unidades de producción:

1) Las fechas de nacimiento no seguirán siendo determinadas por el periodo natural de empadre.
2) Las hembras dentro de un rebaño pueden ser sincronizadas.

Sin embargo, el efecto macho no es universalmente eficaz – funciona mejor con las razas moderadamente estacionales y, en la actualidad, sólo se puede aplicar cuando las hembras no están

ovulando espontáneamente. Aun así, en situaciones en donde la respuesta puede ser confiable, pudiera existir una variación en la respuesta de las hembras al efecto macho al atrasar la ovulación debido a la incidencia de ciclos cortos seguidos de la primer ovulación (Delgadillo 2011; Rosales Nieto et al., 2011). No obstante, una alternativa tecnológica seria la ***alimentación de enfoque*** para usarse en conjunto con el efecto macho. Esto implica suplementar a las hembras antes del empadre por al menos 7 días en el caso de cabras (Fitz-Rodríguez et al., 2009) y 11 días en el caso de ovejas (Martin y Scaramuzzi, 1983; Nedelkov et al., 2013). A pesar de ciertas limitaciones, esta estrategia optimizará la fertilidad del rebaño y tendrá ahorros significativos en los costos de alimentación.

Algunas limitaciones relacionados con el efecto macho necesitan más investigación (Martin, 2014). No obstante, existen áreas en las que se pudiera mejorar relativamente rápido (Jorre de St Jorre et al., 2014 y Fabre-Nys et al., 2015) y otras áreas estratégicas de mejoramiento basadas en la evidencia de la variación genética en las que se requiere más de tiempo (Martin y Greef, 2011). Las áreas se resumen a continuación:

Relativamente rápido

1) *Intensidad del comportamiento sexual del macho* – machos sexualmente activos mejoran la respuesta (Flores et al., 2000; Martínez-Alfaro et al., 2014).
2) *Efecto macho*macho* – machos sexualmente inactivos pueden ser activados por la interacción con machos sexualmente activos y estos pueden inducir el efecto macho en cabras durante en anestro (Velez Monroy et al., 2015 *in process*).
3) *La edad y experiencia de los machos* (Ungerfeld et al., 2007).
4) *Estrategias para estimular la actividad sexual de los machos* – suplementación nutricional y contacto con hembras sexualmente activas (Carrillo et al., 2011); sin embargo, parece ser que el método más eficaz es el de tratamientos con luz artificial (Flores et al., 2000; Abecia et al., 2015).

Áreas estratégicas de mejoramiento basadas en la evidencia de la variación genética (Más tiempo)

1) Es muy probable que todas las razas tienen la misma anatomía y fisiología, y por lo tanto genes similares que sustentan el fenómeno.
2) Existen diferencias entre los genotipos sobre la capacidad de respuesta al efecto macho.
3) Existe una variación considerable entre los genotipos y entre los individuos dentro de un genotipo en la forma en que expresan su época reproductiva, probablemente debido a las diferencias en la respuesta a los factores causantes del fotoperiodo (Figura 1). El resultado

es la variación genética en la intensidad de las señales socio-sexual de los machos y en la capacidad de respuesta de las hembras a esas señales.

Alimentación

Efectos de la desnutrición materna durante la gestación en la crías

La desnutrición materna durante la gestación afecta el suministro de nutrientes al feto y, dependiendo del nivel de restricción, puede causar pérdidas fetales o puede comprometer la secreción fetal de IGF-I y consecuentemente la tasa de crecimiento (Heasman et al., 2000, Rumball et al., 2009; Jenkinson et al., 2012). La restricción de crecimiento fetal está asociada con bajos pesos al nacimiento, reducido comportamiento del cordero y puede afectar la regulación metabólica en el desarrollo postnatal, poniendo en riesgo la supervivencia de los recién nacidos (Wallace et al., 1996; Dwyer et al., 2003; Vonnahme et al., 2003). Adicionalmente, mientras la desnutrición materna es asociada con una reducción en la producción y calidad de calostro y leche (O'Doherty y Crosby, 1996; Nørgaard et al., 2008); la ingesta de calostro del recién nacido está asociada con la supervivencia y la ganancia diaria de peso (Decaluwé et al, 2014). Además, la desnutrición materna durante la gestación y/o lactancia ha sido demostrado que afecta el rendimiento reproductivo posterior en las crías (Gunn et al., 1995; Rhind et al., 1998). Por lo tanto, los animales restringidos durante la vida fetal y los animales con bajo peso al nacimiento tienen ganancias de peso inferiores durante el pre-destete y post-destete (Da Silva et al., 2001). El no poder conseguir suficiente peso corporal afectará el inicio de la pubertad; siendo los corderos más pesados los que alcanzan la pubertad antes que sus homólogos más delgados (Rosales Nieto et al., 2013a; 2013b; 2015). Por lo tanto, es necesario desarrollar estrategias que permitan garantizar que las hembras gestantes y lactantes reciban los requerimientos necesarios. Una alternativa podría ser reducir la carga animal o suplementar durante estas etapas. Sin embargo, esto pudiera incrementar los costos de producción.

Alimentar a los machos para incrementar la fertilidad

Al reducir la duración del empadre incrementa la necesidad de que los machos estén sexualmente activos y listos para que puedan responder a las demandas, por lo necesitan ser manejados adecuadamente - número adecuado de machos, masa testicular adecuada, saludables y en forma. Una alternativa tecnológica para maximizar la masa testicular y por lo tanto la producción de esperma, es suplementar a los machos al menos 8 semanas antes del empadre para garantizar la calidad del esperma (Martin *et al*. 2010; Martin, 2014). Es importante considerar que un macho “gordo” y que no haga ejercicio no funcionará durante el empadre a pesar de contar con una masa testicular adecuada. Esto es

especialmente importante para muchas razas de ovejas y cabras si se utiliza el efecto macho dado que las hembras se sincronizarán por el "efecto macho"; por lo que los machos pudieran encontrar hasta un 30% de las hembras en celo en algunos días.

Alimentar a las hembras para incrementar la fecundidad

La tasa de ovulación determina la fecundidad, y por lo tanto la productividad. La tasa de ovulación es principalmente controlada por la genética, por lo que esta se puede mejorar a través de la selección; sin embargo, la expresión de ese potencial genético está fuertemente influenciado por el régimen nutricional antes del empadre (revisión: Scaramuzzi *et al*. 2011). Esto es evidente en la correlación entre la condición corporal y el tamaño de camada, pero, es más importante en el contexto de la **alimentación de enfoque**, porque también hay un efecto positivo - en ovejas y cabras, la suplementación de sólo 4-6 días en las etapas finales del ciclo estral puede incrementar la frecuencia de las ovulaciones dobles en un 20-30 % (Viñoles *et al.* 2005; 2009; Fitz-Rodríguez et al., 2009; Zabuli et al., 2010). En dado caso que sea difícil determinar el momento preciso de la ovulación, es necesario suplementar por un ciclo completo (20 – 22 días) para garantizar que todas las hembras puedan responder. Adicionalmente, si es difícil tener acceso a suplementos de calidad, se ha demostrado que pastos de alta calidad (Viñoles *et al.* 2009) y pencas de nopal con un poco de harina de soya (Rekik et al., 2012) pueden dar el mismo resultado. Así mismo se ha demostrado que la suplementación posterior a la ovulación no aumenta la muerte embrionaria durante la gestación temprana (Viñoles *et al.* 2012).

De tal manera que esto ayudara a mejorar la eficiencia reproductiva del rebano al seleccionar aquellas hembras que tienen el potencial genético para producir un máximo de dos ovulaciones, esto quiere decir, con el resultado final de partos sencillos o dobles.

Ultrasonido para el diagnóstico de gestación y número y edad de los fetos

El uso de ultrasonido para diagnóstico de gestación es ahora un procedimiento de rutina en los pequeños rumiantes, incluso para los grandes rebaños típicos en Australia y Nueva Zelanda (Jones et al., 2014).

Si el servicio está disponible, no hay razón para que los productores no lo utilicen. Al nivel más simple, el ultrasonido nos proporcionara información sobre las hembras gestantes y cuales no lo están. Adicionalmente, pero un poco más complejo, el ultrasonido nos puede proporcionan el número y la edad aproximada de los fetos, esto nos provee información sobre una fecha aproximada dentro de un rango de 17 días para el nacimiento y la oportunidad de emplear la ***alimentación de enfoque*** durante la gestación y tener un mejor manejo de los partos. De tal manera que si el empadre fue reducido a dos ciclos reproductivos, el uso del ultrasonido se hace más rentable y nos arroga información sobre:

a) Otra oportunidad para el re-empadre si ha ocurrido un desastre;
b) Eliminar animales infértiles para mejorar de la fertilidad del rebaño.
c) Determinar el número de fetos en vientre que permitirá separar hembras acorde al estatus. Los datos pueden ser utilizados para la selección de la fecundidad. Adicionalmente, aquellas hembras gestantes con varios fetos se les podrá proporcionar un mejor manejo y con una alimentación adecuada, ya que aquí es en donde hay una alta tasa de mortalidad neonatal.
d) Determinar la edad del feto para mejorar el manejo al parto. Las hembras gestantes con fetos de edades similares podrán ser agrupadas para poder incrementar la precisión de la alimentación de enfoque para la producción de calostro.
e) Planificación futura sobre las condiciones para el parto.

Maximizar la sobrevivencia neonatal

La alta tasa de mortalidad neonatal tiene consecuencias obvias en la rentabilidad y en el mejoramiento genético; ya que cualquier inversión que se haya hecho en el mejoramiento genético habrá sido en vano. La mortalidad neonatal, por lo tanto, va de la mano con cualquier plan integral para mejorar la fecundidad del rebaño a través de la selección genética o la alimentación de enfoque. El método más sencillo de disminuir este problema, es tener un mejor manejo sobre las pariciones – proporcionar un lugar adecuado, en donde los animales se puedan proteger de las inclemencias naturales, que cuenten con alimento y agua limpia cerca del lugar de nacimiento. Estas sencillas acciones aumentará la cantidad de tiempo que la madre pasa en el lugar de nacimiento, por lo tanto, mejorara el desarrollo del vínculo madre-cría (Nowak 1996). Posteriormente y con el fin de mejorar genéticamente el rebaño, se pudiera determinar la variación entre individuos y razas en la sobrevivencia neonatal con el fin evaluar el comportamiento materno; esto quiere decir, determinar el tiempo que tarda la madre en reconocer al recién nacido y el tiempo que tarda el recién nacido en reconocer a su madre. De esa manera, se pudieran seleccionar y/o eliminar hembras con un comportamiento materno bajo e incrementaría la productividad de la unidad de producción.

La producción de calostro y la sobrevivencia del recién nacido

El calostro es de gran importancia para el recién nacido, dado que la ingesta se asocia con la supervivencia y la ganancia diaria de peso (Decaluwé et al, 2014). Por lo tanto, si no hay producción suficiente de calostro y leche, se puede reducir el vínculo materno (Goursaud y Nowak 1999; Ramírez-Vera et al., 2012a) y aumentar la mortalidad de los recién nacidos (Scales et al., 1986). Esto va mas allá,

dado que los animales restringidos durante la vida fetal y los animales con bajo peso al nacimiento tienen ganancias de peso inferiores durante el pre-destete y post-destete (Da Silva et al., 2001) y esto afectará el inicio de la pubertad; siendo los animales más pesados los que alcanzan la pubertad antes que los animales más delgados (Rosales Nieto et al., 2013a; 2013b; 2015). Sin embargo, existe una posible solución a este problema; la ***alimentación de enfoque*** se puede utilizar en la última semana de gestación para incrementar la producción de calostro disponible al nacimiento (revisión: Banchero *et al.* 2006) e incrementa la sobrevivencia neonatal (Goodwin y Norton 2004; Ramírez-Vera et al., 2012b). Otra alternativa cuando los requerimientos nutricionales no son los adecuados, se puede suplementar a las hambras con vitamina E a partir del último tercio de gestación y esto incrementaría la calidad de calostro y producción de leche (Rosales Nieto et al., 2015 *in process*).

Esto implica que implementación de un periodo corto de empadre y el uso de ultrasonido para el diagnóstico de la gestación aunado a la ***alimentación de enfoque*** ayudará a incrementar la sobrevivencia postnatal. Más aun, gracias al uso del ultrasonido – podemos determinar que para los animales con una buena condición corporal, la alimentación para incrementar la cantidad de calostro se puede limitar a las madres gestantes con varios fetos, evitando el riesgo de distocia causada por fetos excesivamente grandes.

Empadre temprano en hembras jóvenes (Pubertad)

El inicio de la pubertad está ligado con la acumulación de punto crítico de masa corporal y durante muchos años, se creyó que esto era debido porque la grasa corporal era esencial para el inicio de la pubertad. Sin embargo, en los últimos años, hemos probando que la pubertad puede ser iniciada mediante la aceleración del crecimiento o mediante la aceleración en la acumulación de musculo, así como grasa, utilizando un enfoque genético (Rosales *et al.* 2013a; b; 2014; 2015). Esto quiere decir, que las hembras con mayores valores fenotípicos o genotípicos para el crecimiento o para la acumulación de grasa o músculo, son más pesadas al primer estro y con mayor probabilidad de alcanzar la pubertad a una edad más temprana que los animales con poco potencial. Esta relación estuvo estrechamente relacionada con el hecho de que las hembras seleccionadas para un crecimiento rápido alcanzaron el 'peso crítico' a la pubertad más rápido. Estos datos refuerzan la observación de que el crecimiento rápido no limita la capacidad de las hembras jóvenes para alcanzar el porcentaje crítico de peso adulto, lo que sugiere que hay una ventana de oportunidad importante para la selección de los animales con mayor potencial de crecimiento, con resultados positivos en la eficiencia reproductiva, así como la producción de carne. Esta estrategia permitirá el empadre de corderas a una edad más joven y con buena fertilidad. Alcanzar la pubertad a una edad más temprana también aumenta la probabilidad de que,

cuando estas corderas sean empadradas por segunda vez a los 20 meses de edad, su ciclo reproductivo se puede integrar con la del rebaño de ovejas adultas, por lo tanto eliminando una de las principales objeciones de los productores de ganado ovino y caprino.

De tal manera que la eficiencia reproductiva del rebaño podría mejorar si las hembras jóvenes llegan a la pubertad más rápidamente y producen su primer cría al año de edad como lo hemos mencionado anteriormente. En estudios recientes, hemos demostrado que la tasa de fertilidad y fecundidad se puede mejorar en las hembras jóvenes que son empadradas por primera vez y que cuentan valores altos fenotípicos y genotípicos para el crecimiento y la acumulación de músculo y grasa (Rosales et al., 2013a; b; 2014). También comprobamos que el peso vivo al inicio del período del empadre juega un papel importante en la determinación de la eficiencia reproductiva. Esta ganancia en el rendimiento reproductivo en hembras pre-púberes, puede ser posible asegurando de que ellas lleguen al peso vivo adecuado al inicio del empadre y esto se puede lograr a través del manejo nutricional y a través de la selección genética para un crecimiento rápido y mayor acumulación muscular y de grasa (Rosales et al., 2013a; b; 2014; 2015). Si las hembras jóvenes empadradas pueden criar con éxito al destete a la(s) cría(s), los análisis económicos sugieren que la estrategia puede ser rentable si el precio del cordero es mayor que AU$4/kg peso de la canal y más de 60 corderos son obtenidos por cada 100 corderas que son empadradas (Coop 1962; Young *et al.* 2014). Además, si las hembras están bien alimentados y su condición corporal se mantiene, existe el potencial para aumentar el rendimiento reproductivo de por vida (Schoeman *et al.* 1995; Kenyon *et al.* 2014).

En México, generalmente, los machos y hembras permanecen juntos durante todo el año, por lo que hembras jóvenes son empadradas entre los 7 y 10 meses de edad. Esto trae como consecuencia altos porcentajes de abortos, retraso en el crecimiento y reducción en la productividad futura. Por otro lado, existen unidades de producción en donde separan machos y hembras; sin embargo, el primer empadre de las hembras ocurre cuando tienen entre 18 y 24 meses de edad. El retrasar el primer empadre trae como consecuencia un retraso en el mejoramiento genético y reducción del tamaño del rebaño pie de cría. De tal manera que se tiene que encontrar un punto intermedio que implique empadrar a hembras jóvenes en su punto óptimo de desarrollo. Sin embargo, este es un problema complejo dado que existe una combinación de causas y soluciones sociales, biológicas y genéticas:

i) *Social* - Un aspecto importante es el escepticismo por parte del productor en la decisión de retrasar el primer empadre de las hembras jóvenes, con la creencia de que el desempeño reproductivo y productivo se verá afectado en los años subsiguientes, a pesar de que investigaciones indican lo contrario (Kenyon *et al.* 2004; 2011; 2014).

ii) *Biológico* - El inicio de la pubertad en hembras jóvenes se ve limitada por el la condición corporal, el peso vivo y el fotoperiodo (duración de la noche). En este caso, la masa corporal y las ganancias de peso diarias posteriores al nacimiento son esenciales para alcanzar más rápido la pubertad (Rosales Nieto et al., 2015). Es importante que las hembras alcancen cerca del 70% de su peso adulto para poder alcanzar la pubertad y ser empadradas sin problemas posteriores (Rosales Nieto et al., 2013b). Adicionalmente, el tener ganancias de peso durante la época de empadre incrementa el porcentaje de fertilidad y fecundidad en hembras jóvenes (Rosales Nieto et al., 2015)

iii) *Genético* - en estudios recientes con hembras jóvenes, se ha demostrado que la selección genética (crecimiento precoz, acumulación de grasa y acumulación de musculo) se puede utilizar para aumentar la tasa de crecimiento y por lo tanto avanzar el inicio de la pubertad (Rosales *et al.* 2013a; 2013b, 2015). Adicionalmente, hemos demostrado que la selección genética para incrementar la acumulación de musculo ayudará a que las hembras sean más fértiles (Rosales Nieto et al., 2015). Estos resultados se pudieran considerar como doble propósito, dado que se puede incrementar la producción de carne y la reproducción.

El reto al empadrar hembras jóvenes es asegurar la ovulación, la concepción y la sobrevivencia del recién nacido. Sin embargo, podemos hacer uso de las alternativas tecnológicas como lo son el "efecto macho" (Kenyon *et al.* 2006), el ultrasonido y el manejo al momento del parto, como se describieron anteriormente para las hembras adultas. Otro factor importante a considerar al empadrar hembras jóvenes es extender un par de semanas más el periodo de empadre, esto con el fin de permitir que las hembras ganen un poco más de peso y aseguren la concepción.

Mejoramiento Genético

Es importante considerar la genética dentro de las alternativas tecnológicas para incrementar la eficiencia reproductiva, ya que, como se puede apreciar en gran parte de lo mencionado anteriormente, los factores genotípicos restringen de manera importante la plena aplicación de muchas alternativas tecnológicas.

El mejoramiento genético es ideal para los sistemas en extensivo porque es una herramienta sencilla y de bajo costo y lo más importante es que el beneficio se acumulara a través de los años. Hoy en día que existe tecnología de punta como inseminación artificial por laparoscopia, identificación animal electrónica, registros y basculas automatizadas (que determinan el peso corporal, la ganancia de peso diaria, costos, etc). Por lo que estas herramientas hacen que, en un futuro cercano, sea posible evaluar una gran variedad de variables productivas en los sistemas extensivos.

Inseminación artificial

Una alternativa tecnológica considerada como "alta tecnología" es la inseminación artificial. La inseminación artificial es una técnica que permite la deposición del semen colectado y fraccionado en el tracto reproductivo de las hembras. Existen dos tipos, la inseminación cervical y por laparoscopia. El objetivo principal de utilizar la inseminación artificial es el mejoramiento genético. Sin embargo, es una alternativa tecnológica que requiere de un programa riguroso de sincronización y detección de celos, una persona capacitada para el manejo del semen e inseminación y aun así, es una técnica que no es 100% eficaz. Adicionalmente que los animales estén bien alimentados y libres de enfermedades y parásitos. Sin embargo, esta alternativa tecnológica, probablemente, no es relevante para los productores de pequeños rumiantes en el corto plazo dado que se requiere de, pero seguramente lo será en el largo plazo.

Conclusiones

El entender las respuestas reproductivas de los animales a los factores del medio ambiente como fotoperíodo, nutrición y señales socio-sexuales es un paso para controlar y mejorar la reproducción y productividad de los pequeños rumiantes. Muchas de las alternativas tecnológicas propuestas en este escrito son fáciles y sencillas de llevar a cabo por lo que deberían de ser una práctica habitual en la mayoría de las explotaciones caprinas del Altiplano Mexicano. Otras como ya se ha explicado, todavía están sujetas a la investigación y el desarrollo. Sin embargo, el uso de estas alternativas tecnológicas para incrementar la eficiencia reproductiva puede ser rentable y mejorar la productividad, a la vez que mejora la imagen de nuestras industrias en la sociedad y el mercado.

Referencias

Abecia, J.A., Chemineau, P., Flores, J.A., Keller, M., Duarte, G., Forcada, F., Delgadillo, J.A., Continuous exposure to sexually active rams extends estrous activity in ewes in spring. *Theriogenology in press*.

Banchero GE, Perez Clariget R, Bencini R, Lindsay DR, Milton JTB, Martin GB. Endocrine and metabolic factors involved in the effect of nutrition on the production of colostrum in female sheep. Reprod Nutr Dev. 2006;46:447-60.

Blache D, Zhang S and Martin GB. Fertility in males: modulators of the acute effects of nutrition on the reproductive axis of male sheep. In: Campbell BK, Webb R, Dobson H, Doberska C, editors. Reproduction in domestic ruminants V. Cambridge, UK: Society for Reproduction and Fertility; 2003. p. 387-402.

Carrillo, E., Tejada, L.M., Meza-Herrera, C.A., Arellano-Rodríguez, G., Garcia, J.E., De Santiago-Miramontes, M.A., Mellado, M., Véliz, F.G., 2011. Response of sexually inactive French Alpine bucks to the stimulus of goats in oestrus. Livestock Science 141, 202-206.

Coop IE. Liveweight-productivity relationships in sheep. New Zeal. J. Agric. Res. 1962; 5, 249-264.

Da Silva, P., Aitken, R., Rhind, S., Racey, P., Wallace, J., 2001. Influence of placentally mediated fetal growth restriction on the onset of puberty in male and female lambs, Reproduction, 122, 375-383.

Decaluwé, R., Maes, D., Wuyts, B., Cools, A., Piepers, S., Janssens, G.P.J., 2014. Piglets ′colostrum intake associates with daily weight gain and survival until weaning, Livestock Science, 162, 185-192.

Delgadillo, J.A. 2011. Environmental and social cues can be used in combination to develop sustainable breeding techniques for goat reproduction in the subtropics. Animal 5:74–81.

Delgadillo, J.A., Martin, G.B., 2015. Alternative methods for control of reproduction in small ruminants: A focus on the needs of grazing industries. Animal Frontiers 5, 57-65.

Delgadillo JA, Gelez H, Ungerfeld R, Hawken PAR, Martin GB. The ‘male effect’ in sheep and goats – revisiting the dogmas. Behav. Brain Res. 2009 200:304-314.

Delgadillo, J.A., Flores, J.A., Duarte, G., Vielma, J., Hernández, H., Bedos, M., Fitz-Rodríguez, G., Fernández, I.G., López-Sebastián, A., Gómez-Brunet, A., Santiago-Moreno, J., Zarazaga, L.A., Keller, M., Chemineau, P., 2014. Out-of-season control of reproduction in subtropical goats without exogenous hormonal treatments. Small Ruminant Research 121, 7-11.

Dwyer, C.M., Lawrence, A.B., Bishop, S.C., Lewis, M., 2003. Ewe–lamb bonding behaviours at birth are affected by maternal undernutrition in pregnancy, British Journal of Nutrition, 89, 123-136.

Fabre NYS, C., Kendrick, K.M., Scaramuzzi, R.J., 2015. “The “ram effect”: New insights into neural modulation of the gonadotropic axis by male odors and socio-sexual interactions. Frontiers in Neuroscience 9.

Fitz-Rodríguez, G., De Santiago-Miramontes, M.A., Scaramuzzi, R.J., Malpaux, B., Delgadillo, J.A., 2009. Nutritional supplementation improves ovulation and pregnancy rates in female goats managed under natural grazing conditions and exposed to the male effect. Animal Reproduction Science 116, 85-94.

Flores, J.A., Véliz, F.G., Pérez-Villanueva, J.A., Martínez de la Escalera, G., Chemineau, P., Poindron, P., Malpaux, B., Delgadillo, J.A., 2000. Male Reproductive Condition Is the Limiting Factor of Efficiency in the Male Effect During Seasonal Anestrus in Female Goats. Biology of Reproduction 62, 1409-1414.

Flores, M.J., Flores, J.A., Duarte, G., Vielma, J., Delgadillo, J.A., Hernández, H., 2013. Long-day photoperiod exposure in lactating goats to induce post-partum ovulatory activity. Small Ruminant Research 109, 52-55.

Flores, M.J., Flores, J.A., Elizundia, J.M., Mejía, A., Delgadillo, J.A., Hernández, H., 2011. Artificial long-day photoperiod in the subtropics increases milk production in goats giving birth in late autumn. Journal of Animal Science 89, 856-862.

Flores, M.J., Delgadillo, J.A., Flores, J.A., Pastor, F.J., Duarte, G., Vielma, J., Hernández, H., 2015. Artificial long days increase milk production in subtropical lactating goats managed under extensive grazing conditions. The Journal of Agricultural Science 153, 335-342

Goodwin N, Norton BW. Improving doe nutrition immediately prior to kidding increases kid survival. Proc Aust Soc Anim Prod. 2004;25:233.

Goursaud AP, Nowak R. Colostrum mediates the development of mother preference by the new born lamb. Physiol Behav. 1999;67:49-56.

Gunn, R.G., Sim, D.A., Hunter, E.A., 1995. Effects of nutrition in utero and in early life on the subsequent lifetime reproductive performance of Scottish Blackface ewes in two management systems, Animal Science, 60, 223-230.

Hawken PAR, Esmaili T, Jorre de St Jorre T, Martin GB. Do cyclic female goats respond to males with an increase in LH secretion during the breeding season? Anim Reprod Sci. 2009;112:384-89.

Heasman, L., Brameld, J., Mostyn, A., Budge, H., Dawson, J., Buttery, P., Stephenson, T., Symonds, M.E., 2000. Maternal nutrient restriction during early to mid gestation alters the relationship between insulin-like growth factor I and bodyweight at term in fetal sheep, Reproduction, Fertility and Development, 12, 345-350.

Hersom MJ. Opportunities to enhance performance and efficiency through nutrient synchrony in forage-fed ruminants. J Anim Sci. 2008 86, E306-17.

Jenkinson, C.M.C., Earl, A.K., Kenyon, P.R., Blair, H.T., 2012. Effects of maternal nutrition during pregnancy on fetal growth and maternal constraint in sheep, Animal Production Science, 52, 524-532.

Jones, A., M. Curnow, and A. van Burgel. 2014. Report on the national producers and service providers surveys. Cooperative Research Centre for Sheep Industry Innovation, Armidale, Australia

Jorre de St Jorre, T., P.A.R. Hawken, and G.B. Martin. 2014. New understanding of an old phenomenon: Uncontrolled factors and misconceptions that cast a shadow over studies of the 'male effect' on reproduction in small ruminants. Turk. J. Vet. Anim. Sci. 38:625–636.

Kenyon PR, Morris ST, Perkins NR, West DM. Hogget mating use in New Zealand – a survey. Proc New Zeal Soc Anim Prod. 2004;64:217-22.

Kenyon PR, Morel PCH, Morris ST, Burnham DL, West DM. The effect of length of use of teaser rams prior to mating and individual liveweight on the reproductive performance of ewe hoggets. New Zeal Vet J. 2006;54:91-5.

Kenyon PR, van der Linden DS, West DM, Morris ST. The effect of breeding hoggets on lifetime performance. New Zeal J Agri Res. 2011; 54 321-330.

Kenyon, P.R., Maloney, S.K., Blache, D., 2014. Review of sheep body condition score in relation to production characteristics. New Zealand Journal of Agricultural Research 57, 38-64.

Lopez-Sebastián, A., Coloma, M.A., Toledano, A., Santiago-Moreno, J., 2014. Hormone-free Protocols for the Control of Reproduction and Artificial Insemination in Goats. Reproduction in Domestic Animals 49, 22-29.

Martin GB. Reproductive research on farm animals for Australia – some long-distance goals. Reprod Fertil Dev. 1995;7:967-82.

Martin GB. An Australasian perspective on the role of reproductive technologies in world food production. Advances in Experimental Medicine and Biology. 2014; 752, 181-197.

Martin GB, Greeff JC. Genetic frontiers in the development of 'clean, green and ethical' management systems for the extensive sheep industry. Proc Assoc Adv Anim Breed Genet. 2011;19:143-50.

Martin GB, Kadokawa H. "Clean, Green and Ethical" Animal Production. Case Study: Reproductive Efficiency in Small Ruminants. Journal of Reproduction and Development. 2006;52(1):145-52.

Martin GB, Scaramuzzi, RJ. The induction of oestrus and ovulation in seasonally anovular ewes by exposure to rams. J Steroid Biochem. 1983;19:869-75.

Martin, G.B. & Rosales Nieto, C. (2014). El futuro en la industria animal – Dónde se necesita la ciencia para desarrollar métodos 'limpios, verdes y éticos' sobre el manejo de la reproducción. In: Curso Internacional VII – Reproducción de Rumiantes – Innovaciones en Reproducción Animal, pp. 21-44 [Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Mexico].

Martin GB, Oldham CM, Cognié Y, Pearce DT. The physiological responses of anovulatory ewes to the introduction of rams – a review. Livest Prod Sci. 1986;15:219-47.

Martin GB, Milton JTB, Davidson RH, Banchero Hunzicker GE, Lindsay DR, Blache D. Natural methods of increasing reproductive efficiency in sheep and goats. Anim Reprod Sci. 2004;82-83:231-46.

Martin GB, Blache D, Williams IH. The costs of reproduction. In: Rauw WM, editor. Resource allocation theory applied to farm animals. Oxford: CABI Publishing; 2008. p. 169-191.

Martin GB, Blache D, Miller, DW, Vercoe PE. Interactions between nutrition and reproduction in the management of the mature male ruminant. Animal 2010;4:1214-26.

Martínez-Alfaro, J.C., Hernández, H., Flores, J.A., Duarte, G., Fitz-Rodríguez, G., Fernández, I.G., Bedos, M., Chemineau, P., Keller, M., Delgadillo, J.A., Vielma, J., 2014. Importance of intense male sexual behavior for inducing the preovulatory LH surge and ovulation in seasonally anovulatory female goats. Theriogenology 82, 1028-1035.

Nedelkov, K., N. Todorov, and M. Simeonov. 2013. Effect of focused flushing at the end of the anticipated normal luteal phase on synchronization of oestrus by introduction of ram in the flock. Bulg. J. Agric. Sci. 19:1085–1092.

Nørgaard, J.V., Nielsen, M.O., Theil, P.K., Sørensen, M.T., Safayi, S., Sejrsen, K., 2008. Development of mammary glands of fat sheep submitted to restricted feeding during late pregnancy, Small Ruminant Research 76, 155-165.

Nowak R. Neonatal survival: contributions from behavioural studies in sheep. Appl Anim Behav Sci 1996;49:61-72.

O'Doherty, J.V., Crosby, T.F., 1996. The effect of diet in late pregnancy on progesterone concentration and colostrum yield in ewes, Theriogenology 46, 233-241.

Ramírez-Vera, S., Terrazas, A., Delgadillo, J.A., Serafín, N., Flores, J.A., Elizundia, J.M., Hernández, H., 2012. Feeding corn during the last 12 days of gestation improved colostrum production and neonatal activity in goats grazing subtropical semi-arid rangeland. Journal of Animal Science 90, 2362-2370.

Ramírez-Vera, S., Terrazas, A., Delgadillo, J.A., Flores, J.A., Serafín, N., Vielma, J., Duarte, G., Fernández, I.G., Fitz-Rodríguez, G., Hernández, H., 2012b. Inclusion of maize in the grazing diet of goats during the last 12 days of gestation reinforces the expression of maternal behaviour and selectivity during the sensitive period. Livestock Science 148, 52-59.

Rekik, M., Gonzalez-Bulnes, A., Lassoued, N., Ben Salem, H., Tounsi, A., Ben Salem, I., 2012. The cactus effect: an alternative to the lupin effect for increasing ovulation rate in sheep reared in semi-arid regions? Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 96, 242-249.

Rhind, S.M., Elston, D.A., Jones, J.R., Rees, M.E., McMillen, S.R., Gunn, R.G., 1998. Effects of restriction of growth and development of Brecon Cheviot ewe lambs on subsequent lifetime reproductive performance, Small Ruminant Research, 30, 121-126.

Rosa HJD, Bryant MJ. The 'ram effect' as a way of modifying the reproductive activity in the ewe. Small Rumin Res. 2002;45:1-16.

Rosales Nieto CA, Urrutia Morales J, Gámez Vazquez H, Díaz Gomez MO, Ramírez Andrade BM (2006). Influencia del nivel de alimentación de cabras criollas durante la estación reproductiva. Tecnica Pecuaria Mexico 44, 399–406.

Rosales Nieto, C.A., Gamez-Vazquez, H.G., Gudino-Reyes, J., Reyes-Ramirez, E.A., Eaton, M., Stanko, R.L., Meza-Herrera, C.A., Gonzalez-Bulnes, A., 2011. Nutritional and metabolic modulation of the male effect on the resumption of ovulatory activity in goats. Animal Production Science 51, 115-122.

Rosales Nieto CA, Ferguson MB, Macleay CA, Briegel JR, Martin GB, Thompson AN. Selection for superior growth advances the onset of puberty and increases reproductive performance in ewe lambs. Animal. 2013a; 7:990-997.

Rosales Nieto CA, Ferguson MB, Macleay CA, Briegel JR, Wood DA, Martin GB, Thompson AN. Ewe lambs with higher breeding values for growth achieve higher reproductive performance when mated at age 8 months. Theriogenology. 2013b; 80: 427-435.

Rosales Nieto, C.A., Thompson, A.N., Macleay, C.A., Briegel, J.R., Hedger, M.P., Ferguson, M.B., Martin, G.B., 2014. Relationships among body composition, circulating concentrations of leptin and follistatin, and the onset of puberty and fertility in young female sheep. Animal Reproduction Science 151, 148-156.

Rosales Nieto, C.A., Ferguson, M.B., Thompson, H., Briegel, J.R., Macleay, C.A., Martin, G.B., Thompson, A.N., 2015. Relationships among Puberty, Muscle and Fat, and Liveweight Gain during Mating in Young Female Sheep. Reproduction in Domestic Animals 50, 637-642.

Rosales Nieto, C.A., Meza-Herrera, C.A., Moron Cedillo F.J., Flores Najera M.J., Gamez Vazquez H.G., Cuevas Reyes, V., Liu S.M. 2015. Effects of vitamin E supply during late gestation and early lactation upon colostrum composition, milk production and quality in nutritional restricted ewes. Small Ruminant Research, *in press*

Rumball, C.W.H., Bloomfield, F.H., Oliver, M.H., Harding, J.E., 2009. Different Periods of Periconceptional Undernutrition Have Different Effects on Growth, Metabolic and Endocrine Status in Fetal Sheep, Pediatric Research, 66, 605-613.

Scales, G.H., Burton, R.N., Moss, R.A., 1986. Lamb mortality, birthweight, and nutrition in late pregnancy. New Zealand Journal of Agricultural Research 29, 75-82.

Scaramuzzi RJ, Baird DT, Campbell BK, Driancourt M-A, Dupont J, Fortune JE, et al. Regulation of folliculogenesis and the determination of ovulation rate in ruminants. Reprod Fertil Dev. 2011;23:444-67.

Schoeman SJ, de Wet R, Botha MA, van der Merwe CA. Comparative assessment of biological efficiency of crossbred lambs from two Composite lines and Dorper sheep. Small Rum Res. 1995; 16 61-67.

Ungerfeld R. Socio-sexual signalling and gonadal function: opportunities for reproductive management in domestic ruminants. In: Juengel JI, Murray JF, Smith MF, editors. Reproduction in domestic ruminants VI. Nottingham: Nottingham University Press; 2007. p. 207-21.

Velez Monroy L.I., Flores Najera M.J., Rosales Nieto C.A., Martin G.B. Sexually active male goats can induce ability to elicit the male effect in sexually inactive goats. *Livestock Science in process.*

Viñoles C., Forsberg M, Martin GB, Cajarville C, Repetto J, Meikle A. Short-term nutritional supplementation of ewes in low body condition affects follicle development due to an increase in glucose and metabolic hormones. Reproduction 2005;129:299-309.

Viñoles C, Meikle A, Martin GB, Short-term nutritional treatments grazing legumes or feeding concentrates increase prolificacy in Corriedale ewes. Anim Reprod Sci. 2009;113:82-92.

Viñoles C, Glover KMM, Paganoni BL, Milton JTB, Martin GB. Embryo losses in sheep during short-term nutritional supplementation. Reprod Fertil Dev. 2012;24:1040-47.

Vonnahme, K.A., Hess, B.W., Hansen, T.R., McCormick, R.J., Rule, D.C., Moss, G.E., Murdoch, W.J., Nijland, M.J., Skinner, D.C., Nathanielsz, P.W., Ford, S.P., 2003. Maternal undernutrition from early- to mid-gestation leads to growth retardation, cardiac ventricular hypertrophy, and increased liver weight in the fetal sheep, Biology of Reproduction 69, 133-140.

Wallace, J.M., Aitken, R.P., Cheyne, M.A., 1996. Nutrient partitioning and fetal growth in rapidly growing adolescent ewes, Journal of Reproduction and Fertility 107, 183-190.

Young, J.M., Trompf, J., Thompson, A.N., 2014. The critical control points for increasing reproductive performance can be used to inform research priorities. Animal Production Science 54, 645-655.

Zabuli, J., Tanaka, T., Lu, W., Kamomae, H., 2010. Intermittent nutritional stimulus by short-term treatment of high-energy diet promotes ovarian performance together with increases in blood levels of glucose and insulin in cycling goats. Animal Reproduction Science 122, 288-293.