

## Capítulo LXXXVI

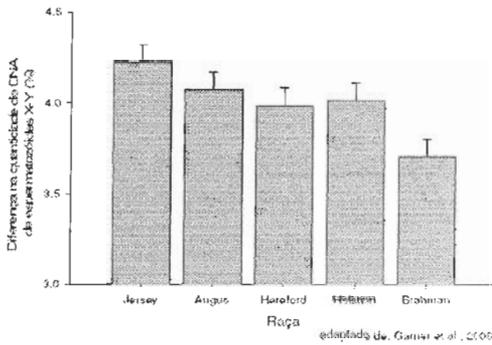
### **Semen sexado como herramienta de optimización de la producción pecuaria**

**Gustavo A. Toro Dupuy**

En la edición del 2008 de esta serie Doble Propósito dedicada al Desarrollo Sostenible para la Ganadería de Doble Propósito (Toro, 2008), se presentó un trabajo en el cual se explicaba la tecnología de producción del semen sexado, enfocando su aplicación hacia el área comercial de producción pecuaria. En el Capítulo de esta edición se repetirá y actualizará la parte científica para los lectores que no tuvieron la oportunidad de revisar la edición de este educativo libro. Así mismo, se hará una breve revisión de algunos aspectos de investigación que se llevan a cabo actualmente para mejorar la tecnología, aunque se dará un mayor énfasis en la aplicación comercial de esta tecnología y de cómo el productor pecuario debe entender esta herramienta para hacer más productiva su unidad de producción.

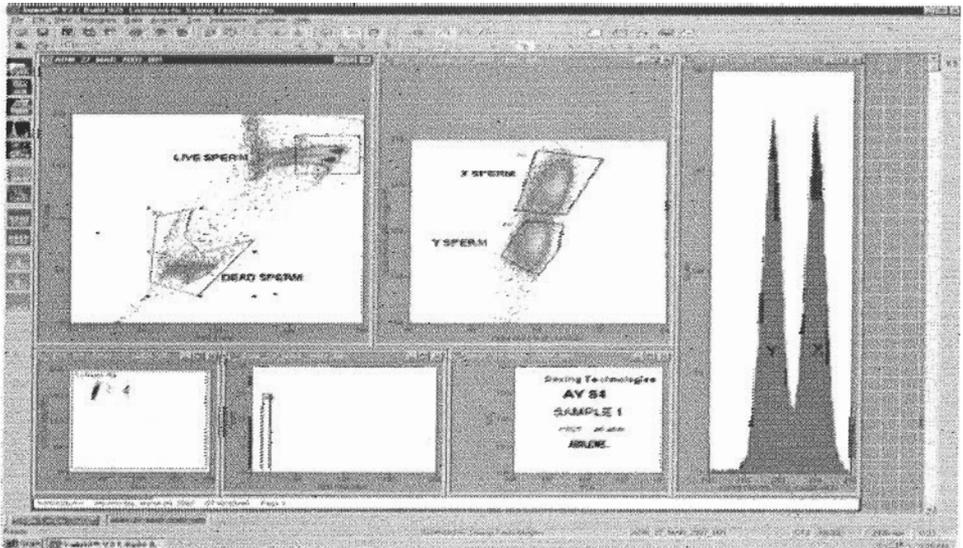
El semen sexado es una herramienta que incrementa la eficiencia de los programas reproductivos en rebaños lecheros (Weigel, 2004). La tecnología de separación de espermatozoides que portan los cromosomas X (femeninos) e Y (masculinos) es una realidad comercial que revolucionó la producción pecuaria mundial (DeVries, 2008). Hasta el momento, la manera más rápida, más segura y potencialmente más efectiva en costos para realizar el sexaje de semen es la utilización de citómetros o lectores de flujo o “flow cytometry” (Garner, 2006). El sexaje de semen se realiza en unos equipos llamados MoFlo™, las cuales son citómetros de flujo, es decir, lectores de células en movimiento, que en el caso de la tecnología de sexaje de semen son utilizadas para detectar y separar los dos tipos señalados de espermatozoides (Rens *et al.*, 1999). Esta tecnología hace posible la predicción del género de la progenie con una exactitud superior al 90% (Maxwell *et al.*, 2008).

El principio o fundamento de la tecnología se basa en la diferencia en el contenido de ADN existente entre los cromosomas X (femenino) o Y (masculino) (Hohenboken, 1999). En los bovinos, el cromosoma X tiene en promedio 3,8% más ADN que el cromosoma Y, la cual puede variar un poco según la raza, como se observa en la Figura 1 (adaptada de Garner *et al.*, 2006). Esta diferencia de material genético (ADN) entre las diferentes razas puede ser verificada en la eficiencia de los procedimientos de



**Figura 1. Diferencia entre razas bovinas de la cantidad de ADN en los espermatozoides X & Y.**

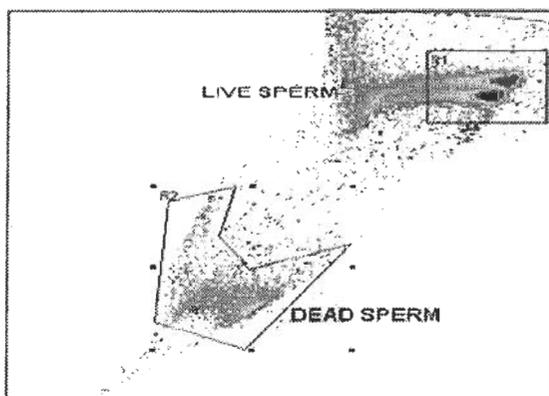
Una vez establecidas estas dos poblaciones de células, la máquina es programada para separarlas. El operador establece en la computadora las regiones a seleccionar y escoge si se separan células de machos y hembras o uno sólo de los dos géneros. Una vez establecidos estos parámetros, las células son evaluadas según su luminosidad, orientación y movilidad para establecer como serán separadas. El fluido se separa en gotas y dentro de cada gota hay una célula, estas células reciben una carga eléctrica dependiendo de su luminosidad (Figura 2). Al final del proceso existen unas placas imantadas, las cuales separan cargas positivas a un lado y negativas a otro dependiendo de la carga asignada a cada célula espermática. Las células que no reciben cargas son rechazadas, lo cual da como resultado una muestra de altísima pureza, ya que solo las células bien definidas con buena luminosidad y orientación son escogidas.



**Figura 2. Diagrama de captación de células durante el proceso de sexado.**

Sexing Technologies es la compañía que hizo del semen sexado una realidad comercial, primero como licenciante y en la actualidad como dueño de la propiedad intelectual, que hace posible esta maravilla tecnológica. Como ente principal de desarrollo de este producto y de sus diferentes aplicaciones en el campo de la reproducción animal, Sexing Technologies está constantemente haciendo investigaciones para optimizar el semen sexado y sus diferentes aplicaciones. Los dos principales aspectos en los que están centradas buena parte de las investigaciones son hacer el proceso más eficiente desde el punto de vista tecnológico y la manera de poder igualar los costos con el semen convencional. La diferencia de costo es básicamente por todo lo que implica el producir semen sexado; el precio se ha reducido drásticamente en los dos últimos años debido al aumento de producción lo que le da al producto una posición muy sólida en el mercado mundial del semen. En la actualidad, todos los grandes centros de producción de semen en el mundo tienen semen sexado dentro de sus productos. Desde el punto de vista del avance tecnológico actual, se progresa hacia la posibilidad de capturar más células del volumen original, de manera de producir más dosis de semen de cada eyaculado.

En la Figura 3, se puede apreciar dos poblaciones de espermatozoides, una superior que representa las células vivas (*live sperm*) y una inferior que representa las células muertas (*dead sperm*). Cada población de espermatozoides puede ser seleccionada mediante un sistema computarizado, el cual permite que el operador decida que células serán separadas. La selección en el cuadrante RI al extremo derecho de la población superior o de espermatozoides vivos, representa el segmento de células de mayor viabilidad y movimiento. Aquellas células que están fuera del recuadro no son capturadas ya que la máquina no logra diferenciarlas por no estar debidamente orientadas en el momento en que pasaron por el haz de luz del láser, aumentando la precisión en la selección de espermatozoides. Constantemente las investigaciones en física y electrónica permiten ir perfeccionando el método de sexaje mediante citometría de flujo para lograr capturar una mayor cantidad de estas células y de esa manera obtener mayor provecho del eyaculado del toro y por ende, disminución de los costos.



**Figura 3. Diagrama de selección de células espermáticas durante el proceso de sexado.**

Otro aspecto que está en constante investigación tiene que ver con la posibilidad de mejorar los índices de concepción o fertilidad del semen sexado. La mayoría de los resultados de campo indican que el semen sexado presenta 15% menos probabilidad de fertilidad a la obtenida con semen convencional bajo las mismas condiciones. Es importante destacar que se ha documentado en algunos estudios que la mayor diferencia de concepción es por efecto de toros específicos y de otros aspectos gerenciales

más que por la incidencia específica del semen sexado como producto. En los Cuadros 1, 2 y 3 se muestra algunas experiencias obtenidas con el uso del semen sexado en Venezuela, mientras que en las Figuras 4 y 5 se muestran algunos resultados de trabajos realizados en Brasil.

**Cuadro 1**  
**Comparación de algunos parámetros de fertilidad en ganado Cebú en los llanos venezolanos con el uso de semen sexado y convencional.**

Semen	Ubicación	año	inseminadas	# serv	Preñez	Preñ/insem	Serv/concep
Convencional	Guárico	1	621	805	507	81,6	1,6
		2	610	758	468	76,7	1,6
	Cojedes	1	42	43	35	83,3	1,2
	Cojedes	1	394	635	390	99,0	1,6
	Apure	1	435	575	308	70,8	1,9
<b>TOTAL</b>			<b>2102</b>	<b>2816</b>	<b>1708</b>	<b>81,3</b>	<b>1,6</b>
Sexado	Guárico	1	41	57	38	92,7	1,5
		2	67	95	50	74,6	1,9
	Cojedes	1	134	134	89	66,4	1,5
	Cojedes	1	3028	5216	2245	74,1	2,3
	Apure	1	107	143	60	56,1	1,8
<b>TOTAL</b>			<b>3377</b>	<b>5645</b>	<b>2482</b>	<b>73,5</b>	<b>2,3</b>

Adaptado de Camaripano (2009).

En la producción de semen convencional se ha determinado que muchos aspectos de la calidad del semen son compensados con el volumen. Saacke habla de aspectos morfológicos compensables y no compensables, destacando los problemas morfológicos que se pueden o no compensar con mas células (Saacke *et al.*, 2008). Como se puede observar en Figura 6, existen toros que incrementan la concepción al aumentar la concentración de la dosis, mientras que en otros toros no se encuentra diferencia significativa al aumentar la concentración, por lo menos en cantidades comercialmente viables.

No es necesario profundizar en estos aspectos, pero si es importante resaltar que en caso que los problemas morfológicos de un eyaculado sean compensables, la fertilidad será mayor al incrementar el número de espermatozoides por dosis, lo cual no será así si el problema no es compensable. El aumento del número de células es una opción poco viable en el caso del semen sexado por el costo que esto implica. Sin embargo, se hará una breve reseña de algunos estudios que se están desarrollando en Sexing Technologies en relación con los avances que existen en el estudio de las características espermáticas que tienen que ver con la fragmentación del ADN. Clara Gonzalez, investigadora de Sexing Technologies, lo describe diciendo que cada eyaculado presenta unos índices de fragmentación de ADN determinados en el momento de su extracción. Estos valores, lejos de ser estáticos, presentan un incremento a lo largo del tiempo transcurrido tras la eyaculación. En el toro, se ha demostrado que los niveles

**Cuadro 2**

**Comparación de la fertilidad del semen sexado de diferentes toros Holstein utilizados en vacas Brahman en los llanos venezolanos**

<b>Toro</b>	<b>inseminadas</b>	<b># serv</b>	<b>Preñez</b>	<b>% Preñ/Ins</b>	<b>Serv/concep</b>
1	110	127	66	60,0	1,9
2	324	594	302	93,2	2,0
3	30	30	14	46,7	2,1
4	285	333	155	54,4	2,1
5	81	110	51	63,0	2,2
6	45	48	22	48,9	2,2
7	264	269	120	45,5	2,2
8	79	110	49	62,0	2,2
9	578	831	340	58,8	2,4
10	17	18	7	41,2	2,6
11	499	632	239	47,9	2,6
12	159	281	106	66,7	2,7
13	14	16	6	42,9	2,7
14	260	499	159	61,2	3,1
15	160	302	72	45,0	4,2
16	172	249	59	34,3	4,2
17	76	76	18	23,7	4,2
<b>TOTAL</b>	<b>3153</b>	<b>4525</b>	<b>1785</b>	<b>56,6</b>	<b>2,5</b>

Adaptado de Camaripano (2009).

**Cuadro 3**

**Comparación de la fertilidad entre inseminadores en vacas Brahman inseminadas en los llanos venezolanos con semen sexado de toros Holstein**

<b>Inseminador</b>	<b>inseminadas</b>	<b># serv</b>	<b>Preñez</b>	<b>% Preñ/Inse</b>	<b>Serv/concep</b>
1	134	134	89	66,4	1,5
2	541	774	386	71,3	2,0
3	1064	1614	756	71,1	2,1
4	530	709	302	57,0	2,3
5	437	609	236	54,0	2,6
6	407	597	197	48,4	3,0
7	451	575	181	40,1	3,2
<b>TOTAL</b>	<b>3430</b>	<b>4878</b>	<b>2058</b>	<b>60,0</b>	<b>2.4</b>

Adaptado de Camaripano (2009).

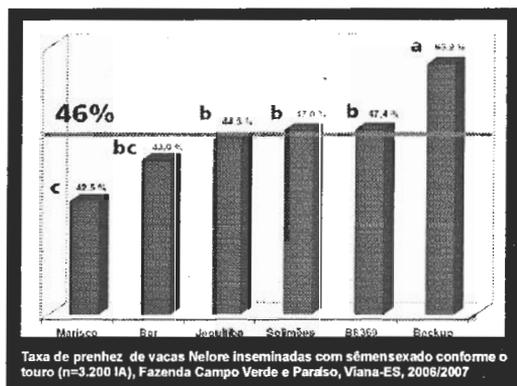


Figura 4. Tasa de fertilidad de vacas Nelore inseminadas con semen sexado de acuerdo con el toro (n=3200 IA) (adaptado de Baruselli, 2007).

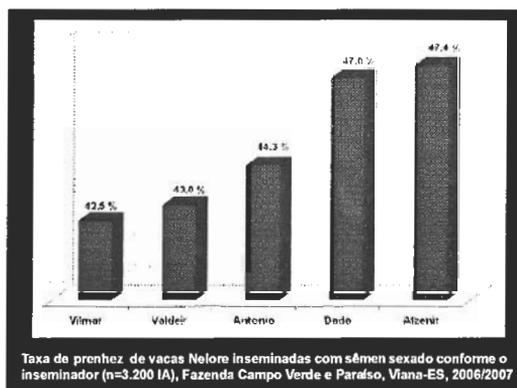


Figura 5. Tasa de fertilidad de vacas Nelore inseminadas con semen sexado según el inseminador (n=3200 IA) (adaptado de Baruselli, 2007).

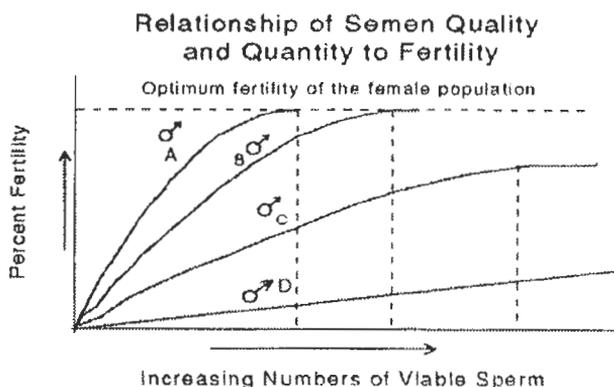


Figura 6. Relación entre tasa de preñez y número de espermatozoides inseminados. El semen de diferentes toros varía en la máxima fertilidad conseguida al aumentar la dosis de espermatozoides (Adaptado de Saacke, 2008).

basales de fragmentación del ADN espermático se localizan entre el 2 y el 5%. La fertilidad de un individuo se reduce de manera progresiva cuando el número de espermatozoides con ADN fragmentado alcanza el 15-20% (Gonzalez, 2011). Esta fragmentación de ADN es especialmente interesante, ya que puede ser la causa de los problemas de fertilidad en algunos toros, a pesar que ellos presentan niveles normales para todos los demás aspectos morfológicos a la evaluación rutinaria de la calidad del semen, sin embargo, su índice de concepción es bajo.

Las ventajas de poder predecir el sexo de las futuras crías son innumerables desde todo punto de vista y los análisis económicos reflejan esta realidad (Fetrow *et al.*, 2007). El hecho de tomar la decisión de aprovechar la ventaja competitiva de utilizar semen sexado es una situación única para cada unidad de producción, ya que solo el productor conoce sus necesidades y las condiciones particulares sobre las cuales pueda realizar los análisis respectivos. Se han señalado varias herramientas diseñadas para que el productor inserte sus números y realice los cálculos generales que le permiten conocer el retorno de la inversión que le proporciona el utilizar semen sexado *versus* semen convencional. Incluso, algunas de estas herramientas están diseñadas para comparar semen sexado *versus* monta natural (Cuadro 4). En líneas generales, se recomienda que el semen sexado debería ser solo utilizado por las unidades de producción que tengan un buen programa de inseminación artificial, que funcione con eficiencia y con óptima fertilidad. La vaca debe ser vista como la unidad de producción dentro de una fábrica; ella puede producir diferentes productos por lo que se debe optimizar esa unidad produciendo el producto más rentable (Dustin, 2009).

Basado en este principio, las ganaderías deben orientar sus cruzamientos hacia la producción de ese animal para obtener un mayor retorno a la inversión. Por otro lado, la genética como componente de producción es un insumo económico al evaluar el retorno a la inversión que esta representa cuando es bien utilizada. En las unidades de producción, tanto de carne como de leche en los Estados Unidos, se ha visto que en casos donde exista una diferencia de por lo menos el 20% entre el macho y la hembra, el semen sexado tiene un alto retorno a la inversión al producir más del producto de mayor valor. El cuadro 4, refleja la realidad de las mayorías de las explotaciones en las que un género es más rentable que el otro. En la mayoría de los sistemas de producción, el semen utilizado para preñar una vaca por inseminación artificial representa solo entre 3 y 6% del valor final de producir ese ternero y sin duda, representará un animal con mejores rendimientos de producción. Ese 6% de inversión en el programa de inseminación con semen sexado puede representar hasta un 120% de retorno a la inversión dependiendo de la diferencia de precio entre el macho y la hembra. Visto desde un punto de vista más sencillo, el productor deberá analizar cuál es el costo de producir este animal superior, cual es el precio de venta y de esa manera determinar si es rentable la utilización de estas nuevas tecnologías.

En la toma de decisiones se utilizaron valores de mercado suministrados por productores venezolanos para tratar de analizar la utilización de semen sexado. Los resultados no reflejan la realidad de la producción de hembras de reemplazo en Venezuela debido a que los costos de producción no fueron actualizados; solo las variables más básicas fueron cambiadas para realizar este rápido análisis (Cuadro 4).

## Cuadro 4

### Resumen de medición de indicadores de desempeño y ventajas de semen sexado



#### Resumen de Medición de Indicadores de Desempeño y Ventajas de Semen Sexado

##### Título de la Actividad de Producción

**Brahman o Novillas Mestizas Servidas con Toros Lecheros**

**Alto porcentaje de novillas**

Descripción de Actividades de Servicio	Costo de servicio por Vaca Expuesta		Novilla \$195
	Costo Semen	Costo Total	
IA convencional con toro de repaso	\$20	\$61.00	
Utiliza semen sexado con toro de repaso	\$35	\$76.00	
Costo Total de Servicio Natural -toro de repaso		\$55.09	
	Genero Seleccionado Por cabeza		
	Exactitud Selección de Sexo		87%
	Convencional IA		Semen Sexado
<b>Resumen</b>			
Porcentaje de Prefñez		88%	88%
Porcentaje de Terneros Destetados por Hembra Expuesta		79%	80%
<b>Genero</b>			
Toro/Novillo		50%	30%
Hembra		50%	70%
<b>Costo Total servicio de IA y toros de repazo \$/hembra expuesta</b>		<b>\$86</b>	<b>\$105</b>
Costo de servicio como porcentaje del costo promedio del ternero		15%	17%
Costo del Semen como porcentaje del costo de servicio		23%	33%
Costo del Semen como porcentaje del costo promedio del ternero		4%	6%
<b>Valor Promedio del Ternero por Hembra Expuesta</b>		<b>\$569</b>	<b>\$612</b>
Toro/Novillo Valor Promedio por Cabeza		\$627	\$627
Toro/Novillo Premium (Descuento) Sobre Mercado		(\$33)	(\$33)
Novilla Valor Promedio por Cabeza		\$822	\$822
Novilla Premium (Descuento) Sobre Mercado		\$250	\$250
			<b>\$187</b>
Margen por Hembra Expuesta*		\$483	\$507
<b>Margen de Ventaja del Semen Sexado por Hembra Expuesta *</b>			<b>\$23</b>
			Diferencia
	Cambio en Costo	Cambio en Margen	Cambio Total
<b>Ventaja Semen Sexado sobre IA Convencional Por Vaca Expuesta</b>	<b>\$20</b>	<b>\$43</b>	<b>\$23</b>
<b>Ventaja en el Rebaño</b>			<b>\$2,346</b>
<b>Retorno a la Inversion en Costo de Servicio - RI en Costo Añadido</b>			<b>120%</b>

Dado que estos valores no actualizados se mantuvieron para ambos panoramas, es posible señalar que es válida la comparación entre utilizar semen convencional y sexado. Para este análisis se utilizó semen convencional importado a Bs. 100, semen Sexado a Bs. 300, valor del macho al destete a Bs 6/kg y hembra a Bs 4,5 /kg; además se asignó un valor de plusvalía de Bs. 2 420 a la hembra producto de inseminación artificial y Bs. 2 000 de plusvalía a la hembra producto de repaso con monta natural. Con estos valores, es posible calcular un retorno a la inversión de 123% atribuible a la utilización de semen sexado, lo cual es muy similar a otras situaciones de producción de hembras de reemplazo como producto de más alto valor en otros países.

Una de las interpretaciones más claras de esta tecnología la tiene el Dr. James McGrann, economista agrícola, profesor emérito de la universidad Texas A&M. El Dr. McGrann desarrollo las herramientas de toma de decisiones y basado en sus cálculos es posible tener muy claro el valor agregado del semen sexado como herramienta de optimización de producción. Para el Dr. McGrann es tan sencillo como que “toda persona que insemine debe preguntarse ¿por qué no inseminé con semen sexado?”; su opinión está fundamentada en una base de datos y en una experiencia de conocida trayectoria. La gran disyuntiva es la disminución de la tasa de fertilidad, que él dice “la compensa con el repaso con toro”; el costo extra del semen lo ve como un componente más de la ecuación. Este investigador parte de un principio básico, en el cual establece que el semen sexado es un insumo que representa un bajo porcentaje del valor final del producto y que se paga con un alto retorno a la inversión.

## **CONCLUSIONES**

La utilización de semen sexado ha probado ser una herramienta que incrementa la productividad de las unidades de producción que están en capacidad de adoptar esta tecnología. Es necesario entender los pormenores que implica su utilización y es labor del productor analizar si es una propuesta rentable para su rebaño. La utilización de semen sexado de razas lecheras para el incremento de los rebaños de mejor producción, así como para el cruzamiento de la vacas cebuínas constituye un programa que parece ser viable para aumentar la productividad y eliminar el carácter cíclico de la producción de leche. En el rubro carne la utilización de la tecnología debe estar orientada a aumentar la productividad y a uniformizar el producto, lo cual incrementará el acceso a los mercados de más alto valor. Estos programas ayudaran a aumentar la tasa de extracción que al final de cuentas es una medición muy acertada de la productividad que el aparato productivo pecuario puede alcanzar. Para esto se estaría utilizando la capacidad instalada del país para preñar animales por inseminación artificial, con lo cual se siguen los lineamientos recomendados por los expertos en los cuales solo las personas con experiencia en esta tecnología deben ser quienes se aboquen a la utilización de semen sexado.

En ganadería cualquier decisión toma tiempo para rendir frutos. A partir del momento que se inseminen las vacas transcurren alrededor de 36 meses para estar ordeñando a esos animales superiores en producción de leche y por lo menos 27 meses para estar beneficiando a esos animales más precoces y de mejor características de canal. Por esta razón, es prioritario tomar decisiones lo antes posible de manera de poder establecer los proyectos que incrementarán la productividad del rebaño nacional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baruselli PS. 2007. Semen Sexado: imseminação artificial e transferência de embriões. XVII Congreso Brasileiro de Reprodução Animal, 30 maio-02 junio 2007, Curitiba, PR.
- Camaripano L. 2009. Uso del semen sexado, mito o realidad. *Venezuela Bovina*. Oct. 2009.
- DeVries P. 2008. The use of Sexed Semen. In, 57th Annual Hoard's Dairyman Round Table. Issue January 25, Page 55-58.
- Dustin D. 2009. The Dairy Herd as a Diversification Factory. *Hoard's Dairyman*.
- Fetrow J, Overton M, Eicker S. 2007. Sexed semen: economics of a new technology. *Bovine Practitioner* 41:88-99.
- Garner DL. 2006. Flow cytometric sexing of mammalian sperm. *Theriogenology* 52:1421-1433.
- Gonzalez C. 2011. Notas de Trabajo. Sexing Technologies.
- Hohenboken WD. 1999. Applications of sexed semen in cattle production. *Theriogenology* 52:1421-1433.
- Maxwell WMC, Evans G, Hollinshead FK, Bathgate R, de Graaf SP, Eriksson BM, Gillian L, Morton KM, O'Brien JK. 2004. Integration of sperm sexing technology into the ART toolbox. *Anim Reprod Sci* 82-83:79-95.
- McGrann Jim. 2009. Memorias Giras Tecnicas FEDEGAN. Colombia.
- Rens W, Welch GR, Johnson A, Lawrence A. 1999. Improved flow cytometric sorting of X- and Y-chromosome bearing sperm: substantial increase in yield of sexed semen. *Molec Reprod Dev* 52 (1): 50-56.
- Saacke RG, Walters AH, Acevedo N. 2008. Proc 22nd Tech Conf Artif Insem & Reprod.
- Toro G. 2008. Semen sexado. Una revolución en la Industria Ganadera Mundial. En, Desarrollo Sostenible de la Ganadería Doble Propósito. C González-Stagnaro, N Madrid-Bury, E Soto-Belloso (eds). Fundación GIRARZ. Edic Astro Data S.A. Maracaibo, Venezuela LIX-A (7): 722-728.
- Weigel KA. 2004. Exploring the role of sexed semen in dairy production systems. *J Dairy Sci* 87 (E Suppl.):120-130.