

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE ZOOTECNIA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



**“IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL USO DE
SEMEN SEXADO NACIONAL EN LA GANADERÍA
BOVINA DEL PERÚ”**

Trabajo Monográfico para Optar el Título de

INGENIERO ZOOTECNISTA

PABLO ESLAVA PARRA

Lima - Perú

2014

A mis padres que me enseñaron con el ejemplo, el valor del trabajo y el esfuerzo para alcanzar las metas sin importar cual difíciles o lejanas parezcan.

A mi esposa, quien con amor y paciencia me motiva a superarme y exigirme más, para ser cada día mejor persona.

AGRADECIMIENTO

A la UNALM quien moldeó mi vida a través de grandes maestros y me brindó amigos para toda la vida.

Al Ing. José Almeyda Matías por su apoyo y confianza para la elaboración de este trabajo.

ÍNDICE

	PÁGINA
RESUMEN	8
I. INTRODUCCIÓN	9
II. IMPORTANCIA DE LA GANADERÍA BOVINA EN EL PERÚ	10
2.1 Nutrición y seguridad alimentaria	10
2.2 Aporte económico del sector al PBI	11
2.3 Fuente de ingresos del poblador rural y su rol en el desarrollo económico de la región	12
2.3.1 La industria artesanal	12
2.3.2 La gran industria	13
III. SITUACIÓN ACTUAL DE LA GANADERÍA BOVINA EN EL PERÚ	15
3.1 Niveles de explotación de la ganadería bovina en el Perú	15
3.2 Problemática de la producción lechera en el Perú	16
3.2.1 Situación actual	16
3.2.2 Manejo reproductivo y mejoramiento genético	18
1. Costa y cuencas lecheras especializadas (Lima, Arequipa y Cajamarca)	18
2. Sierra	18
3. Selva	21
IV. LA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL COMO MECANISMO DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO	24
4.1 Ventajas del uso de la inseminación artificial	24
4.2 Desventajas del uso de la inseminación artificial	26
V. SEXADO DE SEMEN BOVINO MEDIANTE CITOMETRÍA DE FLUJO	27
5.1 Fundamentos técnicos	27
5.2 Beneficios del uso de semen sexado	32
5.3 Desventajas del uso de semen sexado por citometría de flujo	33
5.4 Recomendaciones del uso de semen sexado por citometría de flujo	35
VI. INVERSIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CITOMETRÍA DE FLUJO PARA EL SEXADO DE SEMEN DE TOROS JÓVENES EN EL PERÚ	37
6.1 Inversiones en maquinaria y derechos de uso	37
VII. CONCLUSIONES	40
VIII. RECOMENDACIONES	41
IX. BIBLIOGRAFÍA	42

ÍNDICE DE CUADROS

NÚMERO		PÁGINA
1	Perú: Indicadores de desnutrición entre menores de cinco años de edad, según ámbito geográfico, 2013 (Patrón NCHS/CDC/OMS) (Porcentaje)	11
2	Valor de la Producción Agropecuaria, según subsectores (Millones de nuevos soles a precios 1994)	12
3	Distribución por departamentos de las pajillas del banco nacional de semen	38

ÍNDICE DE GRÁFICOS

NÚMERO		PÁGINA
1	Distribución de la producción nacional de leche	14
2	Proceso de sexado mediante citometría de flujo	32
3	Distribución de las pajillas del banco nacional de semen	38

ÍNDICE DE FOTOS

NÚMERO		PÁGINA
1	Vaca de raza Holstein en establo de la costa	19
2	Ganado vacuno de raza Brown Swiss y criollo en la sierra peruana	19
3	Ganado vacuno de raza criolla para labranza como yunta en la sierra	20
4	Feria ganadera en la sierra	20
5	La ganadería es fuente de ingresos para el poblador rural	23
6	Ganadería cebuína en la selva	23
7	Práctica de la técnica de inseminación artificial	25
8	¿Qué hacer con tantos terneros?	25
9	Citómetro de flujo	29
10	Proceso de sexado de semen mediante citometría de flujo	29

RESUMEN

El uso de semen sexado proveniente de toros nacionales del Banco Nacional de Semen de la Universidad Nacional Agraria La Molina, podría ser una posibilidad, dependiendo de las condiciones técnicas, sociales y económicas.

La citometría de flujo, es una técnica que consiste en medir las características de dispersión de luz y fluorescencia, que poseen las células conforme se las hace pasar a través de un rayo de luz. Es mediante esta técnica, que es posible separar a los espermatozoides X e Y, a través de un citómetro de flujo a partir de su diferencia en la cantidad de ADN, que para el caso del ganado bovino es de 3,8% a favor de los espermatozoides X. Con esta tecnología podemos obtener semen con un 85% de espermatozoides X como mínimo. Este proceso es largo y costoso y sólo se recupera el 20% del total de espermatozoides iniciales por lo que la concentración espermática de las pajillas de semen sexado, bordea los 2 millones en cada dosis.

Un punto importante que no favorece el uso masivo de semen sexado, es la baja en la fertilidad. Siguiendo la evaluación de más de 16 000 inseminaciones en los Estados Unidos de América, al primer servicio; la tasa de concepción en más de 100 hatos fue de 44%, comparado con la base de inicio del 60% para semen convencional. Esto quiere decir, que su uso está recomendado en vaquillas y al uso de toros con prueba de facilidad al parto.

I. INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina, es una actividad prioritaria para el poblador rural del Perú, siendo fuente de ingresos, alimento, ahorro y tracción para labores agrícolas en muchas comunidades campesinas del interior del país. Por lo tanto, la implementación de nuevas tecnologías viables, a favor del desarrollo y que contribuya a mejorar la competitividad del sector, tendrán un alto impacto en la economía y modus vivendis de gran parte de la población rural, siendo éste un motor de desarrollo económico.

El desarrollo de la ganadería bovina nacional, debe enmarcarse en un plan de mejoramiento integral liderado por el gobierno y apoyado por la empresa privada, enfocado en la productividad y competitividad del sector, teniendo en cuenta la justicia social, equidad, respetando la interculturalidad existente en nuestro país y el medio ambiente.

Dentro de las herramientas disponibles para la reproducción animal, la inseminación artificial ha demostrado ser la que ofrece mayor impacto en el desarrollo de la ganadería, debido a que es la más difundida por requerir de menor inversión, tecnología media y es fácilmente replicable en distintas condiciones.

Los objetivos principales del trabajo son:

1. Analizar la viabilidad técnica y económica del posible uso de semen sexado de toros nacionales provenientes del Banco Nacional de Semen.
2. Evaluar el efecto económico de uso de semen sexado nacional en el sector.

El trabajo que se presenta a continuación, contiene información sobre los fundamentos generales de la citometría de flujo, así como la problemática actual que vive el sector ganadero bovino del Perú y establece estrategias del uso de semen sexado, diferenciada por tipo de producción acorde a la situación actual, buscando elaborar una propuesta integral basada en los posibles beneficios del uso de esta tecnología, para lograr el desarrollo productivo del sector.

II. IMPORTANCIA DE LA GANADERÍA BOVINA EN EL PERÚ

2.1 Nutrición y seguridad alimentaria

Desde sus orígenes el fundamento u objetivo principal de la ganadería, es la de proveernos de alimento, siendo ésta una actividad ligada desde tiempos inmemorables con el poblador rural, encontrándose de esta manera un nexo natural entre la ganadería con la seguridad alimentaria y nutrición del ser humano.

El consumo per cápita de leche en el mundo, varía según los tipos de economía y regiones del mundo, así el consumo promedio de países desarrollados bordea los 205 kg/hab./año; en cambio, en los países en desarrollo el consumo promedio solo alcanza 37 kg; situación que aparentemente en los últimos años mediante campañas mundiales se está revertiendo, pero todavía la diferencia es aún amplia. El consumo de leche en países de la región andina bordea los 88 litros, mientras que el recomendado por la FAO, asciende a 120 kg por habitante al año. Para el Perú el consumo per-cápita bordea los 47.7 litros (FAO 2011).

Según la FAO para el año 2011 el consumo de carne de vacuno en el Perú es uno de los más bajos en la región con 4,2 kg/hab/año muy distante al consumo de Argentina con 54,9 kg o Brasil 39,1 kg y si analizamos países andinos como Ecuador y Colombia que presentan un consumo cercano a los 17 kg, nos damos cuenta que aún nos falta un gran trecho por recorrer.

Estudios realizados reportan niveles de desnutrición crónica sobre el 25% de la población rural de niños menores de 5 años y a nivel nacional este porcentaje alcanza un alarmante 13,1% (Cuadro 1).

Si se quiere mejorar la nutrición de nuestra población, es fundamental fortalecer los sectores productivos primarios, dentro de lo cual se debe hacer esfuerzos en desarrollar un sector ganadero bovino lo suficientemente productivo y competitivo para frenar y mejorar esta alarmante realidad.

2.2 Aporte económico del sector al PBI

En el Perú, el sector pecuario es un sector importante, aporta el 41% del PBI agropecuario (MINAG 2014), y dentro de este, el sector ganadero lechero aporta el 4%. (Cuadro 2) Es importante mencionar que se estima que la ganadería, es una actividad a la cual se dedica más del 70% de los hogares rurales presentes en el Perú. Sin embargo, presenta debilidades que lo hacen vulnerable a los retos del entorno, como la globalización y no le permiten aprovechar las oportunidades que se van generando, debido a su baja competitividad y rentabilidad.

Cuadro 1. Perú: Indicadores de desnutrición entre menores de cinco años de edad, según ámbito geográfico, 2013 (Patrón NCHS/CDC/OMS) (Porcentaje)

Ámbito geográfico	Con desnutrición crónica (Talla para la edad)	
	Severa 1/	Total 2/
Área de residencia		
Urbana	0.8	7.1
Rural	4.8	25.3
Región natural		
Lima Metropolitana	0.2	2.2
Resto Costa	1.3	8.2
Sierra	4.0	23.2
Selva	2.7	17.8
Total 2013	2.1	13.1
Total 2009	3.8	18.3

1/ Niñas y niños que están por debajo de -3 DE de la media.

2/ Niñas y niños que están por debajo de -2 DE de la media.

Fuente: MINAG 2014

**Cuadro 2. Valor de la Producción Agropecuaria, según subsectores
(Millones de nuevos soles a precios 1994)**

Sector/Subsector	Enero-diciembre		Var. %
	2012 ^{P/}	2013 ^{P/}	
SECTOR AGROPECUARIO	22,444.337	22,938.476	2.20
Subsector Agrícola	13,201.027	13,438.767	1.80
Consumo humar	7,128.572	7,508.580	5.33
Consumo industri	3,409.679	3,140.564	-7.89
Pastos cultivado	1,109.256	1,151.822	3.84
Otros	1,553.520	1,637.801	5.43
Subsector Pecuario	9,243.310	9,499.709	2.77
Carne	7,304.530	7,470.532	2.27
Huevo	659.445	734.555	11.39
Leche	909.273	923.623	1.58
Fibra	54.201	50.138	-7.50
Lana	43.400	40.841	-5.90
Otros	272.462	280.020	2.77

^{P/} Preliminar

Elaboración: Ministerio de Agricultura y Riego - Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos

Fuente: MINAG 2014

2.3 Fuente de ingresos del poblador rural y su rol en el desarrollo económico de la región

La actividad ganadera, es una fuente directa de ingresos al poblador rural y juega un papel fundamental en su calidad de vida. Estos ingresos provienen de la venta directa de leche cruda, productos lácteos artesanales o animales en pie, que normalmente se efectúan en las ferias dominicales al interior del país, y dinamizan la economía de la región, ya que se fomenta el comercio y otras actividades conexas.

La producción láctea en el Perú se distribuye de la siguiente manera:

2.3.1 La industria artesanal

Aproximadamente el 35 % de la producción nacional de leche fresca cruda, se destina a la Industria Artesanal y al autoconsumo humano directo, el producto principal de esta Industria son principalmente los derivados lácteos, siendo el queso fresco el que alcanza volúmenes importantes. La región de Lima es el principal destino de la agroindustria artesanal, en

donde cerca del 50% de los quesos que se consumen son artesanales y provienen de diferentes regiones del país. El consumo de leche para ternera es aproximadamente el 12% de la producción nacional. (Cuadro 3)

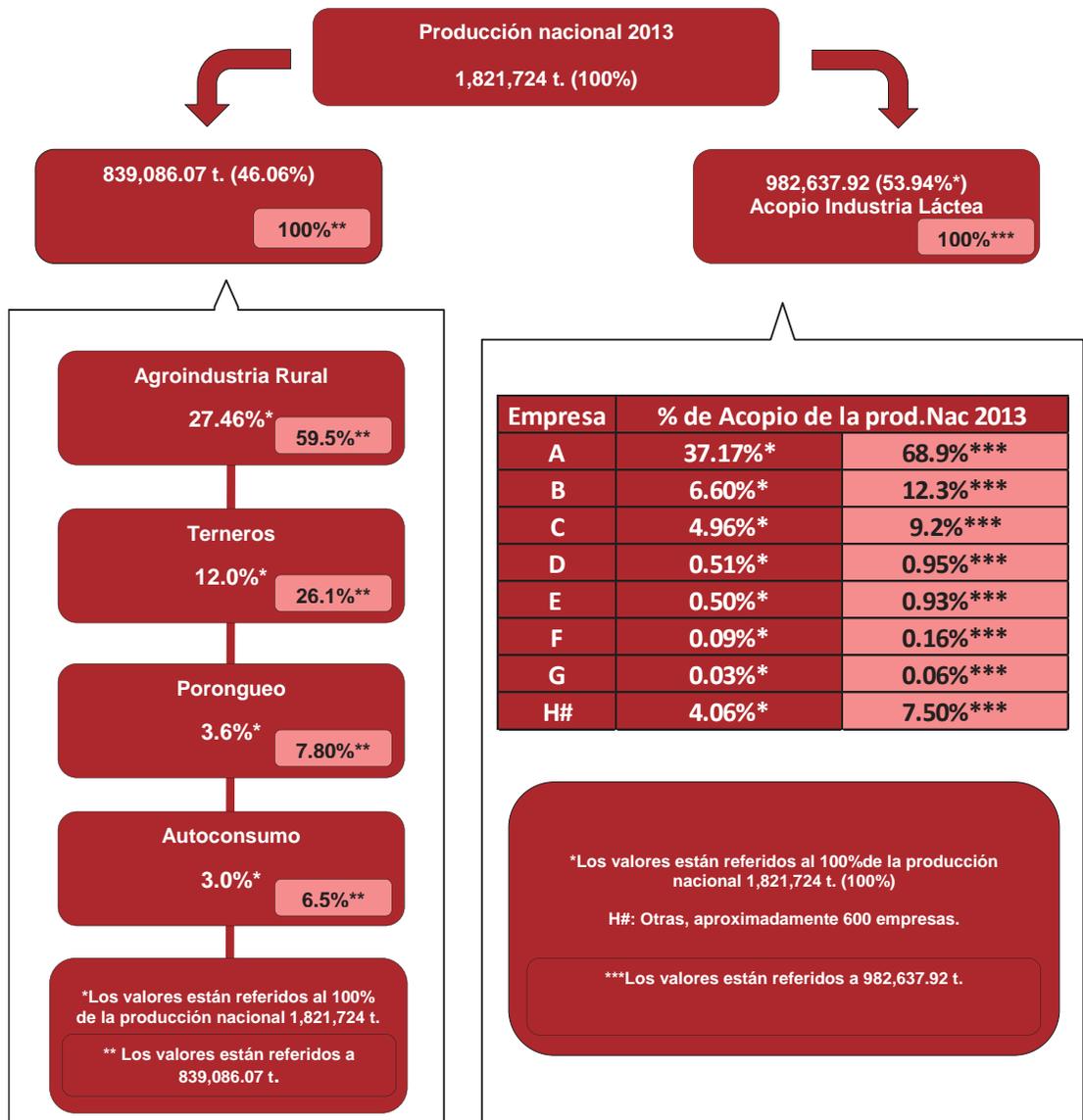
2.3.2 La gran industria

La componen principalmente tres empresas privadas reconocidas: Gloria, Nestlé y Laive, de las cuales la empresa Gloria S.A. es quien acopia el mayor porcentaje de la leche fresca nacional destinada para la industria. (Cuadro 3).

Esta Industria está integrada verticalmente desde el acopio de la leche y en algunos casos desde la misma obtención hasta el procesamiento en planta. Esta industria se encuentra ubicada principalmente en las cuencas de Lima, Arequipa y Cajamarca.

El producto principal de la Industria es la leche evaporada. También se produce diferentes productos con valor agregado como yogures, quesos frescos y madurados, mantequilla y manjar blanco, existiendo entre las empresas una cierta especialización.

Cuadro 3. Distribución de la producción nacional de leche



Fuente: MINAG 2014

III. SITUACIÓN ACTUAL DE LA GANADERÍA BOVINA EN EL PERÚ

3.1 Niveles de explotación de la ganadería bovina en el Perú

Independientemente de la orientación de la producción (leche, carne, doble propósito) podemos diferenciar tres niveles de explotación ganadera bovina en nuestro país:

3.1.1 Ganadería comercial (Costa principalmente).

Se caracteriza por crianzas modernas intensivas con ganado de raza especializado en la producción de leche, manejando aproximadamente el 9% de la población de vacunos y aplican tecnología avanzada, por lo que tienen índices productivos por encima del promedio nacional: 250 kg de carcasa en vacunos y 7,300 lt de leche por campaña (MINAG 2006). Los productores tienen un buen nivel de educación y disponen de acceso a algún tipo de crédito y a información, pertenecen a alguna organización de productores. Tienen una vinculación desarrollada con el mercado. Aquí se encuentran el engorde de vacuno y ganaderos lecheros, principalmente de costa.

3.1.2 Pequeña y mediana ganadería (Costa, Sierra y Selva).

Estas son explotaciones semi intensivas y extensivas, con ganado criollo mejorado, estos productores manejan aproximadamente el 34% de la población de vacunos y utilizan tecnología media a baja, puede encontrarse índices productivos como 140 kg de carcasa en vacunos y 2300 lt por campaña de leche (MINAG 2006). Representan un alto porcentaje de la población rural, los productores son pobres y su nivel de educación es intermedio, no tienen acceso al crédito formal, carecen de un sistema de información y se encuentran débilmente organizados. Tienen una vinculación semi-desarrollada con el mercado, su producción está principalmente orientada al mercado regional. Aquí se encuentran los pequeños ganaderos lecheros y la ganadería extensiva vacuna.

3.1.3 Ganadería de familias campesinas con producción de subsistencia (Costa, Sierra y Selva).

Actividad de productores que poseen pocas cabezas de ganado criollo, manejan el 57% de la población vacuna, poseen parcelas muy pequeñas y bajo nivel tecnológico; en este tipo de producción encontramos índices productivos de 120 kg de carcasa en vacunos y 700 kg por campaña productiva de leche, que se complementa con la agricultura, en un sistema familiar (MINAG 2006).

Campesinos de educación muy limitada, sin organización gremial, cuya forma principal de organización es territorial, con altos indicadores de pobreza y extrema pobreza. Tienen una débil articulación con el mercado y desarrollan estrategias de autoconsumo en su producción. En este tercer tipo de ganadería están la gran mayoría de los productores y representan el 70% de los productores a nivel nacional. Forman parte de este tipo de ganadería, la gran mayoría de comunidades campesinas y criadores de ganado criollo vacuno.

3.2 Problemática de la producción lechera en el Perú

3.2.1 Situación actual

Nuestra ganadería se desarrolla a nivel de las tres regiones naturales del país: costa, sierra y selva, aplicando tecnologías y modos de producción, de acuerdo a las características geográficas y altitudinales donde se desarrolla esta actividad.

La característica predominante es la crianza a nivel del minifundio, donde los productores desarrollan la actividad con fines de producción de subsistencia más que para obtener ganancias.

Los sectores de producción de leche con un grado más avanzado de desarrollo empresarial por lo general están ubicados en la costa peruana.

La ganadería lechera representa aproximadamente 725,000 vacas lecheras (FAO 2009), siendo en la costa donde se encuentra el 78% de ganado lechero especializado, compitiendo con la agricultura intensiva.

La producción de leche en el Perú, se concentra en cuencas lecheras especializadas con crianzas intensivas y semiintensivas, las cuales surgen debido a la cercanía de ciudades importantes, donde se centra el consumo y funcionan plantas de la industria láctea, nivel económico y cultural.

Alrededor del 60% de la producción de leche se obtiene de las cuencas lecheras especializadas de Cajamarca, Arequipa y Lima.

En la actualidad la ganadería en la sierra se desarrolla considerando los siguientes aspectos:

1. El 35 % del uso de la superficie nacional en el Perú es para ganadería.
2. La concentración de recursos pastoriles está en la alta sierra donde otras actividades agrícolas son menos posibles (21% de la superficie nacional).
3. El desarrollo económico y social del poblador andino, depende grandemente del desarrollo ganadero.
4. La producción nacional de leche fresca tiene diferentes destinos: plantas procesadoras, programas sociales, industria artesanal (quesos), porongueros para venta directa al público y autoconsumo.
5. El destino varía de acuerdo a la zona de producción. En las cuencas lecheras se destina más del 80% a la gran industria, mientras que en las zonas de producción no especializada, el principal destino es la industria rural artesanal de derivados y el consumo humano directo.
6. La tendencia actual es de incrementar el destino hacia la gran industria. En la década de los ochentas sólo se acopiaba un 23%, actualmente es mayor al 50% de la producción nacional de leche cruda fresca, lo que está promoviendo el desarrollo de nuevas cuencas lecheras.

3.2.2 Manejo reproductivo y mejoramiento genético

1. Costa y cuencas lecheras especializadas (Lima, Arequipa y Cajamarca)

Esta ganadería, se caracteriza por el uso de ganado altamente especializado para producción de leche (Holstein, Brown Swiss y Jersey) y sistemas de producción intensivo y semi intensivos. La mayoría de productores lleva un control del nivel de producción y genética de su ganado. La inseminación artificial es una herramienta biotecnológica reproductiva ampliamente difundida y usada por casi la totalidad de productores. El uso de monta natural se limita a pequeños productores y al uso de repasadores para vacas con problemas de fertilidad.

2. Sierra

En esta región del país predomina el ganado criollo y la raza Brown Swiss, además se observan algunos cruces con Brown Swiss y Holstein, siendo muy pocos productores los que mantienen animales especializados. El sistema de producción es extensivo en su mayoría aprovechando los pastos naturales presentes en las zonas alto andinas y semi intensivo en los valles interandinos, donde se utilizan pastos cultivados asociados como Rye gras con trébol o Rye gras con alfalfa y rastrojo de cosechas. El uso de inseminación artificial es muy limitado y sólo se observa en productores importantes o en comunidades donde algunas ONG'S o empresas mineras tratan de implementar programas de mejoramiento genético.

La gran mayoría de productores utiliza la monta natural como medio de reproducción, mayormente seleccionando un reproductor dentro de su propio hato, generalmente ocasionando problemas de consanguinidad o pidiéndolo prestado o alquilado a algún productor cercano, no siendo ésta una garantía de mejoramiento y de sanidad, ya que son pocos los productores en este ámbito que llevan un control sobre la genética de sus animales, así como de niveles de producción.

En algunos casos estos toros reproductores, básicamente Brown Swiss, son adquiridos a establos especializados de la costa llegando a pagar sumas sobre los 3 000 US\$ por reproductor y mayormente son seleccionados sin criterio técnico.

En las siguientes vistas se puede observar razas de vacunos especializados para producción de leche, así como de criollos



Foto 1. Vacas de raza Holstein en establo de la Costa

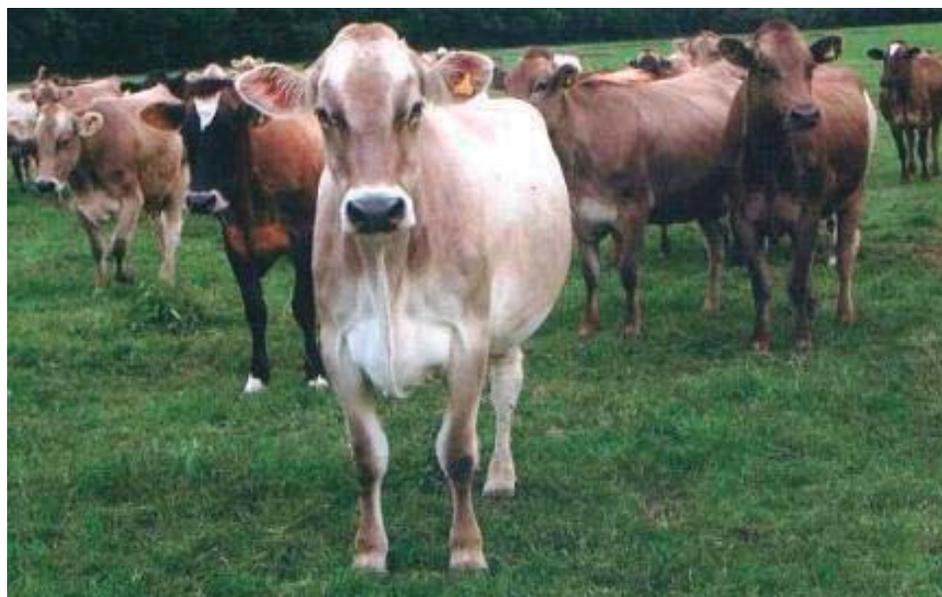


Foto 2. Ganado vacuno de raza Brown Swiss y criollo en la sierra peruana



Foto 3. Ganado vacuno de raza criolla para labranza como yunta en la Sierra



Foto 4. Feria ganadera en la sierra

Un factor importante a considerar, es el mantenimiento del reproductor del cual se puede obtener el costo por servicio, que surge de dividir el costo de mantenimiento del toro entre el número de vacas servidas en un año, siendo en la mayoría de casos superior al costo de una pajilla de semen congelado.

Algo importante a mencionar, es que en muchas comunidades ganaderas de la sierra peruana los productores prefieren que se de mayor cantidad de partos de terneros, debido a que su negocio se centra más en la venta de machos, los cuales van hacia los centros de engorde cercanos a Lima y otras ciudades importantes.

3. Selva

En nuestro país existen lugares con gran potencial ganadero como el caso de la selva, la cual ofrece bastas áreas de pastizales, que permiten la crianza extensiva y semi intensiva, aprovechando los recursos de la zona, como maíz, subproducto de arroz y soya, pero que en la actualidad muestra poco desarrollo y bajos niveles de volumen de producción.

La producción de leche en nuestro país bajo el sistema de doble propósito está muy difundida en la sierra y sobre todo en la selva, donde se justifica este tipo de explotación, principalmente por el nacimiento de terneros, producidos básicamente por monta natural, que son orientados a la producción de carne, ya que si se criara una raza especializada en leche no se obtendrían terneros con aptitud cárnica e iría en desmedro de la economía del productor.

El ganado predominante en nuestra selva es el criollo cruzado con cebú, llamado en muchas zonas amazonas y otras razas cebuinas como Brahman, Nelore, Gir lechero y Girolando (estas dos últimas especializadas en producción de leche en trópico).

La inseminación artificial es poco utilizada en la zona, debido al nivel técnico y económico del productor, que muchas veces no cuenta con instalaciones apropiadas ni con los recursos suficientes para implementar esta tecnología.

El criterio de selección de reproductores, es fundamental para el éxito de la explotación, siendo importante tomar en cuenta parámetros de selección al momento de escoger el reproductor de nuestro hato. En nuestra realidad el criterio de selección del toro reproductor, muchas veces juega en contra del mejoramiento genético del ganado, ya que la gran mayoría de productores seleccionan, ya sea de su propio hato o lo compran en alguna feria o criador cercano, primando el criterio de selección cárnico sobre el de leche, ya que por lo general se selecciona el torete de mejor conformación corporal (aptitud cárnica) y mayor peso al destete como reproductor, no necesariamente favoreciendo a la productividad lechera, sumado a que no se lleva un control adecuado de la genética de los animales y mucho menos de los niveles de productividad por animal. Fotos 5 y 6.



Foto 5. La ganadería es fuente de ingresos para el poblador rural



Foto 6. Ganadería cebuina en la selva

IV. LA INSEMINACIÓN ARTIFICIAL COMO MECANISMO DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO

La IA se ha convertido en la técnica más importante para la reproducción asistida de los animales. Se utiliza exitosa y extensamente en el ganado de leche, permitiendo que toros de alto mérito genético, estén disponibles en números hatos en distintos lugares del mundo.

4.1 Ventajas del uso de la inseminación artificial

- _ El uso de sementales sobresalientes, ofrece la oportunidad de mejorar genéticamente los animales del hato.
- _ Potencial reproductivo de un semental se incrementa, es decir, si un toro por monta natural puede cubrir entre 49 y 70 vacas por año, a través de la IA y con el uso de semen congelado se pueden servir miles de vacas por año.
- _ Se pueden utilizar sementales valiosos, que debido a una lesión física no pueden copular. Se ha observado que algunos toros quedan incapaces para copular después del transporte, peleas con otros toros o por algún accidente.
- _ La inseminación artificial, permite la prueba de toros (prueba de progenie) en forma más confiable y segura.



Foto 7. Práctica de la técnica de inseminación artificial



Foto 8. ¿Qué hacer con tantos terneros?

4.2 Desventajas del uso de la inseminación artificial

- _ La utilización de un toro no probado, ni estudiado en cuanto a sus características genéticas, puede traer como consecuencia pérdida o una disminución en la producción de cualquier explotación.
- _ Se necesita personal capacitado para el manejo del semen, la inseminación y además para una adecuada detección de los animales en celo.
- _ Al iniciar un programa de IA en una explotación, la inversión monetaria es alta (compra de equipo, instalaciones, etc.).
- _ Las enfermedades pueden propagarse con gran rapidez de toros que no se les lleva un control sanitario estricto. La adición de antibióticos en el diluyente, no es suficiente para controlar todas las enfermedades que pueden ser transmitidas por el semen.

V. SEXADO DE SEMEN BOVINO MEDIANTE CITOMETRÍA DE FLUJO

La inseminación artificial ocasionó una revolución en la ganadería lechera en el mundo, debido a que se podía obtener terneras hijas de los más afamados toros reproductores del mundo y así contar con animales de alta genética y gran productividad. Cuando esta tecnología se empezó a utilizar en forma generalizada, generó un gran interés por contar con semen sexado para obtener sólo hembras, ya que esto permitiría lograr una ternera en lugar de un ternero, que es el sueño de todo criador de ganado, de leche principalmente, en el ámbito mundial.

Esta herramienta, es hoy una realidad comercial y se encuentra disponible por una gran variedad de casas genéticas productoras de semen congelado. Hubo varias aproximaciones desarrolladas, que permitieron a los científicos separar el semen de bovino en fracciones que contuvieran concentraciones más altas de lo normal de células X, pero la principal aplicación comercial, es hoy por medio de la citometría de flujo. Este método fue utilizado por primera vez en la década de los ochentas, pero estos primeros resultados dieron semen muerto. Johnson y col. ayudaron a refinar la técnica de utilizar fluorescencia-activada para la separación de células. El método actual de citometría de flujo para separación de células, fue patentado a XY, Inc para desarrollo comercial. Este procedimiento utiliza tecnología desarrollada por la U.S.D.A., la Universidad del Estado de Colorado y Dako Cytomation, que es una compañía que desarrolla avances en citometría de flujo para uso comercial.

5.1 Fundamentos técnicos

Por biología elemental, está demostrado que en el caso de mamíferos, es el macho quien determina el sexo de las crías, dicho en otras palabras es el espermatozoide, el que siempre determinará el sexo de una cría. Esto es posible debido a que el espermatozoide puede contener un cromosoma "X" o un "Y"; por su parte el óvulo siempre poseerá un cromosoma "X". Por tanto, para que se produzca una ternera (XX) deberá un espermatozoide "X" fertilizar el óvulo. Por el contrario, si fuera el espermatozoide con cromosoma "Y" el que lo fertilizara, se produciría un ternero (XY).

La citometría de flujo, es una técnica de análisis celular que implica medir las características de dispersión de luz y fluorescencia que poseen las células, conforme se las hace pasar a través de un rayo de luz. Para su análisis por citometría de flujo, las células deben encontrarse individualmente en suspensión en un fluido. Las células pueden hacerse pasar a muy altas velocidades (pueden llegar a alcanzarse velocidades cercanas a las 100,000 células por segundo).

A través de esta tecnología, se identifica las diferencias en el contenido del ADN. En bovinos el espermatozoide con información X contiene 3.8% más ADN que espermatozoide con información Y. El esperma es diluido a una muy baja concentración y luego tratado con un tinte fluorescente específico para ADN. Esta muestra de semen diluida y teñida, es pasada por el citómetro de flujo a una velocidad de aproximadamente 60 mph, bajo una presión de 40-60 psi. Un láser provee la luz con la longitud de onda apropiada para causar fluorescencia, sin dañar el ADN mientras el esperma es alineado de una manera específica, en una sola fila y pasado por la luz del láser. El ADN teñido emite fluorescencia y la pequeña diferencia en la cantidad de fluorescencia, basada en la diferencia de masas de ADN, es detectada. Para que este procedimiento funcione correctamente, las cabezas de los espermatozoides deben tener una orientación precisa durante la evolución de citometría, utilizando un inyector biselado especialmente diseñado para esta función. Sin la orientación adecuada, las diferencias en el contenido de ADN no pueden ser determinadas correctamente.



Foto 9.

Citometro de flujo

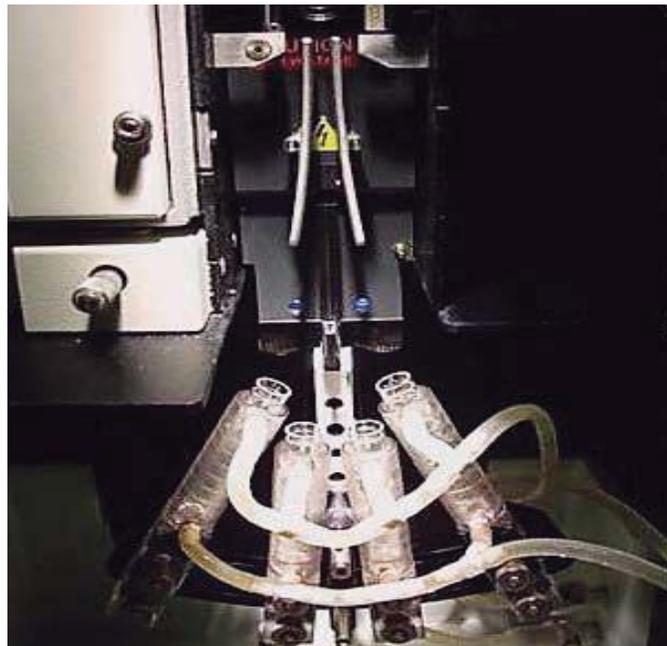


Foto 10.

**Proceso de sexado de semen
mediante citometría de flujo**

El componente del sistema que separa las células funciona de la siguiente manera: cuando la corriente de fluido sale del citómetro de flujo, es fraccionada en pequeñas gotas por un vibrador, formando alrededor de 70.000 a 80.000 gotas por segundo. Aproximadamente, un tercio de las gotas contiene un espermatozoide, alrededor de dos tercios están vacías y algunas cuantas podrían contener dos. Si la computadora detecta una gota que contiene un espermatozoide X, una carga eléctrica positiva se agrega a la gota. Si la gota contiene un espermatozoide Y, se agrega una carga negativa. Si la gota no contiene espermatozoide alguno o contiene dos espermatozoides, o un espermatozoide dañado, o un espermatozoide que no lo puede sexar, no se agrega ninguna carga eléctrica a la gota. Conforme las gotas caen al salir de la boquilla del citómetro de flujo, pasan a través de un campo magnético que es positivo en un lado y negativo en el otro. En virtud de que los polos opuestos se atraen, las gotas con carga positiva (que contienen un espermatozoide X) se mueven en dirección del campo negativo y aquellas con carga negativa (que contienen un espermatozoide Y) se mueven en dirección del campo positivo y las que no poseen carga continúan su trayectoria sin desviarse. De esta forma, se producen tres corrientes o flujos de gotas, los cuales se recogen en tres recipientes que separan los espermatozoides X, Y, y aquellos que no podrán ser utilizados. En la práctica, cerca de un 20% de los espermatozoides terminan seleccionados en la fracción X, 20% en la fracción Y, y un 60% son espermatozoides dañados o que no pudieron ser sexados por alguna razón (Weigel, 2004; Hansen, 2006).

El resultado, es un proceso capaz de separar los espermatozoides repetidamente, con una pureza mayor del 85%. XY Inc., tiene la patente para el proceso de separación del semen por citometría de flujo, pero ha concedido licencia a varias compañías para la producción de semen sexado.

GRÁFICO 2. PROCESO DE SEXADO MEDIANTE CITOMETRIA DE FLUJO



A pesar del dramático mejoramiento de la tecnología de los últimos años, la dirección y el tránsito del sistema de citometría de flujo se mantiene hasta cierto punto ineficiente, y varios espermatozoides terminan comprometidos o sin identificar. Este proceso a pesar que es rápido para los estándares de laboratorio, es relativamente lento para los estándares comerciales. La velocidad de separación ha incrementado cerca de 50 veces en la última década, y cerca de 18 millones de espermatozoides se pueden separar por hora. A esta velocidad, hasta 215 pajillas con espermatozoides X (con 2 millones de espermatozoides por pajilla) podrían producirse en una máquina en un periodo de 24 horas. El número de espermatozoides recuperables para uso comercial, en el producto de semen sexado es del 20% de la muestra original puesta en la máquina y como consecuencia, las pajillas de semen sexado comerciales usualmente contienen alrededor de 2 millones

de espermatozoides, comparados con las de semen convencional que contienen cerca de los 20 millones. Estudios realizados por XY Inc. y la universidad de Colorado demuestran que no existen diferencias en fertilidad entre pajillas de 2 y 10 millones de espermatozoides de concentración.

5.2 Beneficios del uso de semen sexado

Las primeras expectativas eran que el semen sexado produciría entre el 85 y el 90% de hembras. En partos simples, De Jarnette (2007), reportaron que el 90% de los becerros fueron hembras, evaluando más de 3 300 partos utilizando semen sexado, comparado contra el 48% de hembras en más de 11 000 partos utilizando semen convencional. Este grupo también evaluó el efecto del semen sexado en riesgos de aborto y no encontró diferencias comparado con el uso de semen convencional.

La mayoría de los ganaderos, sobre todo lecheros, siempre quieren y necesitan más vaquillas para reemplazos en su negocio. La presencia de más vaquillas en su línea de reemplazos provee fuentes adicionales de valor para la leche y provee opciones adicionales de manejo. Estos animales pueden ser criados y después incluidos en el hato reemplazando a animales viejos, menos productivos o ayudar a la expansión del hato, si es suficiente el área para alojamiento y comida. Además de esto, los ganaderos pueden, de mejor manera, desechar animales con pobre desempeño o vaquillas con enfermedades crónicas, que de otra manera permanecerían en el establo por no tener un número adecuado de vaquillas de reemplazo. Alternativamente, las hembras pueden ser vendidas recién nacidas a un mayor valor de venta comparadas con el precio de becerros machos destinados para la producción de carne, o pueden ser criadas por un periodo de tiempo y vendidas como vaquillona para que fluya dinero al establo.

Las vaquillas vírgenes al parto que paren hembras, típicamente tienen menos riesgo de distocia (dificultades al nacimiento) que con becerro macho. La distocia usualmente representa uno de los principales riesgos de desecho en las vaquillas y este riesgo puede ser reducido al tener más terneras, asumiendo un manejo similar entre el semen sexado y el semen convencional, incluyendo toros utilizados en el programa de cruzamientos. Fetrow, y col (2007), estimaron que utilizar semen

sexado en vaquillas vírgenes reduciría el riesgo de distocia en un 3,7%. Para que esto sea considerado un beneficio, es necesario que el semen usado provenga de toros que aporten **facilidad al parto**.

Si ponemos cuidado en la selección de las hembras en las que se va a utilizar semen sexado, los hatos también pueden tener un rápido mejoramiento genético, nuevamente asumiendo calidad igual en los toros utilizados, comparados con el cruzamiento tradicional. Ahora, la presión en la selección debe ser aplicada a ambos, la hembra y el macho, previamente, el progreso genético fue limitado al macho ya que los reemplazos eran producidos por vacas con alto mérito genético y vacas con baja calidad dada la necesidad. Por supuesto, para poder capitalizar esta fuente potencial de valor, se deben mantener y utilizar excelentes registros para poder seleccionar las vaquillas de calidad con un potencial genético.

Los beneficios directos para el productor ganadero son los siguientes:

- _ Poder disponer de una mayor cantidad de terneras para reemplazo o crecimiento del hato.
- _ Obtener una mayor cantidad de ventas de terneras, vaquillas o vaquillonas.
- _ Poder reemplazar vacas problema con mayor facilidad, debido a la mayor oferta de terneras de reemplazo.

5.3 Desventajas del uso de semen sexado por citometría de flujo

Mientras existen fuentes sólidas de valor potencial asociado con el uso de semen sexado, también existen puntos importantes a ser considerados antes de utilizar esta técnica. Primero, existe una diferencia en el costo (llegando a costar 2 o 3 veces más que el tradicional). **El mayor valor de la dosis**, responde a que el procedimiento de separación es lento y costoso, que resulta en la recuperación de solo el 20% del semen que se introduce a la máquina.

Otro punto importante que no favorece el producto disponible de semen sexado, es **la baja en la fertilidad**. En vaquillas, la concepción se reduce del 10 al 40%, la mayoría de los establos reportan caídas entre el 25 y el 30% (Overton 2009). En otras palabras, si la base de inicio en tasa de concepción para las vaquillas vírgenes

es de aproximadamente el 60%, la expectativa de la tasa de concepción utilizando semen sexado será de entre el 42 y el 45%. Siguiendo la evaluación de más de 16 000 inseminaciones, a primer servicio la tasa de concepción en más de 100 hatos fue de 44%, comparado con la base de inicio del 60% para semen convencional.

Un punto a considerar es la realidad de la sierra peruana, donde el pequeño y mediano productor **requiere de machos**, los cuales engorda para la venta de carne, ya que al no disponer de pasturas de calidad la población de vacas en producción es limitada.

El uso de esta tecnología no es recomendada para ser usado en todos los reproductores, ya que es necesario que éstos tengan **facilidad al parto**, ya que como se mencionó anteriormente el semen sexado es usado mayormente en vaquillas donde la facilidad al parto tiene importancia.

Para poder minimizar la baja en la fertilidad, las prácticas de manejo e inseminación **deben ser optimizadas**. Las pajillas deben ser descongeladas según las recomendaciones de la compañía de IA y el equipo debe estar limpio y libre de contaminantes. Debe de tenerse cuidado para minimizar el riesgo del choque frío, mediante el calentamiento del equipo antes de descargar, proteger la pajilla entre el descongelamiento y la inseminación, y evitar la utilización de lubricantes espermicidas. Los mejores técnicos de IA deben de tener a su cargo las prácticas de inseminación, cuando se utiliza semen sexado y debe de tenerse mucho cuidado en estar seguros que las vaquillas están ciclando y que están en calor para poder ser inseminadas.

La comercialización actualmente involucra la utilización de bajo número de espermatozoides por pajilla (solo alrededor de 2 millones comparados con los cerca de 20 millones para semen convencional). En adición, el semen sexado está empacado en pajillas de ¼ ml versus las pajillas convencionales de ½ ml. La combinación de menor número de espermatozoides y pajillas de menor diámetro requiere de un **manejo más cuidadoso** durante el proceso de descongelación y **personal calificado** para obtener, aceptables, aunque aun reducidos, rangos de

concepción. Esto es un punto importante a considerar en las postas de inseminación para pequeños agricultores.

En general, los productores están dispuestos a pagar más por toros con de mayor calidad genética. Sin embargo, con el semen sexado, los mejores toros que tienen mayor demanda **no son utilizados**. Considere que el proceso de separación resulta en una pérdida del 85-90% del número inicial de espermatozoides que entran en la máquina. Los toros con alta demanda ya son líderes en el mercado y sexar estos toros reducirá el número de unidades disponibles para su compra, lo que subirá aún más su demanda, sin poder atenderla.

Una desventaja del uso masivo de semen sexado, sería un potencial derrumbe del mercado de venta de terneras, ocasionado por la **disminución del precio de venta** como consecuencia de haber una mayor oferta de terneras en el mercado. Esto perjudicaría el ingreso por venta de terneras de muchos establos, los cuales no necesariamente utilizan semen sexado, que tiene en la venta de terneras un ingreso importante. Este problema ya se está viviendo en las zonas productoras de Estados Unidos, donde existe un **superávit de terneras**, lo cual ocasiona una disminución de los precios de venta de terneras. Asimismo, la mayor cantidad de vacas productoras aumentará el volumen total de la leche ofrecida al mercado (plantas, queserías, etc), aumentando la competencia y posiblemente la **disminución del precio** pagado al productor.

5.4 Recomendaciones del uso de semen sexado por citometría de flujo

Basándonos en lo antes enlistado sobre el semen sexado, las recomendaciones actuales es que sólo se utilice en **vaquillas** (Overton 2009). El impacto económico de la depresión en la concepción, resultado del uso de semen sexado en esta clase de animales, es menos severa que en vacas lactando. Existe la capacidad parcial de poder reponerse, debido a la mayor fertilidad y más alta probabilidad de mostrar signos de calor en las novillas. El uso de semen sexado en transferencia de embriones o en vacas **se descarta fuertemente**, debido a ambas cosas el costo de la implementación de esta tecnología y el riesgo de una gran disminución en la concepción. La mayoría de los productores están limitando su uso, aun en vaquillas,

al primer servicio o en algunos casos hasta el segundo. Sin embargo, la mayor determinación de valor potencial de utilizar el semen sexado es el valor diferencial entre tener becerros machos o hembras.

VI. INVERSIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CITOMETRÍA DE FLUJO PARA EL SEXADO DE SEMEN DE TOROS JÓVENES EN EL PERÚ

Desde hace 25 años el Programa de Mejoramiento Animal de la Universidad Nacional Agraria La Molina, a través del Banco Nacional de Semen pone al alcance de la ganadería bovina del Perú, dosis de semen congelado de alto valor genético a un costo accesible para los productores del país y siendo participe del desarrollo del sector ganadero a través del mejoramiento genético.

El año 2008 el Banco Nacional de Semen, cerró el año con una venta total de 129 485 pajillas de semen congelado, distribuidas en todo el país (Cuadros 3 y Gráfico 3), a un costo promedio de 8 soles cada dosis. La respuesta en productividad del uso de semen nacional está ampliamente demostrada por las excelentes campañas de las hijas de estos toros nacionales, las cuales varias veces han ocupado los primeros lugares en productividad.

El problema es que ninguno de estos toros jóvenes tiene pruebas de facilidad al parto.

6.1 Inversiones en maquinaria y derechos de uso

Primero hay que cuantificar cuantas maquinas se requerirían para producir 129 485 dosis, si conocemos lo siguiente:

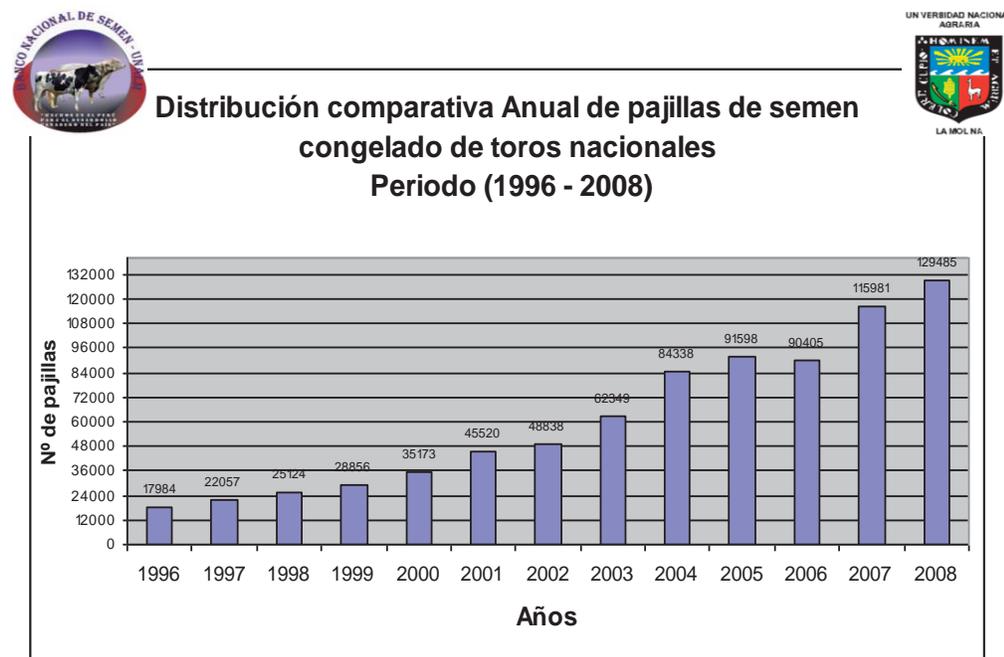
- a) Cada citómetro de flujo puede producir 215 pajillas por día.
- b) El costo de cada citómetro de flujo bordea los 250 000 US\$
- c) Los derechos de uso de esta tecnología son aproximadamente de 10 US\$ por dosis comercializada.
- d) Número de días laborables en el año 260 aproximadamente.

De esto se obtiene:

$$129\ 485/215= 602,25 \text{ días}$$

$$602/260= 2,31 \text{ citometros de flujo.}$$

GRÁFICO 3. DISTRIBUCIÓN DE PAJILLAS DEL BANCO NACIONAL DE SEMEN



CUADRO 3. DISTRIBUCIÓN POR DEPARTAMENTO DE PAJILLAS DEL BANCO NACIONAL DE SEMEN



DISTRIBUCIÓN DE PAJILLAS DE SEMEN CONGELADO POR DEPARTAMENTOS ENERO - DICIEMBRE 2008



DEPARTAMENTO	Nº DOSIS
LIMA	44,967
AREQUIPA	16,558
PUNO	13,845
JUNIN	12,343
LA LIBERTAD	8,620
CAJAMARCA	6,052
LAMBAYEQUE	4,208
SAN MARTIN	4,020
AMAZONAS	3,480
CUSCO	3,115
HUANCAVELICA	2,433
AYACUCHO	2,013
TACNA	1,975
APURIMAC	1,608
ANCASH	1,331
ICA	1,136
MADRE DE DIOS	550
HUANUCO	466
PASCO	435
PIURA	125
UCAYALI	115
ECUADOR	90
TOTAL	129,485

Esto quiere decir que para producir 129 485 dosis sexadas de semen de toros nacionales del Banco Nacional de Semen, se necesitan como mínimo 3 citometros de flujo, cuya inversión asciende a 750 000 US\$.

Adicionalmente al costo de la dosis habría de cargarse el valor de 10 US\$, lo cual origina un costo de 13294 850 US\$.

VII. CONCLUSIONES

De lo expuesto en el presente trabajo se pueden obtener las siguientes conclusiones.

1. En estos momentos no se dan las condiciones técnico-económicas para la implementación de esta tecnología.
2. El uso generalizado de esta tecnología, ocasionaría la disminución del precio de las vaquillonas de reemplazo.
3. Una característica limitante al escoger los toros para producción de semen sexado, es que tengan pruebas de facilidad de parto.
4. El uso de semen sexado, no garantiza el nivel de calidad genética.
5. Actualmente, debido al alto nivel de inversiones, esta tecnología es poco accesible para los productores.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Hacer proyectos para ser gestionados a nivel de gobierno central, tomando como base de referencia el presente trabajo para encontrar el momento oportuno de implementación de esta tecnología.
2. Realizar estudios referido a facilidad de parto, tanto en vacas primerizas como en adultas de los toros del banco nacional de semen.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- GAMARRA, M. 2001. Situación actual y perspectivas de la ganadería lechera en la Cuenca de Lima. Rev Inv Vet Perú 12(2): 1-13.
- FLOREZ, A. 2001. Producción lechera en la Irrigación de Majes-Arequipa. Un sistema de alimentación de vacas lecheras en áreas de irrigación. Rev Inv Vet Perú 12(2): 14-20.
- MIGONE, H. 2001. Producción lechera en la Amazonia. Rev Inv Vet Perú 12(2): 27-28.
- ELIZONDO, J. 2007. El uso de semen sexado en el ganado de leche. ECAC informa N° 39: 21-22.
- DEPTO. TÉCNICO DE ABS ARGENTINA. 2007. El sexado de semen bovino. Producir XXI, Bs. As., 15(184):43-44.
- VELASCO, J. 2007. El sexaje de semen de toro ¿Sueño o realidad?. Disponible en (<http://veterinaria.unmsm.edu.pe>). Accesado en octubre 10 de 2009.
- OVERTON, M.2009. Semen sexado: Resultados y rentabilidad. Disponible en (<http://www.ammveb.net>). Accesado en Octubre 4 de 2009.
- DE JARNETTE JM, NEBEL RL, MEEK B, et al. Commercial application of sex-sorted semen in Holstein heifers. J Dairy Sci 2007;Vol. 90, Suppl. 1.
- FETROW J, OVERTON M, EICKER S.2007. Sexed semen: economics of a new technology. proceedings of the Western Dairy Management Conference 2007.