

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ESTIMACIÓN DE HEREDABILIDAD DEL INTERVALO ENTRE  
PARTOS Y SU CORRELACIÓN GENÉTICA CON PRODUCCIÓN  
DE LECHE EN GANADO HOLANDO URUGUAYO**

**por**

**Nicolás FRIONI GARCÍA**

**TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2012**

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. M. Sc. Gabriel Rovere

-----

Ing. Agr. Ph.D. Jorge Urioste

-----

Dra. Elize Van Lier

Fecha: 14 de setiembre de 2012

Autor: -----

Nicolás Frioni García

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su presencia y apoyo.

A Jorge Urioste y Gabriel Rovere por su paciencia, enseñanza, constante estímulo y valiosas colaboraciones.

A los compañeros y amigos de Zootecnia y Dpto. de producción animal, Rodrigo López, Ana Laura Sánchez, Juan Bolívar Rodríguez, Ana Espasandín, Fernando Pereyra y María Isabel Pravia.

A los aliados y devotos: Fede, Pump, Edu, Dani, Nando, Dia, Lucía y Mario Marotta, Cabeza, Mula, Pablo, Lu y otros... por su amistad, aliento e interés.

A la Asociación de Estudiantes de Agronomía y todos los que la han formado, por las oportunidades y la confianza.

A Ingrid Silbermann y Alicia Díaz por su tiempo y fe.

Finalmente a aquellas personas que hoy no están físicamente Haydeé Pérez, Jacobo "Yaco" Rimsky y Elsa Couto.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES .....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	4
2.2 CICLO ESTRAL EN BOVINOS .....	9
2.2.1 <u>Control hormonal</u> .....	10
2.2.2 <u>Fase folicular</u> .....	13
2.2.3 <u>Fase luteal</u> .....	19
2.3 FACTORES QUE AFECTAN LA FERTILIDAD.....	21
2.3.1 <u>Factores genéticos</u> .....	22
2.3.2 <u>Factores ambientales</u> .....	27
2.4 RELACION ENTRE PRODUCCIÓN Y REPRODUCCIÓN .....	32
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	38
3.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	39
3.1.1 <u>Modelos fijos</u> .....	39
3.1.2 <u>Análisis genético</u> .....	43

4. <u>RESULTADOS Y DISCUSION</u> .....	45
4.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	45
4.2 ANÁLISIS GENÉTICO .....	55
4.2.1 <u>Estadística descriptiva</u> .....	55
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	59
6. <u>RESUMEN</u> .....	61
7 <u>SUMMARY</u> .....	62
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	63
9. <u>ANEXOS</u> .....	73

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Características de los modelos de intensificación de la lechería uruguaya .....	7
2. Principales hormonas reproductivas que participan en la regulación del ciclo estral.....	12
3. Estimaciones de heredabilidad de características reproductivas por país .....	29
4 Estimaciones de heredabilidad de características reproductivas y su correlación genética .....	30
5 Parámetros reproductivos según período y raza .....	32
6 Heredabilidades ( $h^2$ ) y correlaciones ( $r_a$ ) de características productivas y reproductivas.....	34
7. Rango de edad por clase .....	41
8. Rango de producción por clase .....	41
9. Lactancia y rango de edad por clase de lae d .....	42
10. Promedio y desvío estándar de IIP y L305 .....	45
11. Medias de IIP y L305 por año de parto .....	49

12. Valores obtenidos de varianzas, covarianzas y parámetros genéticos .....	55
13. Frecuencia de las observaciones de IIP por período de tiempo.....	73

Figura No.

1. Fases y etapas del ciclo estral en bovinos .....	10
2. Dinámica hormonal entre el hipotálamo-hipófisis y el ovario durante la fase folicular.....	14
3. Cambio en la concentración de hormonas durante la fase folicular.....	15
4. Concentración relativa de FSH, LH, inhibina y estradiol para los folículos reclutados, seleccionados y dominantes .....	16
5. Ondas de maduración folicular durante el ciclo estral .....	18
6. Cambios morfo fisiológicos de los folículos desde reclutamiento hasta formación y degeneración del cuerpo lúteo.....	19
7. Formación del cuerpo lúteo.....	20
8. Cambios en la concentración de progesterona, oxitocina	

y receptores de oxitocina durante el diestro tardío y proestro .....	21
9. Distribución de tres niveles de endogamia para ganado Holstein	
canadiense por fecha de nacimiento .....	23
10. Tendencia de endogamia de la población Holstein de Canadá.....	24
11. Evolución del porcentaje de consanguinidad promedio por	
fecha de nacimiento para ganado Holando de Uruguay .....	25
12. Evolución de genes comunes .....	26
13. Distribución de las observaciones según diferentes niveles de IIP .....	46
14. Efecto del año de parto sobre el IIP y L305 .....	47
15. Efecto del mes de parto sobre IIP y L305 .....	50
16. Efecto del número de lactancia sobre el IIP y L305.....	51
17. Efecto de la edad sobre el IIP y L305.....	52
18. Efecto de la edad sobre el IIP.....	53
19. Efecto del nivel de producción sobre el IIP y L305 .....	54
20. Valores de cría promedio de IIP y L305 por año de nacimiento .....	57
21. Efecto ambiental promedio por año de nacimiento para IIP y L305.....	58



## **1 INTRODUCCIÓN**

La lechería es un rubro agropecuario de gran importancia económica y social para el país. Este ha crecido de forma constante desde sus inicios, sin embargo la superficie que abarca se ha visto disminuida por competencia con otros rubros. En el año 2001 los predios agropecuarios que presentaban la lechería comercial como rubro principal comprendían en total 1 millón de hectáreas, pasando en el año 2010 a 857 mil hectáreas, representando el 5,2% de la superficie agropecuaria del país (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2011).

La producción anual total de leche es uno de los principales indicadores que demuestra el crecimiento de este rubro. Mientras en la década del 70 se producían 700 millones de litros, en el año 2010 se alcanzó el máximo histórico con 1893 millones de litros (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2011). De este volumen 1756 millones fueron provenientes de predios con lechería comercial y 137 millones de aquellos con elaboración predial y venta directa (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2011).

El proceso de transformación recorrido convirtió a Uruguay en un país exportador de lácteos. En el año 2010 se exportaron 526 millones de dólares en productos lácteos, representando esto el máximo económico en la historia del rubro y un 61% del total anual producido, siendo los principales destinos Brasil y Venezuela. (URUGUAY. MGAP. DIEA 2011, URUGUAY. MGAP. OPYPA 2011).

Dentro del carácter social este rubro registra en el sector agrario 20 trabajadores cada 1000 hectáreas, representando el 10% del total de trabajadores agropecuarios del país, con 50% de mano de obra familiar (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2008). La cantidad de tambos totales es de 4519, dentro de los cuales 3278 remiten a planta (URUGUAY. MGAP. DICOSE 2010, URUGUAY. MGAP. DIEA 2011).

A pesar de la reducción en área y cantidad de establecimientos, el número de cabezas que conforman el stock lechero se ha mantenido relativamente estable en el tiempo, en el entorno de las 700 mil cabezas de ganado, siendo en el año 2010 de 764 mil cabezas (URUGUAY. MGAP. DICOSE 2010, URUGUAY. MGAP. DIEA 2011).

El crecimiento constante del rubro fue posible gracias a la incorporación continua y creciente de tecnología. Las pasturas artificiales, rotaciones agrícolas, cambios en la composición de las dietas y la mejora genética del rodeo animal son las áreas donde la incorporación ha sido más relevante (Durán, 2007).

Dentro de los cambios tecnológicos introducidos en la lechería uruguaya en la década de los ochenta se destaca la introducción de la inseminación artificial. Con su masificación y siguiendo los ciclos económicos del rubro, el número de dosis de semen importado ha ido creciendo, destacándose Estados Unidos y Canadá como los principales proveedores de genética al rodeo uruguayo (Crecco y Llagarías, 2009).

A través de su utilización se ha procesado un cambio en la genética del rodeo nacional que es predominantemente de la raza Holando. Esto ha permitido obtener cambios importantes en los niveles de producción individual de los animales, que se pueden observar a partir de las tendencias genéticas reportadas en las evaluaciones genéticas de la raza Holando, que se realizan en el país desde comienzos de la década del noventa (Aguilar et al., 2011).

El cambio genético en la capacidad de producción de leche de los animales ha sido internacionalmente destacado y más específicamente en el caso de la raza Holando. Para el caso de la población americana se reporta que entre 1980 y 2010 aumentó 5492 libras la producción de leche y 164 libras en proteína (UNITED STATES OF AMERICA. ARS. AIL, 2012). En el mismo sentido para la población canadiense se reportó una ganancia en la producción de proteína de 2.6 kg anuales entre los años 1998 y 2008 (CANADA. CDN, 2012).

Sin embargo, junto a los incrementos productivos se ha detectado un deterioro en el comportamiento reproductivo de los animales (Beam et al. 1999, Lucy et al. 2001, Royal et al. 2002). En este sentido, en Uruguay no existen antecedentes publicados sobre la evolución genética de características reproductivas en el rodeo lechero. Sin embargo, desde el punto de vista fenotípico, se ha reportado un aumento del intervalo parto-concepción y parto a primer servicio entre los períodos de 1997-2001 y 2001-2005 (Rovere et al., 2007). Estos datos fundamentan la idea manifiesta en el intercambio entre técnicos y productores, que identifican a los aspectos reproductivos como una de las causas más importantes de descarte de animales en nuestro país.

Esta tesis tiene como objetivo determinar los componentes de varianza de la característica intervalo interpartos (IIP), calcular su heredabilidad y estimar la correlación con producción de leche a 305 días (L305), para rodeos lecheros de la raza Holando que integran el sistema nacional de evaluación genética de ganado lechero, pertenecientes al Instituto Nacional para el Mejoramiento Lechero.

Este estudio se realiza en el marco de las líneas de investigación en mejoramiento genético en bovinos de leche del Grupo Disciplinario de Mejoramiento Genético Animal del Departamento de Producción Animal y Pasturas de la Facultad de Agronomía. El objetivo general es contribuir con desarrollos para el fortalecimiento del sistema nacional de evaluación genética, el cual es un proyecto multi-institucional que además de la Facultad de Agronomía es integrado por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), la Asociación Rural del Uruguay (ARU), la Sociedad de Criadores de Holando (SCH) y el Instituto Nacional para el Mejoramiento Lechero (INML).

## **2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

El deterioro reproductivo en el ganado lechero tiene diferentes repercusiones en función de los sistemas productivos en que se enmarque. Sin embargo no deja de ser negativo en todos los casos. Esto se traduce en retrasos para reiniciar la actividad sexual posparto y en aumentos del número de servicios para lograr preñar nuevamente los animales. Como consecuencia se atrasa el inicio de las lactancias y aumentan los costos de preñar las vacas por el mantenimiento de animales no productivos, insumos para la reproducción, recursos humanos, dosis de semen y hormonas (Chang et al. 2005, González-Recio 2006).

La evolución de los sistemas lecheros uruguayos ha sido resumida por Durán (2007), en cinco modelos tecnológicos. Estos se diferencian en el grado de utilización e integración de las siguientes variables técnicas:

1. Rotación forrajera/sistema de laboreo del suelo.
2. Producción y uso de reservas forrajeras
3. Uso de alimentos concentrados
4. Dotación de vaca masa por hectárea
5. Uso del potencial genético animal

El primer modelo, pastoril Extensivo, fue el sistema de producción predominante entre las décadas del 30' y 60'. Tenía como base de alimentación el campo natural, con bajo nivel de cultivos anuales, praderas y reservas forrajeras. La productividad media por vaca masa (vm) en consecuencia era baja. En esta situación Uruguay se posicionaba como importador de lácteos (Durán, 2007).

El siguiente modelo, denominado pastoril Mejorado fue el predominante en la década del 70' y 80', presentaba la incorporación de la agricultura forrajera de leguminosas, la incorporación de fósforo como fertilizante de suelos y utilización de inoculantes (*Rhizobium*). Estos cambios permitieron la obtención de pasturas mixtas, leguminosas y gramíneas. Trajo como consecuencia aumentos en la productividad, en la dotación animal, vaca masa por hectárea (vm/ha), y disminución del uso de raciones (Durán, 2007).

El tercer modelo, Organizado, introdujo la planificación forrajera, nutricional y reproductiva. Incorporó cultivos forrajeros anuales, optimizando la utilización del recurso suelo sin uso de riego y logró un nuevo aumento en la dotación animal y productividad (Durán, 2007).

El cuarto modelo, Controlado, aumentó la producción en base a la utilización de ensilaje y concentrados. Duplicó la ración suministrada por vaca, permitiendo aumentar la vaca masa/hectárea y logrando una mejor utilización del forraje. El consumo de ensilaje y ración alcanzó un 35% de la dieta en base seca, logrando minimizar el efecto clima en la variación de la oferta de forraje y así una estabilidad productiva (Durán, 2007).

El modelo Avanzado por su parte presentó como única opción práctica la utilización del potencial genético animal, ya que 4700 litros/vaca implicaba aprovechar no más del 60% del mismo. La opción de explotar mejor el potencial genético del ganado Holando Uruguayo pasa necesariamente por el uso de cantidades mayores de concentrados y reservas forrajeras de calidad, para aumentar el consumo total de nutrientes. Este criterio fue planteado frente a la alternativa de disminuir la dotación para favorecer la selectividad y el consumo, puesto que ésta implica una menor producción total de leche por hectárea, dado que la caída de producción total al manejar una menor dotación, es mayor que el aumento de rendimiento individual esperado (Durán, 2007). Los resultados experimentales y de simulación físico-económica mostraron que

mejorando la calidad y cantidad de ración hasta un 30% de la dieta anual (1600 kg/vaca masa) y elevando la dotación a 1.07 vm/ha se obtenía con el mismo ganado un incremento de producción de leche significativo (Durán, 2007).

El último modelo surge a fines de la década del 90, es la sustitución del laboreo convencional en la agricultura por la utilización de la siembra directa, con opciones forrajeras que permitían eliminar o disminuir el laboreo del suelo, reduciendo la erosión, mejorando de propiedades físicas, generando mayor sustentabilidad, menor utilización de combustibles y mano de obra. Todo esto sin afectar la productividad de pasturas y cultivos para ensilar, manteniendo la misma carga animal, prácticas de manejo y suplementación.

En el Cuadro 1 se presenta la evolución de diferentes indicadores técnicos a través de los modelos productivos mencionados.

Cuadro No. 1 Características de los modelos de intensificación de la lechería uruguaya

	Extensivo	Mejorado	Organizado	Controlado	Avanzado	Avanzado*
<b>Dotación (vm/ha)</b>	0.3	0.5	0.7	1.0	1.07	1.07
<b>Producción (l/vm)<sup>1</sup></b>	2200	3800	4700	4800	6500	6700
<b>Producción (l/ha)<sup>2</sup></b>	760	2000	3200	4800	6900	7100
<b>Pradera (%)</b>	9	50	60	60	60	60
<b>Ensilaje</b>	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Alto	Alto
<b>Intervalo interpartos<sup>3</sup></b>	18	16	14	13	13	13
<b>Edad al entore<sup>3</sup></b>	36	18-24	18-24	18	15-18	15-18
<b>Época de parición</b>	Continuo	Variable	Otoño 50%	Otoño 50%	Otoño 100%	Otoño 100%

<sup>1</sup> Litros por vaca masa

<sup>2</sup> Litros por hectárea

<sup>3</sup> Variable medida en meses

\*Laboreo de siembra directa

Fuente: adaptado de Durán (2007)

En el proceso evolutivo de la lechería, tanto a nivel nacional como internacional, la fertilidad de los rodeos ha ido ganando mayor importancia económica. No obstante ello, desde fines de la década de los noventa se comenzó a reportar de forma global un deterioro sistemático de los indicadores reproductivos (Bousquet et al., 2004).

A nivel internacional se han presentado diversos trabajos, señalando que dicho deterioro podría ser de base genética. Teniendo como causa la intensa selección por

producción, sin haberse considerado las posibles consecuencias sobre otras características genéticamente correlacionadas y de importancia económica como las reproductivas (Lucy et al. 2001, Bousquet et al. 2004, González-Recio 2006).

En Uruguay, Rovere et al. (2007) analizando los quinquenios de 1997 al 2001 y 2001 al 2005 identificaron un aumento de los intervalos parto primer servicio y parto concepción. Estos fueron de 6 y 19 días para parto a primer servicio y parto-concepción respectivamente.

La fertilidad del rodeo, según Van Doormaal (2010), puede ser estudiada desde dos aspectos. Por un lado la fertilidad del semen o de machos y por otro la de hembras. El mismo autor manifiesta que estos dos componentes son totalmente independientes y afirma que toros con semen de alta fertilidad no tienen ningún impacto en la habilidad reproductiva de sus hijas.

En este sentido, para mejorar la fertilidad de un rodeo los machos deberían ser valorados a través del desempeño reproductivo de sus hijas, el cual es estimado mediante la cuantificación de diferentes características (Van Doormaal, 2010).

Frente a la diversidad de características reproductivas y metodologías de medición entre países, Jorjani (2006) realizó, para las evaluaciones genéticas internacionales, una clasificación en los siguientes cinco grupos:

1. Características que miden la habilidad para comenzar la vida reproductiva precozmente.
2. Características que miden la habilidad para concebir.
3. Características que miden la habilidad para llevar la gestación a término.
4. Características que miden la habilidad para resistir desórdenes de fertilidad.



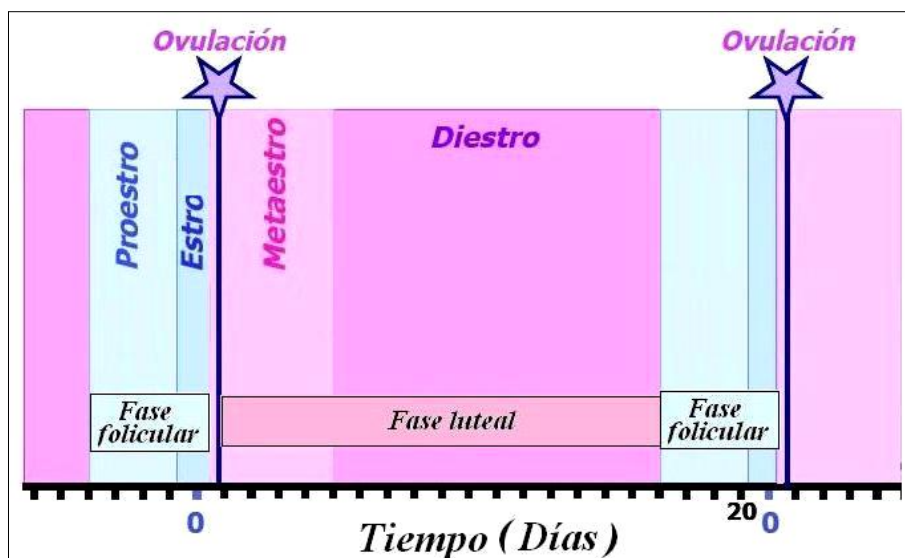
## 5. Características que miden la habilidad para reiniciar la ciclicidad reproductiva.

De acuerdo a esta clasificación, el intervalo interpartos conjuga la habilidad para presentar madurez y/o celo, concebir y llevar a término la gestación. El éxito de cada una de estas habilidades dependerá mayormente de una correcta regulación fisiológica hormonal. Un ciclo estral “normal” es fundamental por ser el punto de partida en el proceso reproductivo de las hembras.

### **2.2 CICLO ESTRAL EN BOVINOS**

El ciclo estral es el período de tiempo que transcurre entre dos estros visibles (García Sacristán, 1998). Los bovinos son una especie poliéstrica no estacional, es decir que presentan ciclo estral de forma continua durante todo el año. La duración de este tiene un rango que va de 16 a 24 días y un promedio de 20 a 21 (Hafez y Hafez, 2007). El estro o comportamiento estral es el momento en que la hembra acepta la monta del macho, este evento tiene una duración de 18 a 19 horas y se considera el día cero del ciclo (García Sacristán, 1998). Finalizado el comportamiento estral se produce la ovulación 10 a 11 horas más tarde (Hafez y Hafez, 2007).

El ciclo se divide en dos fases, luteal y folicular, en función de las estructuras presentes en el ovario. Cada una de estas a su vez presenta dos etapas, metaestro y diestro en la fase luteal, proestro y estro en la fase folicular (Senger, 2005). En la Figura 1 se muestra un esquema del ciclo con sus fases, etapas y el momento en que ocurre la ovulación.



Fuente: adaptado de Senger (2005).

Figura No. 1 Fases y etapas del ciclo estral en bovinos.

### 2.2.1 Control hormonal

La duración del ciclo, los cambios fisiológicos, fases y etapas están regulados por el eje porta hipotálamo-hipófisis, ovario y útero, mediante la variación en concentración e interacción de varias hormonas del sistema endócrino y neuro-endócrino (Senger, 2005).

Los estímulos externos, del sistema nervioso central y del ovario son procesados en el hipotálamo, el cual produce la regulación y secreción de la hormona

liberadora de gonadotropinas (GnRH). Ésta presenta dos centros de secreción, un centro denominado tónico, ubicado en el hipotálamo ventromedial y núcleo arqueado, que produce una secreción basal, en forma de pulsos, generando bajos niveles de concentración en sangre. El otro centro, denominado cíclico o pre ovulatorio, está ubicado en el núcleo pre óptico, área hipotalámica anterior y núcleo supraquiasmático, desde este también se produce GnRH a niveles basales, pero frente a un estímulo positivo y ausencia de progesterona (P4) la liberación es de forma masiva, generando altas concentraciones en un breve lapso de tiempo (Senger, 2005).

La GnRH una vez secretada se unirá a receptores de células hipofisarias, éstas producirán, también en forma pulsátil, la secreción de las hormonas gonadotropinas folículo estimulante (FSH) y luteinizante (LH) (García Sacristán, 1998).

Los pulsos de secreción varían la magnitud e intensidad a lo largo del ciclo, en función del sistema de estimulación (feedback positivo) e inhibición (feedback negativo) que las hormonas ováricas ejercen sobre el sistema hipotálamo hipófisis, permitiendo que se produzca el ciclo (García Sacristán, 1998).

Este mecanismo de autorregulación hormonal determina el cambio de fases y etapas del ciclo, para una mejor comprensión del mismo se presenta en el Cuadro 2 las diferentes hormonas participantes con su origen y funciones principales.

Cuadro No. 2 Principales hormonas reproductivas que participan en la regulación del ciclo estral

<b>Nombre</b>	<b>Origen y estructura</b>	<b>Función principal</b>
<b>Liberadora de gonadotropinas (GnRH)</b>	Hipotálamo basal medio. Decapéptido	Estimula la liberación tónica y cíclica preovulatoria de FSH y LH
<b>Oxitocina</b>	Hipotálamo y ovario, se almacena en la neurohipófisis. Proteica	Induce la liberación de PGF2 $\alpha$ en el endometrio
<b>Folículo estimulante (FSH)</b>	Adenohipófisis. Glucoproteína	Estimula el crecimiento folicular
<b>Luteinizante (LH)</b>	Adenohipófisis. Glucoproteína	Estimula la ovulación y formación del cuerpo lúteo
<b>Estradiol (E2)</b>	Folículo ovárico. Esteroide	Promueve el estro, estimula el desarrollo de características sexuales secundarias, efectos anabólicos
<b>Progesterona (P4)</b>	Cuerpo lúteo. Esteroide	Inhibe el estro, mantiene la gestación pico preovulatorio de LH
<b>Prostaglandina F2<math>\alpha</math></b>	Endometrio. Ácido graso.	Luteólisis
<b>Activina</b>	Células foliculares. Proteína	Estimula la secreción de FSH.
<b>Inhibina</b>	Células de la granulosa. Proteína	Reducen la secreción de FSH sin alterar la liberación de LH.

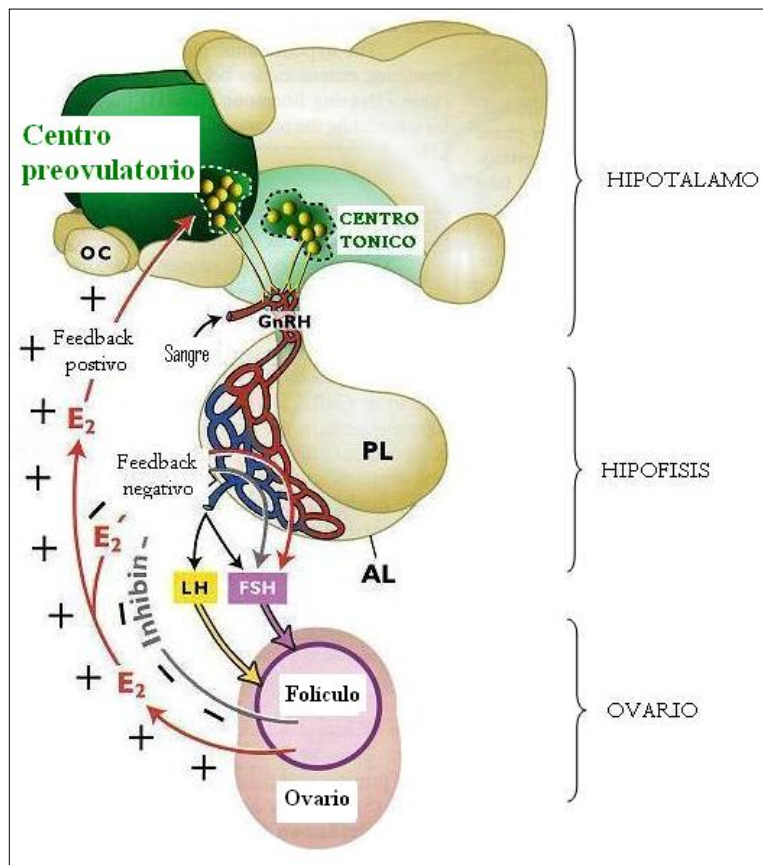
Fuente: Senger (2005).

### **2.2.2 Fase folicular**

Hafez y Hafez (2007) la define como el período que sucede a la luteólisis, a raíz de esto se produce una marcada reducción de los niveles de progesterona, aumento en la frecuencia de pulsos GnRH y por lo tanto de las hormonas folículo estimulante y luteinizante.

En la primera etapa, el proestro, se produce la maduración folicular, donde un folículo alcanzará un estado de desarrollo dominante y secretará mayor cantidad de estrógenos. A partir de esto se generará, por retro alimentación positiva, el estímulo necesario para la liberación de gonadotropinas desde el centro preovulatorio. El folículo dominante también secreta la hormona inhibina que actúa, como indica su nombre, inhibiendo la secreción de la hormona folículo estimulante.

En la segunda etapa, el estro, frente al estímulo positivo de los estrógenos sobre la GnRH y negativo de la inhibina sobre la FSH, se generará la liberación masiva o pico de la hormona luteinizante. Ésta producirá la ovulación del folículo dominante, que más tarde se transformará en cuerpo lúteo (Senger, 2005). En la Figura 2 se muestra un esquema de la autorregulación hormonal, retroalimentación positiva y negativa, en la fase folicular (Hafez y Hafez, 2007).

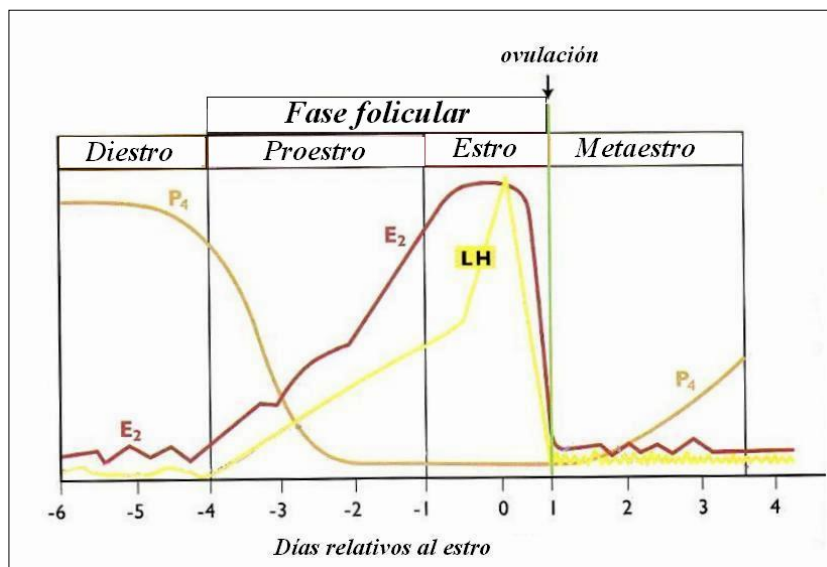


Fuente: adaptado de Senger (2005).

Figura No. 2 Dinámica hormonal entre el hipotálamo-hipófisis y el ovario durante la fase folicular.

Durante el proestro, un folículo alcanza el estado maduro o pre-ovulatorio atravesando varias etapas de desarrollo. Este proceso es denominado foliculogénesis, comienza desde antes del nacimiento de la hembra y es continuo. Si bien muchos folículos participan de este proceso, en bovinos, a causa de la degeneración o atresia de los mismos por acción de la hormona inhibina y estrógeno, sólo uno por ciclo alcanza el

estado maduro o pre ovulatorio (Hafez y Hafez, 2007). En la Figura 3 se puede observar el cambio en concentración de hormonas que se produce en torno a la maduración folicular.



Fuente: adaptado de Senger (2005).

Figura No. 3 Cambio en la concentración de hormonas durante la fase folicular.

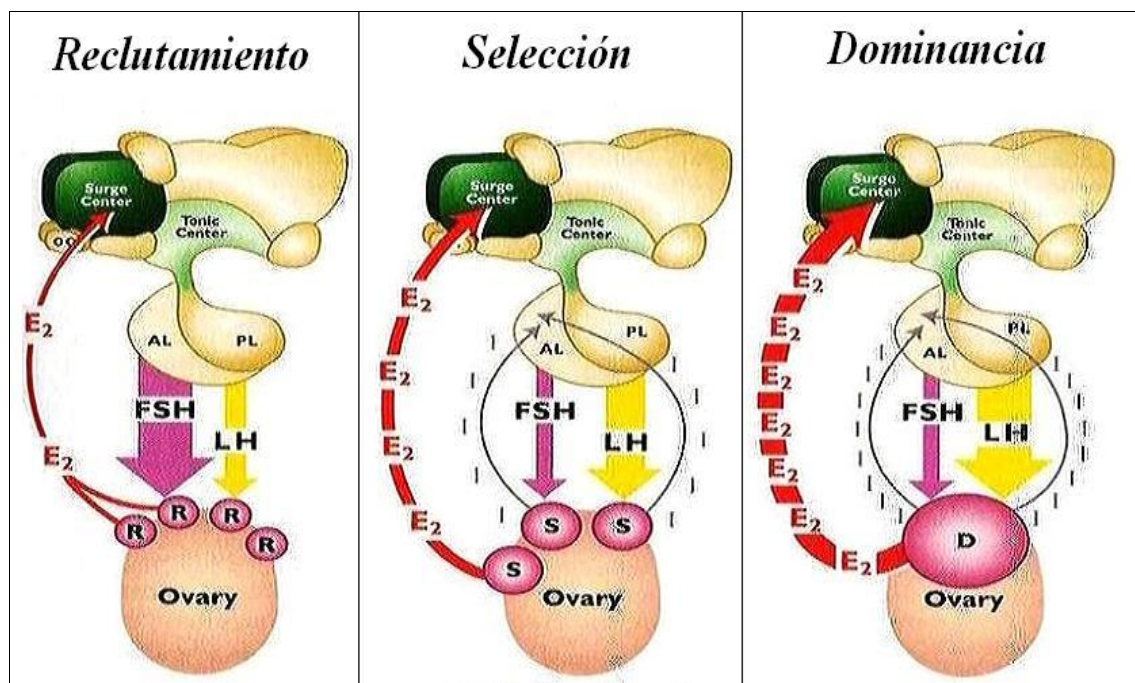
El proceso de foliculogénesis tiene una dinámica de funcionamiento el cual consiste en: reclutamiento, selección, dominancia y atresia de los folículos (Senger, 2005).

Durante el reclutamiento un grupo de folículos del pool inicial, comienzan a crecer rápidamente, produciendo pequeñas cantidades de estrógeno, con altos niveles de FSH, bajos de LH, ausencia de inhibina y estrógeno.

Luego algunos folículos son seleccionados los cuales pueden, continuar

desarrollándose para alcanzar el estado de desarrollo dominante o volverse atrésicos. En esta etapa la inhibina y FSH se encuentran a niveles bajos, mientras que la LH comienza a mostrar una concentración moderada.

En el estado dominante, el folículo se encuentra secretando grandes cantidades de estradiol, mientras que la inhibina y LH se encuentran a altas concentraciones y la FSH se mantiene baja, siendo inminente la ovulación. En la Figura 4 se pueden ver las diferentes etapas de la dinámica folicular y su concentración hormonal correspondiente.



Fuente: adaptado de Senger (2005).

Figura No. 4 Concentración relativa de FSH, LH, inhibina y estradiol para los folículos reclutados, seleccionados y dominantes.

El proceso de foliculogénesis conlleva cambios de los folículos a nivel



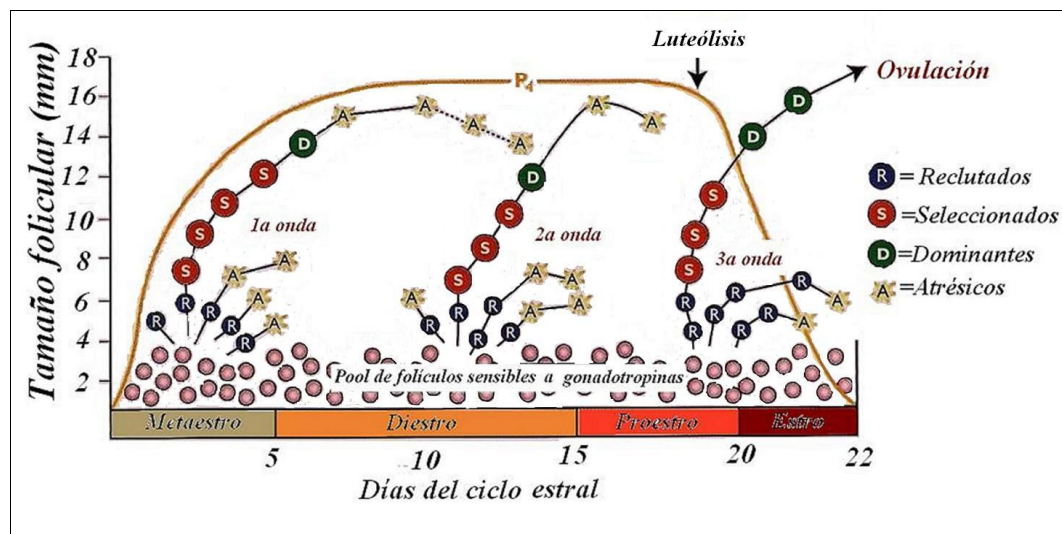
fisiológico, en multiplicación y transformación celular. A partir esto se los puede clasificar en primordiales, primarios, secundarios y terciarios.

En el estado primordial los folículos se encuentran en un estado latente y están compuestos por el ovocito, una capa de células de la granulosa y membrana basal.

En el estado primario los folículos ya fueron seleccionados, están activados y presentan una capa de células granulosas cuboides y membrana basal. En el estado secundario tienen varias capas de células de la granulosa y membrana basal.

Finalmente el grado terciario, comprende la etapa de dominancia, los folículos están compuestos por ovocito, células de la granulosa, células tecaes, membrana basal y antro en formación, maduro o de Graaf.

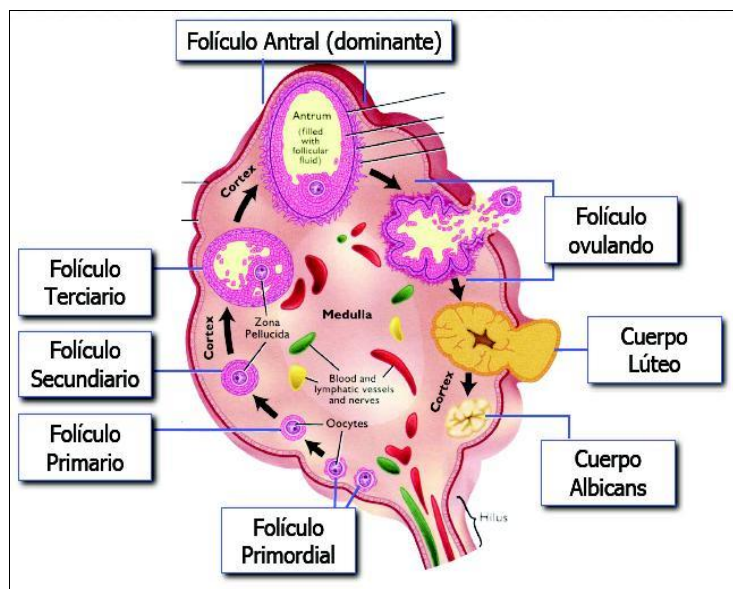
Este proceso de maduración fisiológica de los folículos se produce en forma de ondas ininterrumpidas durante el ciclo estral. En la Figura 5 se observa un esquema del desarrollo folicular y el proceso de desarrollo dentro de cada onda.



Fuente: adaptado de Senger (2005).

Figura No. 5 Ondas de maduración folicular durante el ciclo estral.

En la Figura 6 se presenta el ciclo de desarrollo de un folículo, desde primordial hasta la formación y degeneración del cuerpo lúteo.



Fuente: adaptado de Senger (2005).

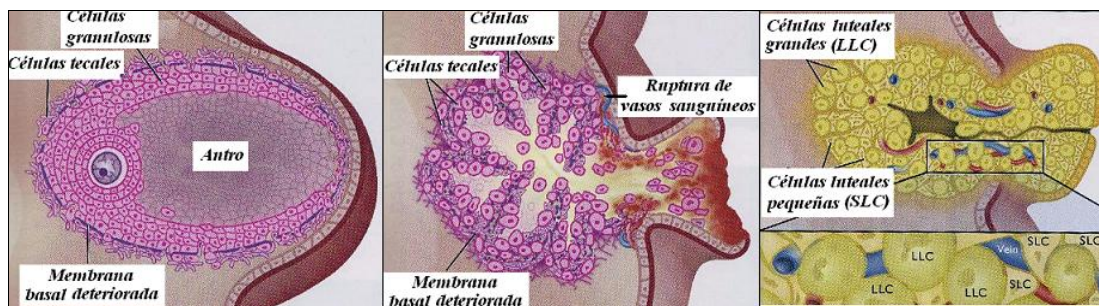
Figura No. 6 Cambios morfo fisiológicos de los folículos desde reclutamiento hasta formación y degeneración del cuerpo lúteo.

### 2.2.3 Fase luteal

El día de ovulación se considera el primer día del ciclo estral, marca el fin de la fase folicular y comienzo de la fase luteal que se extiende en promedio 17 días (Senger, 2005). Esta se subdivide en las etapas metaestro y diestro, se caracteriza por la formación y lisis cuerpo lúteo, y la elevada concentración de progesterona secretada por este. La progesterona ejerce una retro alimentación negativa sobre el hipotálamo, produciendo liberaciones basales de GnRH.

Luego de la ovulación el folículo se transforma en cuerpo hemorrágico y luego

en cuerpo lúteo. En este proceso las células de la granulosa del folículo que ocupan el antro se transforman en células luteales mediante una hipertrofia, causada por las hormonas folículo estimulante y luteinizante. Las células tecales también se transformarán en luteales, contribuyendo al tamaño del cuerpo lúteo. En la Figura 7 se pueden ver imágenes del folículo, en diferentes etapas del proceso de transformación en cuerpo lúteo.



Fuente: adaptado de Senger (2005).

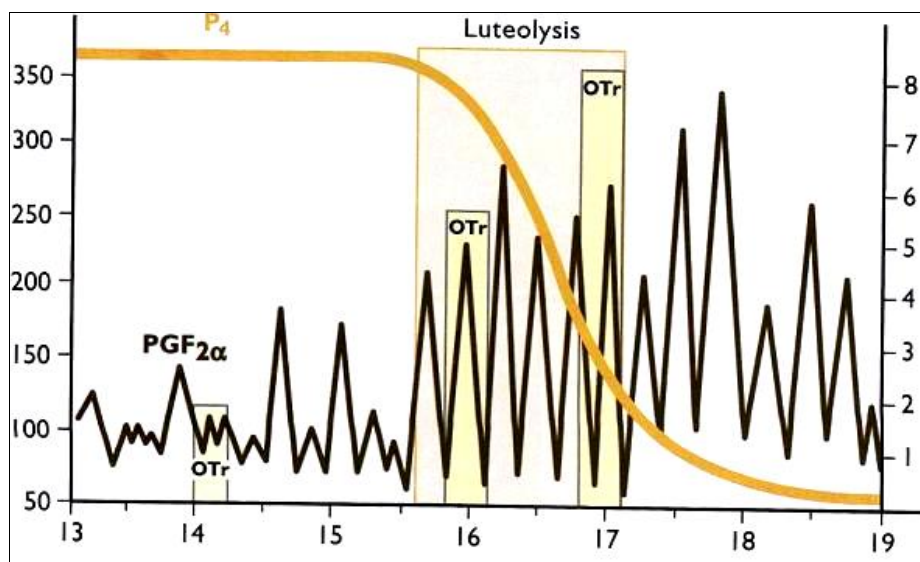
Figura No. 7 Formación del cuerpo lúteo.

La fase luteal concluye con la luteólisis, proceso regulado por la hormona prostaglandina  $F_{2\alpha}$  ( $PGF_{2\alpha}$ ) en conjunto con la oxitocina. Durante la fase luteal la progesterona mantiene inhibidos los receptores de estradiol, no permitiendo la formación de receptores de oxitocina. Hacia el final de esta fase disminuyen los receptores de progesterona en el útero, al mismo tiempo que aumentan los de estrógeno induciendo la formación de receptores de oxitocina en el endometrio.

La oxitocina, de origen hipofisario u ovárico, al unirse a sus receptores producirá las liberaciones de  $PGF_{2\alpha}$ . Esta por un mecanismo de contracorriente de la vena útero-ovárica a la arteria ovárica, alcanzará el ovario produciendo la lisis del

cuerpo lúteo, lo que dará comienzo a la fase folicular y posterior reinicio del ciclo.

La Figura 8 muestra el cambio en la concentración de progesterona ( $P_4$ ) durante la luteólisis, el incremento de receptores de oxitocina (OTr) y de  $PGF_{2\alpha}$ .



Fuente: adaptado de Senger (2005).

Figura No. 8 Cambios en la concentración de progesterona, oxitocina y receptores de oxitocina durante el diestro tardío y proestro.

### 2.3 FACTORES QUE AFECTAN LA FERTILIDAD

Uno de los principales factores que afectan la fertilidad son las altas tasas de producción individual, éste ha sido reportado como característica antagonista de la fertilidad en numerosos estudios (Nebel y McGilliard 1993, Lucy et al. 2001, González-

Recio 2006, Sewalem et al. 2010).

Los altos niveles de producción se descomponen en un conjunto de factores tanto genéticos como ambientales, entre los cuales se debe destacar el alto mérito genético productivo y el ambiente nutricional (Lucy, 2001).

### **2.3.1 Factores genéticos**

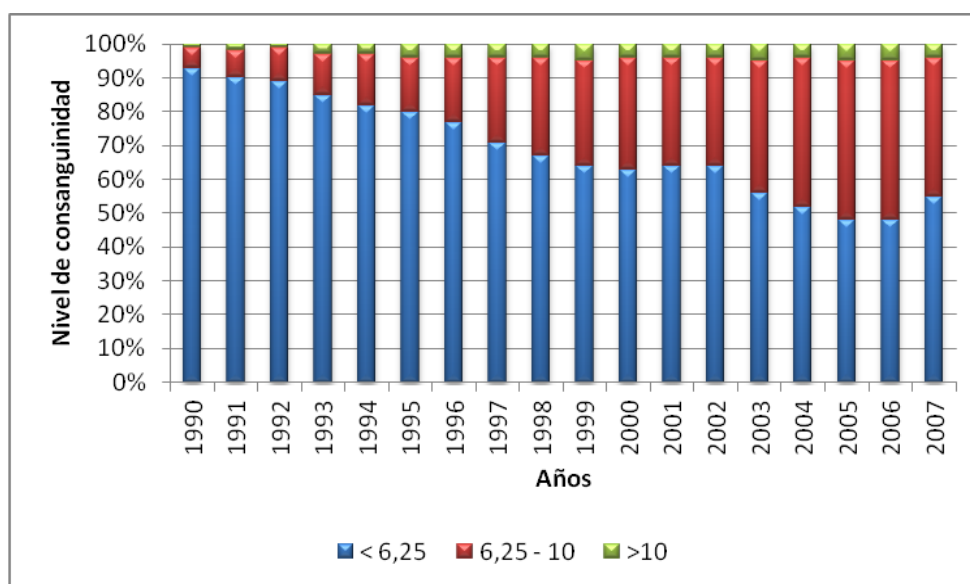
En los programas de mejoramiento genético del ganado de leche a menudo no se ha tenido en cuenta la correlación negativa entre las características productivas y reproductivas, en consecuencia el desempeño reproductivo ha disminuido durante el proceso de selección animal. Mientras en la década del 70 en Estados Unidos el porcentaje de preñez de hijas al primer servicio era de 30%, en el año 2005 se registró un nivel de 22,57% (UNITED STATES OF AMERICA. ARS. AIL, 2012).

Además de altos valores de cría productivos, otro efecto genético perjudicial es el causado por la consanguinidad, el cual además adquiere importancia sobre características de baja heredabilidad como las reproductivas (Falconer, 1985). En este sentido, Hermas et al. (1987a) estimaron, para una población de animales de la raza Guernsey, que cada 1% de consanguinidad aumentaba en 0,17% los servicios por concepción, en 2 los días abiertos, en 3,7 días la edad al primer servicio y disminuía en 3,3% la concepción a 1° servicio. En este estudio los animales tenían un rango de consanguinidad que iba de 0 a 25% y una media de 4,1% (Hermas et al. 1987a, Hermas et al., 1987b).

González-Recio (2006), en una población española de la raza Holando, observaron que el porcentaje de preñez bajaba 1,68% cuando se pasaba de 6,25 a 12,5%

de consanguinidad.

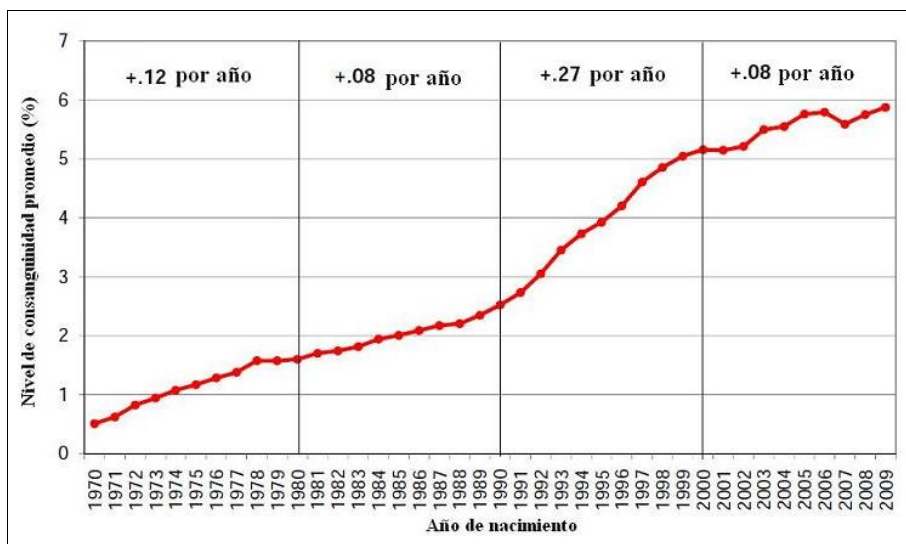
En rodeos canadienses, se estudió la evolución de tres niveles de consanguinidad (Figura 9), encontrando que la proporción de animales que presentaban una consanguinidad media, de 6,25 a 10%, había aumentado de forma continua desde el año 1990. De forma inversa, la proporción de animales con menos de 6,25% de consanguinidad se redujo desde la misma fecha (CANADA. CDN, 2010).



Fuente: adaptado de CANADA. CDN (2010).

Figura No. 9 Distribución de tres niveles de endogamia para ganado Holstein Canadiense por fecha de nacimiento.

Se observó además que el aumento proporcional de la clase de consanguinidad media elevó el promedio de consanguinidad de la población. En la Figura 10 se puede observar la evolución de esta variable.



Fuente: adaptado de CANADA. CDN (2010).

Figura No. 10 Tendencia de endogamia de la población Holstein de Canadá.

En la Figura 10 se puede observar el valor de la pendiente de la curva por década, siendo la correspondiente al 90' la más alta.

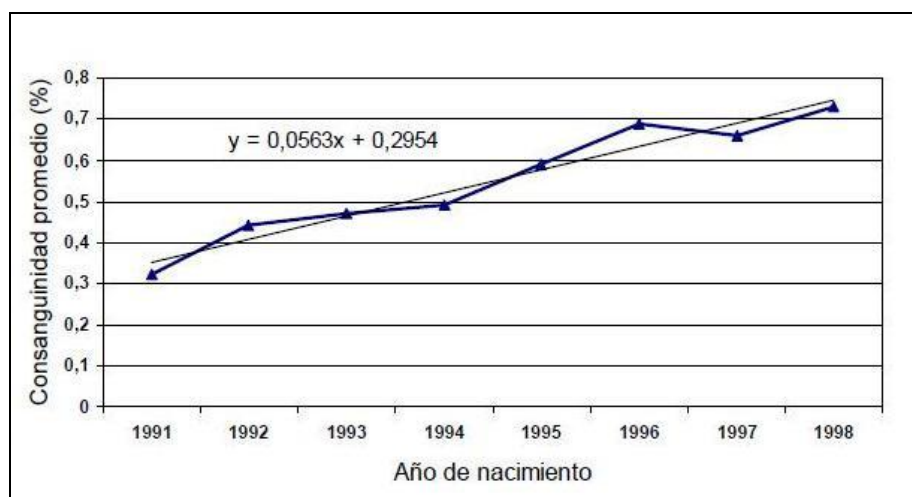
Van Doormaal (2010) estimó el impacto negativo de la consanguinidad en esta población para rasgos productivos, reproductivos y de conformación. Este obtuvo que por cada un 1% de consanguinidad la producción de leche a 305 días disminuía 18,4 kg, en tanto la edad al primer servicio y el intervalo interpartos aumentaban 0,35 y 0,31 días respectivamente y la longevidad se reducía en 13,1 días.

En Estados Unidos se reporta una situación similar. Estudios realizados por UNITED STATES OF AMERICA. ARS. AIPL. (2012) mostraron que el porcentaje promedio de endogamia aumentó de forma constante desde principios de la década del 90, pasando de 3,72% a 5,84% dentro del período de 1995 al 2012, representando esto un incremento de 0,16% por año.

A nivel nacional la consanguinidad promedio para la población de ganado



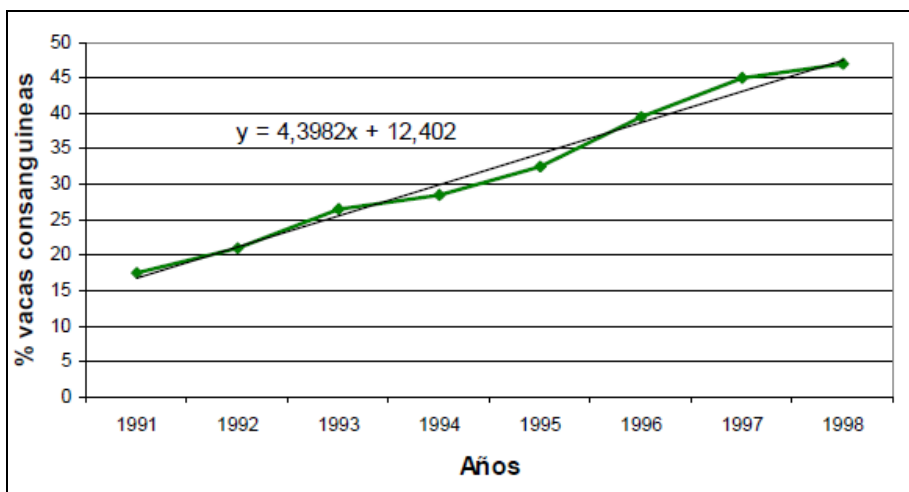
Holando fue estimada por Aguilar et al. (2000). Para el período comprendido este estudio indicó que los niveles de consanguinidad de nuestro ganado lechero también han aumentado. Se presentan en la Figura 11 la evolución de consanguinidad media para el ganado Holando de Uruguay.



Fuente: adaptado de Aguilar et al. (2000).

Figura No. 11 Evolución del porcentaje de consanguinidad promedio por fecha de nacimiento para ganado Holstein de Uruguay.

Se puede observar que el incremento para Uruguay ha sido de 0,056% anual, menor en comparación con Estados Unidos y Canadá. Sin embargo la incidencia de la consanguinidad ha aumentado notablemente para el mismo período (Figura 12).



Fuente: adaptado de Aguilar et al. (2000).

Figura No. 12 Evolución de genes comunes.

El porcentaje de vacas consanguíneas pasó de 12 a 47% en un período de 8 años. Si bien las estimaciones no son tan recientes y podrían esperarse cambios de tendencia o de magnitud de la pendiente posterior a 1998, este factor se ha incrementado en nuestros rodeos. Es conocido el probado efecto negativo de la consanguinidad en los rasgos de interés económico, especialmente en los reproductivos (Falconer, 1985).

### **2.3.2 Factores ambientales**

Dentro de los efectos ambientales, aquellos asociados a la nutrición forman parte del paquete que contribuye a la mayor producción, por lo que podrían generar un efecto adverso sobre la fertilidad.

En un estudio realizado por Mitchell et al. (2005), donde estimaron el grado de asociación entre la concentración de nitrógeno en la leche (como indicador del porcentaje de proteína) y días abiertos para animales de primera y segunda lactancia, obtuvieron correlaciones de 0,21 y 0,41 para primera y segunda lactancia respectivamente. Esto indicaría que a mayor concentración de proteína en la leche mayor sería el rango de días abiertos, siendo esta relación más directa para animales de segunda lactancia.

El alto nivel de producción también presenta efectos indirectos, la actividad metabólica asociada a la lactación es una fuente importante de calor (West, 2003). Al-Katanani et al. (1999) realizaron un estudio donde medían el porcentaje de no retorno a 90 días dentro de un año calendario. Estos investigadores observaron que la infertilidad era máxima en los meses más calientes (junio, julio y agosto del hemisferio norte), pero variaba en función del nivel de producción animal y la locación (Sur, Norte de Florida y Georgia).

En este estudio el nivel productivo se dividió en tres clases, menor de 4536 kg., de 4536 a 9072 y mayor a 9072, siendo el grupo de mayor nivel de producción el que presentó los niveles de fertilidad más bajos en todo el año y especialmente en los meses más cálidos (Al-Katanani et al., 1999). Esta reducción en desempeño, se encuentra generada por el estrés térmico, el cual es producto de condiciones climáticas (temperaturas, humedad, viento, radiación) y tolerancia animal (Gwazdauskas, 1985). En situaciones de estrés se estaría afectando el normal funcionamiento reproductivo,

como consecuencia de desordenes fisiológicos que afectan el sistema digestivo, el sistema químico ácido base y hormonas (Rensis y Scaramuzzi 2003, West 2003).

En un estudio realizado por Ravagnolo y Misztal (2002a) se utilizó un índice que consideraba la temperatura y humedad, para analizar el efecto climático sobre la reproducción. Las mediciones fueron registradas al momento de la inseminación de vacas en diferentes etapas de lactancia – edad y la fertilidad se midió como la tasa de no retorno a los 45 días. El estrés térmico presentaba un impacto negativo en la fertilidad, pero diferente en función de la etapa de lactancia y nivel de producción individual. La fertilidad en este estudio se vio afectada a través de la viabilidad de los gametos y el desarrollo de embriones (Ravagnolo y Misztal, 2002b).

El número de lactancia de los animales es otro factor que también ejerce un efecto sobre la fertilidad. El instituto “Canadian dairy network” mostró que en la medida que las vacas envejecen ocurre un decrecimiento normal en su habilidad para concebir, se observó un porcentaje de no retorno a 56 días de 79,3% y de 67,2% para vacas de primer y segundo parto respectivamente (CANADA. CDN, 2002).

Las características reproductivas se encuentran entonces afectadas por varios factores. Estudios realizados muestran que las estimaciones de heredabilidad son bajas a muy bajas (Olori et al. 2003, Biffani et al. 2004, Jamrozik et al. 2005, Harris et al. 2006, Jagusiak y Zarnecki 2007, Liu et al. 2008) (Cuadro 3).

Cuadro No. 3 Estimaciones de heredabilidades de características reproductivas por país

<b>País</b>	<b>Autor</b>	<b>Características</b>	<b>heredabilidad</b>
<b>Canadá</b>	Jamrozik et al. (2005)	DO	0,11
<b>Irlanda</b>	Olori et al. (2003)	CI 1 – 2	0,05
		CI 2 – 3	0,03
		CI 3 – 4	0,03
<b>Italia</b>	Biffani et al. (2004)	CI	0,07
<b>Nueva Zelandia</b>	Harris et al. (2006)	DO	0,03
<b>Polonia</b>	Jagusiak y Zarnecki (2007)	DO	0,05
<b>Suiza</b>		DFS	0,06
<b>Alemania</b>	Liu et al. (2008)	DO	0,03
<b>Austria</b>			
<b>Luxemburgo</b>			

Fuente: adaptado de los autores que figuran en la columna precedente.

Del Cuadro 3, teniendo en cuenta que los estudios fueron realizados por diferentes autores con diferentes metodologías, sobre diferentes poblaciones y en diferentes años, se puede considerar como aspecto común entre las características reproductivas sus bajos niveles heredabilidad, sugiriendo desde un punto de vista práctico, un lento progreso genético de estas características, dado que la “cuota” genética transmisible es baja, también lo será la diferencia o mejora esperada en futuras generaciones.

Cada una de las características representa una habilidad o en algunos casos varias habilidades reproductivas (Jorjani, 2006). Esto se puede observar más objetivamente al estudiar el grado de asociación entre éstas (Cuadro 4).

Cuadro No. 4 Estimaciones de heredabilidad de características reproductivas y su correlación genética

Fuente	Característica 1	Característica 2	$h^2_1$	$h^2_2$	$ra^1$
<b>Andersen-Ranberg et al. (2005)</b>	D1°S <sup>2</sup>	NR56 <sup>7</sup>	0,03	0,01	0,24
<b>Campos et al. (1994)</b>	DA <sup>3</sup>	IIP	0,052	0,098	0,67
<b>González-Recio (2006)</b>	IIP <sup>4</sup>	DA	0,04	0,04	0,99
<b>González-Recio (2006)</b>	P56 <sup>5</sup>	D1°S	0,04	0,05	-0,82
<b>Hansen et al. (1981)</b>	DA	D1°S	0,02	0,03	0,94
<b>Montaldo et al. (2010)</b>	IIP	E1°P <sup>8</sup>	0,01	0,28	0,048
<b>Seykora et al. (1983)</b>	DA	E1°P	0,05	0,05	0,09
<b>Veerkamp et al. (2001)</b>	IIP 1-2 <sup>6</sup>	D1°S	0,036	0,07	0,92

<sup>1</sup> Correlación genética aditiva

<sup>2</sup> Días de parto a primer servicio

<sup>3</sup> Días abiertos

<sup>4</sup> Intervalo interpartos

<sup>5</sup> Porcentaje de preñez a 56 días

<sup>6</sup> Intervalo entre 1° y 2° parto

<sup>7</sup> Rango de no retorno a 56 días

<sup>8</sup> Edad al primer parto

Las correlaciones observadas toman valores en su mayoría favorables y de media a alta asociación. Para el caso de la correlación obtenida por González-Recio (2006) entre días a primer servicio y porcentaje de preñez a los 56 días se observa un valor negativo. Estas dos características miden la eficiencia reproductiva de forma

diferente, los días a primer servicio representan el intervalo desde el parto al primer servicio y el porcentaje de preñez a 56 días la proporción de animales que recibieron un servicio y 56 días después no presentaron comportamiento estral. De esta manera una correlación negativa entre estas características no significa una asociación desfavorable, cuanto menores sean los días a primer servicio antes podrán concebir los animales y la proporción de animales que no presentarán comportamiento estral 56 días pos servicio será mayor.

La asociación entre el intervalo interpartos y días abiertos, obtenida por Campos et al. (1994) presentó una estimación de 0,67; mientras que González-Recio (2006) obtuvieron un valor de 0,99. Desde un punto de vista estadístico, frente a valores tan altos como el obtenido por González-Recio (2006) resultaría indistinto realizar la selección o valoración animal por una u otra característica, sin considerar que estas representan diferentes habilidades reproductivas.

Para el caso de Campos et al. (1994), realizar la selección o valoración animal por ambas características (días abiertos e IIP) presentaría un efecto sinérgico sobre la fertilidad, generando de esta manera una mejora más global sobre el perfil reproductivo.

Las diferencias observadas entre las estimaciones de heredabilidad y correlaciones, tienen como base las poblaciones animales. De acuerdo a la diversidad de factores que actúan sobre una y otra población, éstas pueden presentar diferentes componentes de varianza sobre una misma característica y por lo tanto diferentes valores estimados.

## 2.4 RELACION ENTRE PRODUCCIÓN Y REPRODUCCIÓN

Con el objetivo de aumentar los márgenes productivos y de ganancia, la selección genética se ha dirigido hacia mayores niveles de producción individual, causando un deterioro involuntario de aspectos reproductivos (Bascom y Young, 1998).

Bousquet et al. (2004) presentaron una revisión sobre la disminución en performance reproductiva, citando el ejemplo de Estados Unidos donde el porcentaje de preñez a primera inseminación bajó a una tasa de 0.45% por año durante un período de 20 años (Butler y Smith 1989, Beam y Butler 1999, Bousquet et al. 2004).

En un estudio realizado en la Universidad de Carolina del Norte se evaluó la performance reproductiva de las razas Jersey y Holstein. Se analizaron los días abiertos y servicios por concepción en diferentes períodos, a partir de lo cual se observó un deterioro de ambos indicadores, aunque diferente por raza (Cuadro 5) (Washburn et al., 2002).

Cuadro No. 5 Parámetros reproductivos según período y raza

Característica	Días abiertos		Servicios/concepción	
	Holstein	Jersey	Holstein	Jersey
<b>Período</b>				
<b>1976-1978</b>	124	122	1,91	1,91
<b>1997-1999</b>	168	152	2,94	2,94

Fuente: adaptado de Washburn et al. (2002).

La pérdida de eficiencia reproductiva, no sólo se observa en Estados Unidos. En Inglaterra el porcentaje de preñez a 1° servicio se redujo a una tasa del 1% anual en los últimos 20 años (Royal et al., 2002). En Irlanda el intervalo interpartos pasó de 385 a 395 días del año 1991 al 2000 (Mee, 2004).



En Canadá se estimó que la producción individual promedio aumentó de 6800 a 8800 kg de leche por lactancia en la década del 90 (Bousquet et al., 2004). De forma paralela, el porcentaje de preñez a 1° inseminación cayó de 44% a 39%, observándose además un 15% más de preñez a 1° inseminación en animales de baja producción (Bousquet et al., 2004).

Con vacas de primera lactancia en Canadá, se estimó la asociación entre la producción de leche a los 90 días con el porcentaje de no retorno a los 56 días, los días de parto a primer servicio y de primer servicio a concepción, habiéndose obtenido una correlación de -0,13, 0,29 y 0,12 respectivamente (Sewalem et al., 2010). Las asociaciones encontradas fueron desfavorables, variable según la característica que se este midiendo pero siempre demostrando un impacto negativo de la producción sobre la fertilidad.

La asociación entre caracteres de producción y reproducción a nivel genético ha sido estudiada por diversos autores. Algunas de estas se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro No. 6 Heredabilidades ( $h^2$ ) y correlaciones ( $r_a$ ) de características productivas y reproductivas

Fuente	Característica 1	Característica 2	$h^2_1$	$h^2_2$	Ra
Montaldo et al. (2010)	IIP <sup>1</sup> -1*	PLE <sup>6</sup> -1*	0,01	0,17	-0,449
Montaldo et al. (2010)	IIP-2*	PLE-2*	0,02	0,19	-0,011
Montaldo et al. (2010)	IIP-3*	PLE-3*	0,01	0,12	-0,173
González-Recio (2006)	D1°S <sup>2</sup>	L <sup>7</sup>	0,05	0,19	0,58
González-Recio (2006)	DA <sup>3</sup>	L <sup>8</sup>	0,05	0,19	0,74
Andersen-Ranberg. et al (2005)	D1°S	PP 305	0,03	0,21	0,47
Castillo-Juarez et al. (2000)	%P <sup>4</sup>	PL	0,01	0,27	-0,41
Abddalah y McDaniel (2000)	DA	PL(G) <sup>9</sup>	0,03	0,25	0,62
Dematawewa y Berger (1998)	DA	L 305	0,042	0,196	0,628
Dematawewa y Berger (1998)	DA	PP	0,042	0,179	0,587
Dematawewa y Berger (1998)	NS <sup>5</sup>	L 305	0,028	0,196	0,436
Dematawewa y Berger (1998)	NS	PP	0,028	0,179	0,418
Campos et al. (1994)	DA	PP	0,052	0,271	0,249
Hansen et al. (1983)	DA-1*	L-1* 305	0,02	0,16	0,34
Hansen et al. (1983)	DA-2*	L-2* 305	0,03	0,11	0,31
Hansen et al. (1983)	DA-3*	L-3* 305	0,03	0,1	0,17
Seykora y Mc Daniel (1983)	DA	L	0,05	0,27	0,54
Berger et al. (1981)	DA-1*	L(G)-1* 305	0,02	0,24	0,62
Berger et al. (1981)	DA-2*	L(G)-2* 305	0,03	0,18	0,15
Berger et al. (1981)	DA-3*	FCM-3* 305	0,05	0,14	0,18

<sup>1</sup> Intervalo interpartos

- <sup>2</sup> Días de parto a 1° servicio
- <sup>3</sup> Días abiertos
- <sup>4</sup> Porcentaje de concepción
- <sup>5</sup> Número de servicios por concepción
- <sup>6</sup> Producción de leche equivalente
- <sup>7</sup> Producción de proteína, 305 producción corregida a 305 días
- <sup>8</sup> Producción de leche corregida a 305 días
- <sup>9</sup> Producción de leche corregida por grasa
- \* 1, 2 y 3 corresponden al número de parto

En el Cuadro 6 la columna titulada “Característica 1” corresponde a los caracteres reproductivos, mientras que la titulada “Característica 2” a los productivos. La heredabilidad de los caracteres reproductivos tiene un promedio de 0,03, mientras que los productivos presentan heredabilidades mayores, con un promedio de 0,20.

La correlación genética aditiva entre éstos es variable en función de las características estudiadas. Sin embargo, a excepción de las estimaciones obtenidas por Montaldo et al. (2010) sobre rodeos lecheros de México, todas tienen como factor común una asociación desfavorable.

Con respecto a las estimaciones obtenidas por Montaldo et al. (2010), estos autores manifiestan que la asociación positiva entre producción y reproducción encontrada podría deberse a efectos ambientales productivos muy favorables en los sistemas lecheros a los cuales pertenecía la población estudiada.

La selección por producción además pudo haber agudizado el antagonismo entre producción y reproducción, estando explicado esto por cambios generados a nivel del sistema endocrino, a través de alteraciones en características fisiológicas básicas como la fertilidad y la lactación (Bousquet et al. 2004, González-Recio 2006). En relación a estos aspectos se encontró que la selección a favor de la producción aumentó las concentraciones sanguíneas de la hormona somatotropina y prolactina, ambas estimulantes de la lactación. Por otro lado disminuyó la concentración de insulina, la

cual es antagonista de la lactación y tiene un papel importante en el desarrollo de los folículos (Nebel y McGilliard, 1993).

La foliculogénesis además es perjudicada por balances energéticos negativos, situación que es común al inicio de las lactancias y especialmente en animales de alto desempeño productivo. Esta situación es aún más grave en animales jóvenes dado que éstos presentan mayores requerimientos energéticos debido al crecimiento corporal (Lucy, 2001). El déficit energético afectaría el desarrollo folicular mediante la disminución en la concentración de LH e insulina, ambas hormonas de acción sinérgica en la foliculogénesis (Lucy, 2001).

Beam (1999) estudiando vacas bajo un balance energético negativo, también observó que estas requerían más tiempo para lograr un folículo ovulatorio y mayores concentraciones de estrógeno para ovular.

En función del deterioro atravesado y a la importancia de la reproducción en los sistemas lecheros, se ha comenzado a considerar la fertilidad como un criterio de selección animal. A partir de las estimaciones obtenidas de parámetros genéticos reproductivos y la asociación de estos con la producción, se han incorporado a los índices de selección de varios países alguna característica reproductiva a fin de atenuar o revertir el deterioro en reproducción, lo cual, no obstante las bajas heredabilidades en rasgos reproductivos, es una medida efectiva. Un ejemplo de esto se puede apreciar en las tendencias genéticas de Estados Unidos, donde información publicada por UNITED STATES OF AMERICA. ARS. AIL (2012) mostró una tendencia al alza del valor de cría promedio de los toros evaluados por el porcentaje de preñez de sus hijas. Este indicador había descendido de +7,08 a -1,36 entre 1957 y el 2002, alcanzando en el 2010 un valor promedio de +0,51.

Para los sistemas lecheros uruguayos a fin de generar un índice de selección, se determinó el valor económico de caracteres productivos, reproductivos y de

conformación (Rovere et al., 2010). Como carácter reproductivo consideraron el intervalo interpartos, característica sobre la cual no se habían realizado estimación de sus parámetros genéticos hasta el momento.

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

Se utilizó una base de datos generada a partir de registros de los productores socios del INML, la cual presentaba información de 369003 lactancias correspondientes a 139265 vacas, de 328 tambos dentro del período de 1990 al 2011.

Previo a la realización de los análisis estadísticos la misma fue editada, con la finalidad de eliminar datos que fueran fuentes de error. Los registros eliminados fueron los que presentaban por lo menos una de las siguientes condiciones:

- Sin fecha de nacimiento.
- Lactancias con fecha de parto anterior a 1995.
- Intervalo interpartos fuera del rango de 10 a 24 meses.
- Edad al primer parto fuera del rango de 22 a 48 meses.
- Vacas sin primera lactancia registrada.
- Vacas sin lactancias continuas.
- Registros de producción de leche corregida a 305 días fuera del rango de 1500 a 12500 kg.

Luego de la edición la base de datos reunió 257.835 registros de lactancias, pertenecientes a 105.045 vacas correspondientes a 307 tambos.

### 3.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El intervalo interpartos (IIP) y la producción de leche a 305 días (L305) fueron analizadas en primera instancia mediante dos modelos de efectos fijos, con el objetivo de comprobar la significancia estadística de cada uno de los efectos que éstos contenían.

En el primer modelo se consideraron los efectos fijos de forma individual, mientras que en el segundo se consideró la interacción de algunos efectos.

En función de los resultados obtenidos, el IIP fue luego analizado de forma conjunta con L305 mediante un modelo animal bi-variado.

#### 3.1.1 Modelos fijos

El primer modelo (1) presentó como efectos fijos la lactancia, edad al momento del parto, mes de parto, año de parto, tambo y clase de producción. El segundo (2) modelo presentó los mismos efectos que el anterior y en adición la interacción entre lactancia y edad. Ambos modelos se presentan a continuación.

$$1. \text{ IIP}_{ijklmn} = \mu + \text{tambo}_i + \text{año}_j + \text{mes}_k + \text{lclase}_l + \text{lact}_m + \text{edad}_n + e1_{ijklmn}$$

$$\text{L305}_{ijklm} = \mu + \text{tambo}_i + \text{año}_j + \text{mes}_k + \text{lact}_l + \text{edad}_m + e2_{ijklm}$$

$$2. \text{ IIP}_{ijklm} = \mu + \text{tambo}_i + \text{año}_j + \text{mes}_k + \text{lclase}_l + \text{laed}_m + e2_{ijklm}$$

$$\text{L305}_{ijklm} = \mu + \text{tambo}_i + \text{año}_j + \text{mes}_k + \text{laed}_l + e3_{ijkl}$$

Donde:

- IIP= intervalo interpartos
- L305= producción de leche corregida a 305 días
- $\mu$  = Intervalo interpartos promedio de la población.
- Tambo = Efecto del tambo del  $i$ -ésimo registro, 307 clases.
- Año = Efecto del año (1995-2010) a la fecha de parto del  $j$ -ésimo registro, 16 clases.
- Mes = Efecto del mes a la fecha de parto del  $k$ -ésimo registro.
- Lclase = Efecto de clases de producción de leche a 305 días del  $i$ -ésimo registro (ver cuadro No. 10).
- Lact = Efecto del número de lactancia del  $m$ -ésimo registro (1-5).
- Edad = Efecto de la clase de edad del  $n$ -ésimo registro (ver cuadro No. 9).
- Laed= Efecto de clase de lactancia, edad y la interacción de estas del  $m$ -ésimo registro (ver cuadro No. 11).
- $e1$  = error residual del  $ijklmn$ -ésimo registro.
- $e2$  = error residual del  $ijklm$ -ésimo registro.
- $e3$  = error residual del  $ijkl$ -ésimo registro.

La edad fue dividida en 12 clases, debido a que es un efecto que presenta una variación continua. El rango de edad correspondiente a cada clase se detalla en el Cuadro 7.

Para el nivel de producción se optó por la misma estrategia, dividiéndose este efecto en 7 niveles, el detalle se presenta en el Cuadro 8. Por último el efecto laed fue separado en clases, la información pertinente se presenta en el Cuadro 9.



Cuadro No. 7 Rango de edad por clase

<b>Edad (meses)</b>	<b>Clase</b>
<b>&gt;22&lt;=36</b>	1
<b>&gt;36&lt;=42</b>	2
<b>&gt;42&lt;=48</b>	3
<b>&gt;48&lt;=54</b>	4
<b>&gt;54&lt;=60</b>	5
<b>&gt;60&lt;=66</b>	6
<b>&gt;66&lt;=72</b>	7
<b>&gt;72&lt;=78</b>	8
<b>&gt;78&lt;=84</b>	9
<b>&gt;84&lt;=90</b>	10
<b>&gt;90&lt;=120</b>	11
<b>&gt;120</b>	12

Cuadro No. 8 Rango de producción por clase

<b>L305 (kg.)</b>	<b>Clase</b>
<b>&lt;3000</b>	1
<b>&gt;=3000 &lt;4000</b>	2
<b>&gt;=4000 &lt;5000</b>	3
<b>&gt;=5000 &lt;6000</b>	4
<b>&gt;=6000 &lt;7000</b>	5
<b>&gt;=7000 &lt;9500</b>	6
<b>&gt;=9500 &lt; 12500</b>	7

Cuadro No. 9 Lactancia y rango de edad por clase de laed

<b>Lactancia</b>	<b>Edad (meses)</b>	<b>Clase de Laed</b>
<b>1</b>	23-30	1
	31-36	2
	37-42	3
	43-48	4
	49-54	5
<b>2</b>	33-36	6
	37-42	7
	43-48	8
	49-54	9
	55-60	10
	61-66	11
<b>3</b>	43-54	13
	55-60	14
	61-66	15
	67-72	16
	73-78	17
	79-94	18
<b>4</b>	53-60	19
	61-66	20
	67-72	21
	73-78	22
	79-94	23
	95-114	24
<b>5</b>	62-94	25
	95-180	26

Los modelos fijos se analizaron en el software “SAS System for Windows 9.0” mediante los procedimientos “Means”, “General linear model” (GLM), “Corr” y “Chart” (SAS, 2004).

A partir de estos se obtuvieron estadísticas descriptivas generales para la

población, análisis de varianza para ambos modelos, las medias de cuadrados mínimos de ambas variables para cada nivel de los efectos fijos considerados, la correlación entre las variables y gráficos de frecuencia.

### 3.1.2 Análisis genético

En este enfoque se analizaron en conjunto las variables IIP y L305, incluyendo el efecto de “laed” y grupo contemporáneo de rodeo-año-estación (hys) como efectos fijos, y el efecto animal y permanente como efectos aleatorios.

El análisis se realizó mediante el programa para modelos mixtos “Thrgibbs1f90” (Misztal et al., 2002). A partir de este se estimaron las varianzas (aditivas, residuales y permanentes) y se calcularon las heredabilidades y correlaciones genéticas para ambas características.

El modelo utilizado fue el siguiente:

$$y_1 = X_1\beta_1 + Z_1a_1 + W_1p_1 + e_1$$

$$y_2 = X_2\beta_2 + Z_2a_2 + W_2p_2 + e_2$$

Donde:

- $y$  = vector de 257.835 observaciones para cada características.
- $B$  = vector de efectos fijos, incluyó para ambas el efecto lactancia-edad (Laed), y el de grupo contemporáneo Hys.
- $a$  = vector aleatorio de los efectos aditivos.
- $p$  = vector aleatorio del efecto permanente.
- $X$  = matriz de incidencia que relaciona los registros con los efectos fijos.

- $Z$ = matriz de incidencia que relaciona los registros con los efectos aleatorios del animal.
- $W$ = matriz de incidencia que relaciona los registros con los efectos aleatorios permanentes.
- $e$ = vector aleatorio del error.

La matriz de (co)varianzas de los efectos aleatorios aditivos será igual a:

$$V[a] = \Sigma = G \otimes A ( )$$

Donde  $G$  representa una matriz de 2x2 de (co)varianzas genéticas entre características consideradas. El símbolo  $\otimes$  representa el producto directo entre las matrices y “ $A$ ” representa la matriz de parentesco aditivo entre los animales.

Se realizaron 100.000 iteraciones, de las cuales se descartaron las primeras 20.000 y se muestreó cada 200 teniendo como resultado 1600 observaciones.

## **4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 ESTADISTICA DESCRIPTIVA**

Se obtuvieron las medias y desvíos estándar de IIP y L305 para la población y por lactancia, la información se presentan en el Cuadro 10.

Cuadro No. 10 Promedio y desvío estándar de IIP y L305

<b>Lactancia</b>	<b>Variable</b>	<b>Número de observaciones<sup>1</sup></b>	<b>Media</b>	<b>Desvío estándar</b>
<b>1</b>	IIP	106673 (41)	14,8	3,3
	L305	106673	4794	1173
<b>2</b>	IIP	65383 (25)	14,3	3,1
	L305	65383	5497	1275
<b>3</b>	IIP	43889 (17)	14,1	3,1
	L305	43889	5784	1316
<b>4</b>	IIP	26971 (10)	14,1	3
	L305	26971	5868	1332
<b>5</b>	IIP	14919 (6)	14,1	2,9
	L305	14919	5907	1350
<b>Promedio</b>	<b>IIP</b>	<b>257835</b>	<b>14,5</b>	<b>3,2</b>
<b>Poblacional</b>	<b>L305</b>	<b>257835</b>	<b>5343</b>	<b>1380</b>

<sup>1</sup> Los valores entre paréntesis corresponden al porcentaje de la población total.

El promedio del IIP obtenido para la población Holando analizada fue de 14,5 meses, mientras que la producción de leche a 305 días fue de 5343 kg. Las medias obtenidas por lactancia variaron de forma opuesta para cada característica, observándose una disminución del IIP promedio desde la lactancia 1 a 5 y un incremento del promedio de producción en el mismo sentido.

El coeficiente de correlación de Pearson obtenido para estas dos variables fue

de 0.012, indicando esto una muy baja asociación fenotípica entre las variables.

El IIP presentó una curva de distribución asimétrica donde la mayoría de las observaciones se concentraron sobre la izquierda, la misma se presenta en la Figura 13.

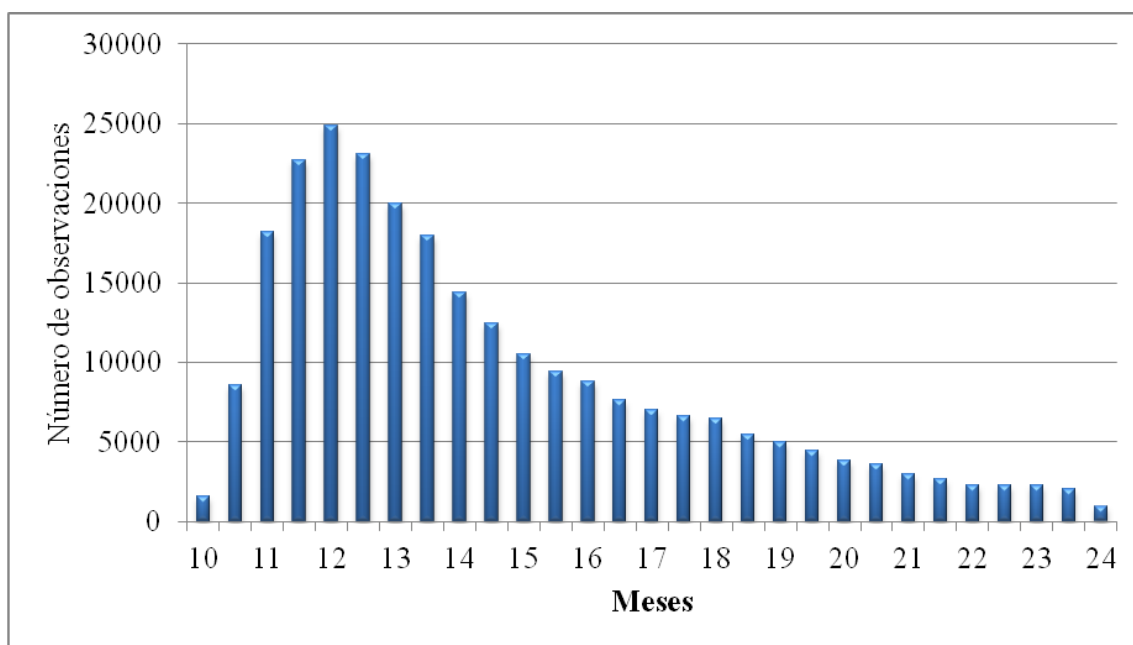


Figura No. 13 Distribución de las observaciones según diferentes niveles IIP.

A partir de la Figura 13 se puede observar que esta característica tiene una distribución continua pero a diferencia de otras de tipo cuantitativo, no presenta una distribución normal sino de tipo Gamma.

El IIP tendría entonces una distribución en la cual la mayor frecuencia de observaciones se encuentra previa a la mitad del rango de IIP establecido. De esta manera, el área debajo de la curva hasta la media poblacional del IIP (14,5 meses) nuclea el 63,5% de las observaciones. En el capítulo de anexos, se presenta en el cuadro No. 13 la frecuencia acumulada para los diferentes niveles de IIP.

A partir del procedimiento GLM se obtuvieron las medias de cuadrados mínimos, donde se observó para todas las clase de efectos fijos diferencias significativas entre sí con una probabilidad de error menor al 0,0001%.

No obstante ello, los modelos propuestos para el IIP presentaron bajos valores de  $R^2$ , siendo de 8% para ambos.

Las medias de mínimos cuadrados obtenidas permitieron observar la variación dentro de cada clase para cada uno de los efectos fijos, en la Figura 14 se presenta el efecto año para ambas variables.

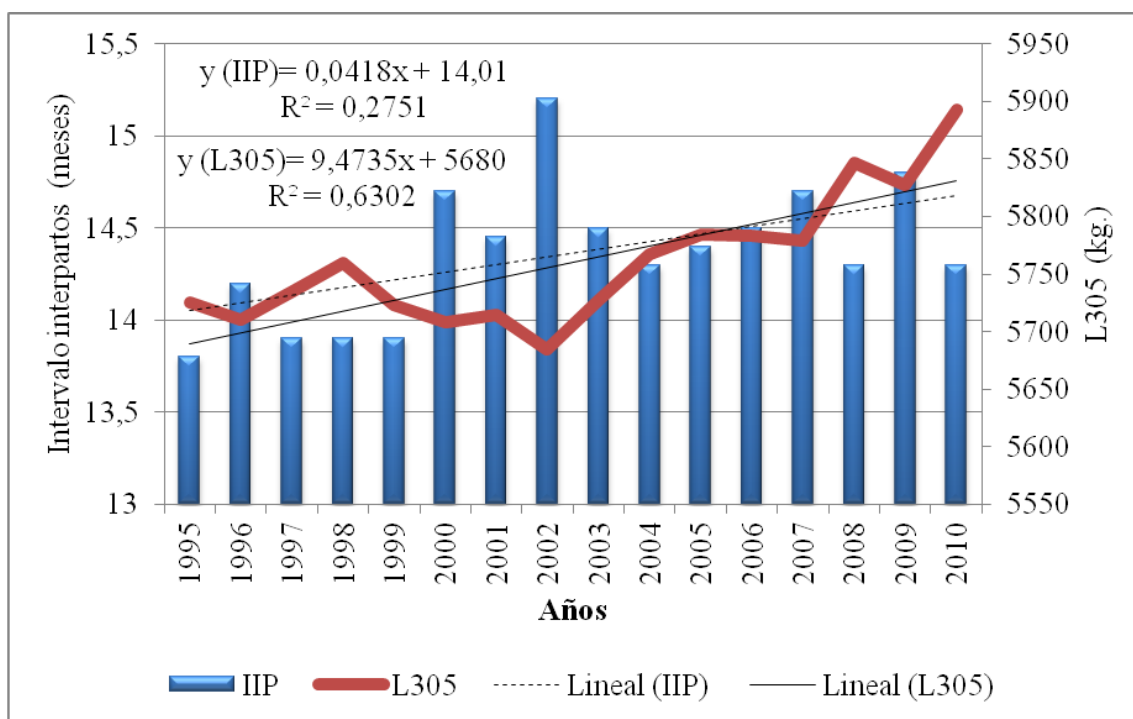


Figura No. 14 Efecto del año de parto sobre el IIP y L305.

De la Figura 14 se puede observar que ambas variables han experimentado un

incremento en el tiempo, sin embargo la variabilidad entre años es diferente para cada una. Esto podría deberse a que existe una mayor cantidad de factores que ejercen efectos sobre el IIP, los cuales no fueron contemplados en los modelos fijos. De esta manera las medias de mínimos cuadrados no habrían sido corregidas por factores que causan gran variabilidad entre años.

En este sentido existen efectos “sociales” o “políticos” inherentes a la administración y estrategias de producción de cada tambo, difíciles de contemplar en los modelos. Considerando estos aspectos el IIP promedio en algunos años puede verse extendido no por efectos ambientales sino por no haber sido servidos los animales.

Esto podría estar sujeto de forma indirecta a situaciones económicas y productivas desfavorables, donde la producción también puede verse resentida por un secado anticipado de animales.

Como ejemplo de lo mencionado en el párrafo anterior, se puede observar para el año 2002 un alto valor de IIP y bajo de L305. Para esta fecha nuestro país se encontraba atravesando una situación sanitaria grave debido a la fuerte influencia de fiebre aftosa. Al mismo tiempo, la situación económica regional se encontraba atravesando una de las mayores crisis económicas de la historia. Este escenario de alguna manera pudo haber presionado a tomar decisiones como secar, descartar animales y retrasar el inicio de lactancias, hechos que podrían verse reflejados en el año 2002 debido a los valores ambiguos que adquieren ambas variables con respecto a sus respectivas tendencias.

Independientemente de estas consideraciones, para el período analizado se observa un incremento de ambas variables. El IIP presentó una media de 13,8 en 1995 pasando a 14,3 en el año 2010, dentro del mismo período la producción media a 305 días aumentó 168 kg, siendo esta tendencia similar a lo reportado por Bousquet et al. (2004), Rovere (2007), UNITED STATES OF AMERICA. ARS. AIL (2012), CANADA. CDN



(2012). Las medias obtenidas por año para ambas variables se presentan en el Cuadro 12.

Cuadro No. 11 Medias de IIP y L305 por año de parto

<b>Año</b>	<b>IIP</b>	<b>L305</b>
<b>1995</b>	13,8	5725
<b>1996</b>	14,2	5710
<b>1997</b>	13,9	5735
<b>1998</b>	13,9	5760
<b>1999</b>	13,9	5723
<b>2000</b>	14,7	5708
<b>2001</b>	14,5	5715
<b>2002</b>	15,2	5685
<b>2003</b>	14,5	5727
<b>2004</b>	14,3	5767
<b>2005</b>	14,4	5784
<b>2006</b>	14,5	5783
<b>2007</b>	14,7	5779
<b>2008</b>	14,3	5847
<b>2009</b>	14,8	5827
<b>2010</b>	14,3	5893

La variabilidad dentro de años se observó a partir de las medias obtenidas por mes de parto. Este efecto presentó una marcada estacionalidad sobre ambas variables. En la Figura 15 se observa la variación dentro de un año calendario promedio.

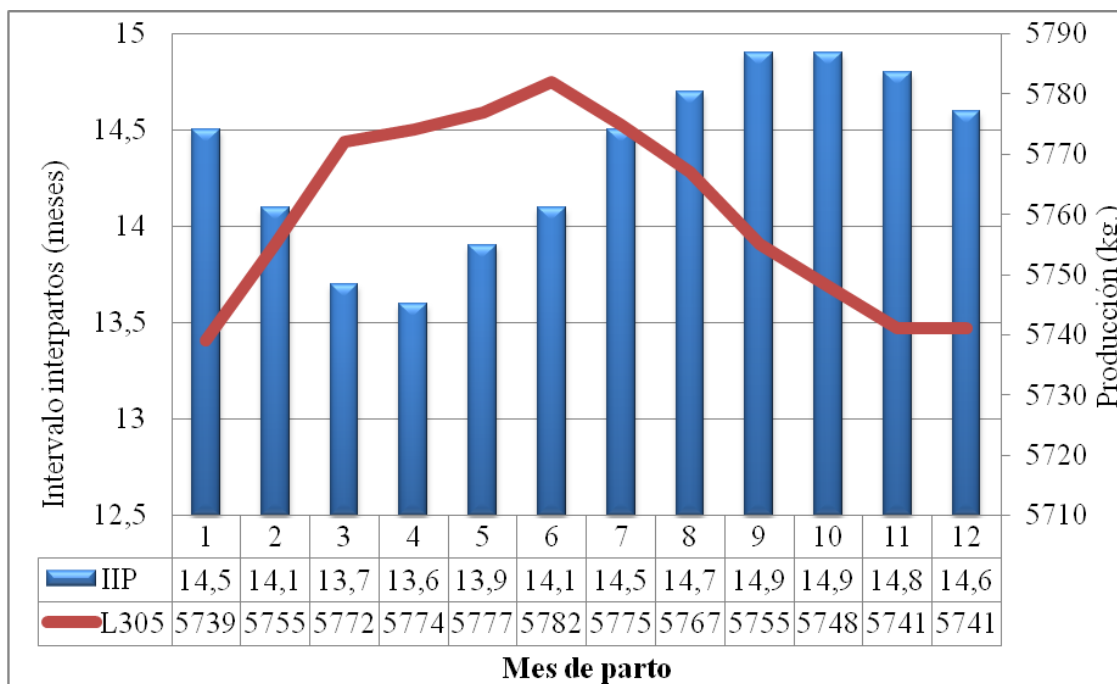


Figura No. 15 Efecto del mes de parto sobre IIP y L305.

Se puede observar que tanto para IIP como L305, los meses de parto con registros más favorables corresponden a marzo, abril, mayo y junio. De forma opuesta en los meses cálidos ambas variables adquieren valores desfavorables, acorde a lo obtenido por Al-Katanani et al. (1999), Ravagnolo y Misztal (2002a), Rensis y Scaramuzzi (2003), West (2003) los cuales habían observado máximos niveles de infertilidad en los meses más cálidos del año. Este fenómeno se genera a causa de alteraciones en la homeostasis de los animales, produciendo alteraciones fisiológicas que perjudican la normalidad reproductiva (Rensis y Scaramuzzi, 2003).

Al-Katanani et al. (1999), Ravagnolo y Misztal (2002a) habían observado que los animales sufrían diferentes efectos sobre el estrés térmico en función de su nivel de producción y etapa de lactancia en la que se encontraban. Este efecto relacionado con la reproducción se pudo observar a través de las medias de mínimos cuadrados por

lactancia y por clases de producción. En la Figura 16 se presenta el efecto de la lactancia para ambas características.

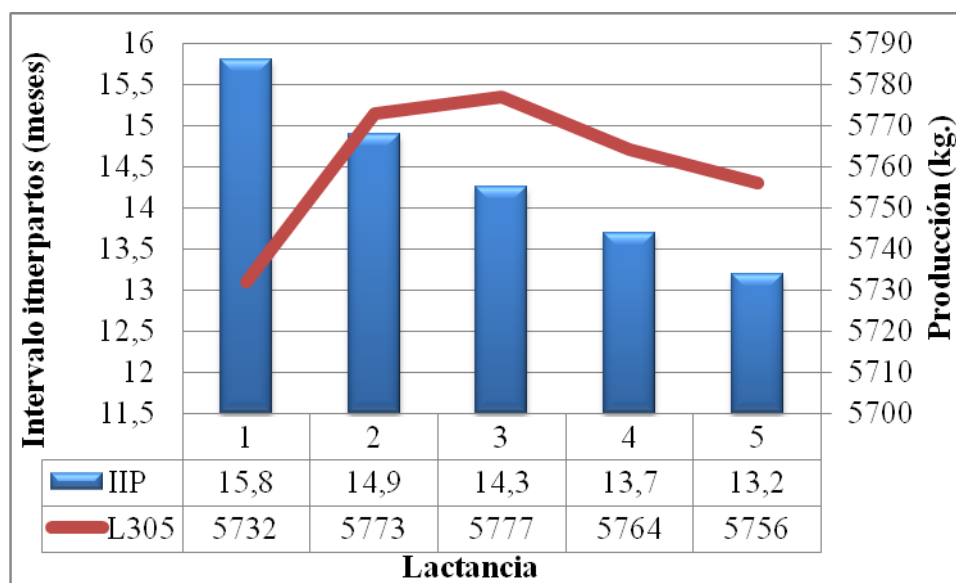


Figura No. 16 Efecto del número de lactancia sobre el IIP y L305.

El pasaje de una lactancia a la otra muestra una reducción del IIP, significando esto un mejor desempeño reproductivo. Según Lucy (2001), en la medida que los animales envejecen alcanzan su tamaño adulto, así requerirían menos energía por haber culminado su crecimiento corporal. De esta manera menores requerimientos permitirían presentar una mejor condición nutricional al momento del servicio.

La edad de los animales se encuentra asociada al número de lactancia: al mismo tiempo que los animales avanzan en las lactancias también aumenta su edad cronológica. En la Figura 17 se puede observar el comportamiento del IIP y L305 en función de clases de edad crecientes.

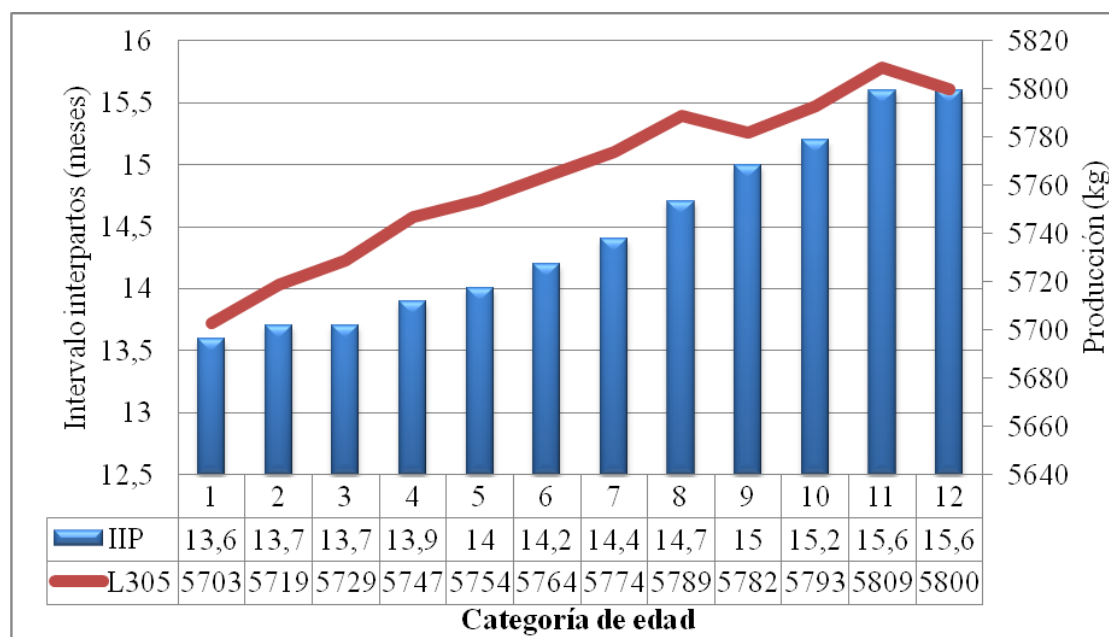


Figura No. 17 Efecto de la edad sobre el IIP y L305.

Se observa un incremento para ambos caracteres, en la medida que los animales se hacen más viejos. De forma opuesta al efecto de lactancia, éste demuestra que animales más viejos tendrían peores desempeños reproductivos.

El rango de edad al cual un animal comienza una determinada lactancia es variado, considerando esto y el efecto “opuesto” de lactancia y edad sobre el IIP sería interesante observar el efecto de la variables laed, la cual se presenta en la Figura 18.

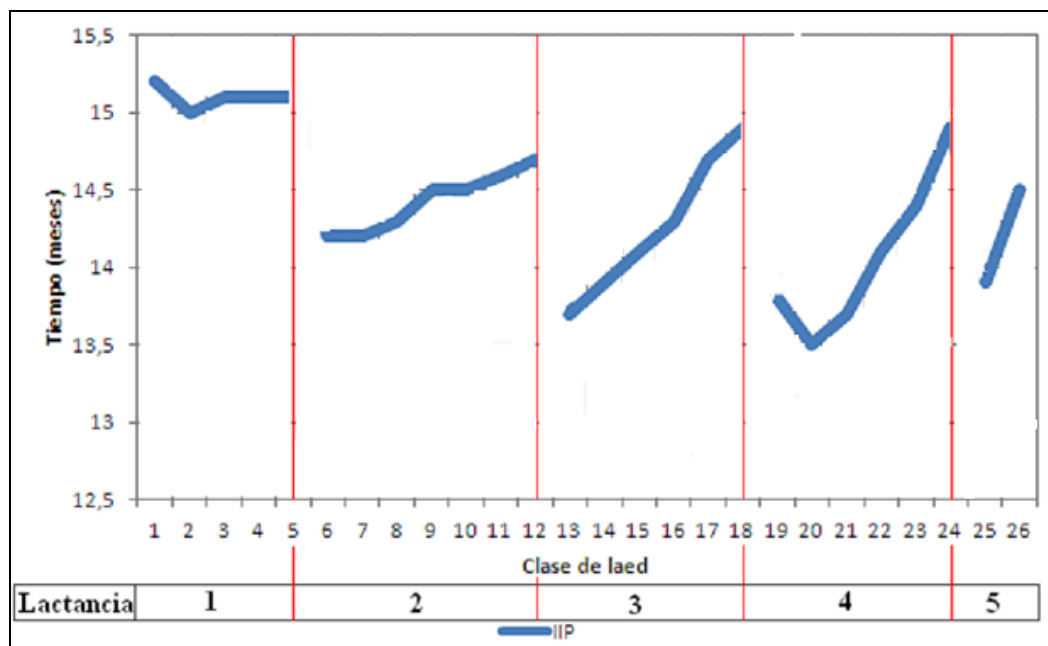


Figura No. 18 Efecto de laed sobre el IIP.

La curva de laed fue “cortada” en el pasaje de una lactancia a otra, de forma de poder observar mejor el efecto de la edad dentro de cada lactancia en todas las lactancias al mismo tiempo.

De la Figura 18 se puede observar una tendencia general a la disminución del IIP, estando por detrás el efecto de lactancia. Mientras que dentro de cada lactancia se puede observar una variación en función de la edad, la cual es diferente para cada una de las 5 lactancias. De esta manera se pudo observar que existe un efecto de interacción entre estos dos efectos, siendo diferente el desempeño reproductivo desde el punto de vista estadístico para cada una de las 26 clases de laed generadas.

Finalmente se presentan los valores medios de IIP en función del nivel de producción en la Figura 19.

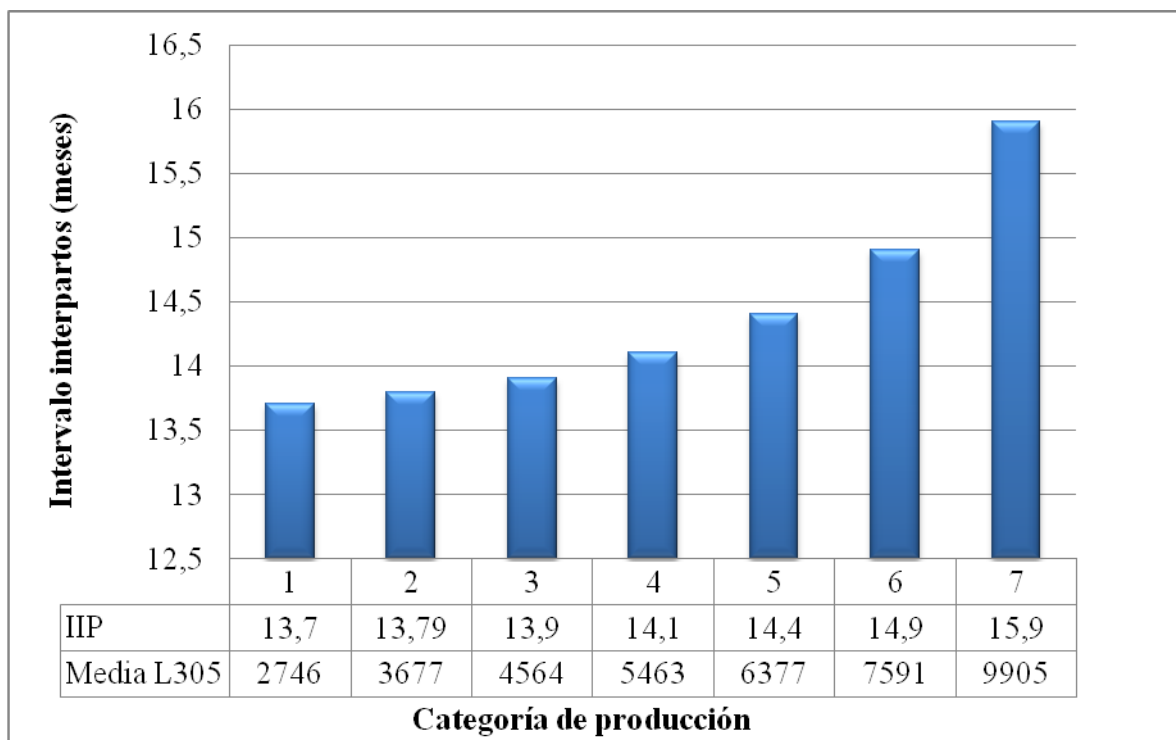


Figura No. 19 Efecto del nivel de producción sobre el IIP y L305.

Aquí se puede observar que el IIP aumenta de forma creciente al aumentar el nivel de producción, de modo similar a los resultados obtenidos por Nebel y McGilliard (1993), Lucy et al. (2001), González-Recio (2006), Sewalem et al. (2010) quienes observaron que altos niveles de producción se asociaban de forma negativa con la reproducción.

Sin embargo la correlación fenotípica estimada fue de 0.012, esto seguramente sea debido a la gran variación entre observaciones a partir de las cuales se realizó la estimación. Este hecho no se refleja en la Figura 19 dado que este presenta estimaciones de medias, sin embargo en las Figuras No. 14, 15, 16, 17 y 18 se pudo observar como diferentes factores ambientales producen importantes variaciones sobre las

características bajo estudio.

## 4.2 ANÁLISIS GENÉTICO

### 4.2.1 Estadística descriptiva

De este análisis se obtuvieron las estimaciones de los componentes de varianza de ambas características, que permitieron estimar los parámetros genéticos de interés. Las estimaciones obtenidas se presentan en el Cuadro 13.

Cuadro No. 12 Valores obtenidos de varianzas<sup>1</sup>, covarianzas<sup>1</sup> y parámetros genéticos

	VA	VEP	VR	Cov.A	Cov.R	h <sup>2</sup>	R	Ra	Re
<b>IIP</b>	0,617 (0,028)	0,297 (0,034)	7,902 (0,036)			0,07 (0,003)	0,104 (0,003)		
				0,241 (0,006)	0,102 (0,005)			+0,742 (0,017)	+0,057 (0,003)
<b>L305</b>	171* (4,5)	149* (4)	392* (2)			0,3 (0,005)	0,450 (0,002)		

<sup>1</sup> Valores entre paréntesis corresponden a los desvíos estándar

\* Valores expresados en miles

<sup>VA</sup> Varianza aditiva

<sup>VEP</sup> Varianza ambiental permanente

<sup>VR</sup> Varianza residual

<sup>Cov. A</sup> Covarianza aditiva entre las características

<sup>Cov. R</sup> Covarianza residual de las características

<sup>h<sup>2</sup></sup> Heredabilidad

- <sup>R</sup> Repetibilidad de la producción de leche a 305 días  
<sup>ra</sup> Correlación genético aditiva entre las características  
<sup>re</sup> Correlación residual entre las características

Las estimaciones de parámetros genéticos son similares a los obtenidos por otros autores en la revisión bibliográfica. La heredabilidad estimada para el IIP fue de 7% adquiriendo ésta un valor similar al obtenido por Andersen-Ranberg et al. (2005), González-Recio (2006), Montaldo et al. (2010) entre otros. El valor estimado refleja la alta influencia ambiental y baja determinación genética sobre este tipo de característica.

El carácter productivo por su parte presentó una heredabilidad media, siendo acorde a las estimaciones realizadas por Campos et al. (1994), Abddalah y McDaniel (2000), Castillo-Juarez et al. (2000).

La correlación genética aditiva obtenida fue de +0.742, indicando esto la estrecha relación que existe genética que existe entre ambas características. De esta manera para la población estudiada, la selección de animales por alto nivel productivo supondría un alargamiento del intervalo interpartos.

Los valores de cría para todos los animales, se promediaron por año de nacimiento con el objetivo de observar la evolución genética de ambas características en el tiempo. Dicha tendencia se presenta en la Figura 20.



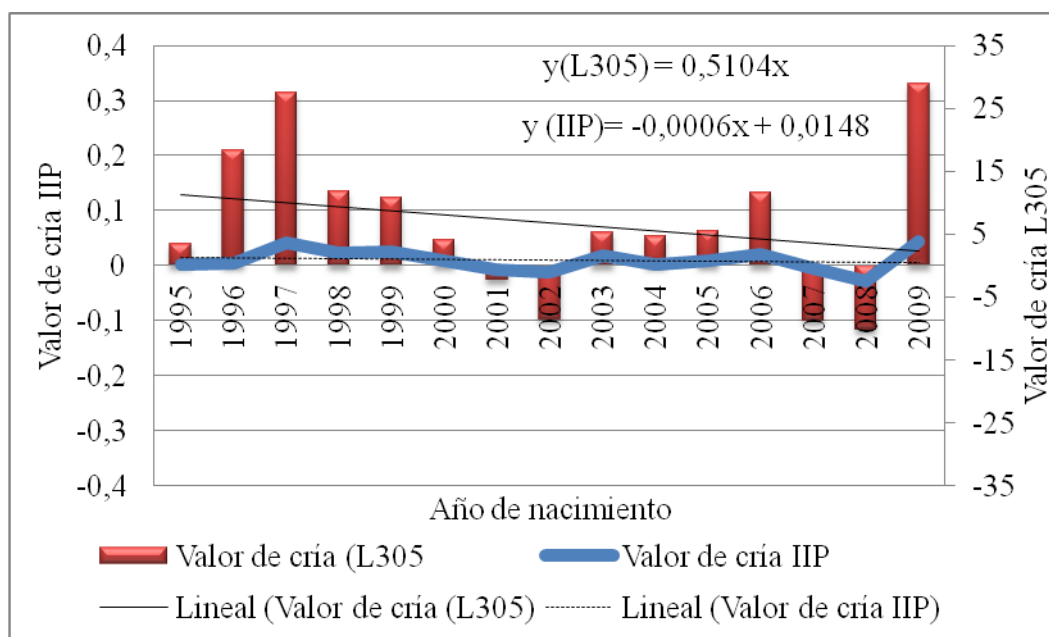


Figura No. 20 Valores de cría promedio de IIP y L305 por año de nacimiento.

Se puede observar que para nuestros rodeos la característica reproductiva estudiada no se ha sido deteriorada o mejorada. Con respecto a la producción de leche ésta se presentó con mayores variaciones para el período estudiado, sin embargo no se aprecia una dirección clara, existiendo períodos de aumento y disminución del valor de cría promedio.

Lo observado en la Figura 20 no se condice con la situación de otros países como Estados Unidos y Canadá, donde de acuerdo a los estudios realizados por AIPL en 2012 y CDN en 2012 los valores de cría productivos aumentaron generando un descenso de la habilidad reproductiva.

Sin embargo, las medias de cuadrados mínimos obtenidas a partir de los modelos fijos mostraron un incremento de ambas características desde el punto de vista fenotípico. En consideración de esto se promediaron los efectos ambientales para ambas

características (hys) por año de nacimiento los cuales se presentan en la Figura 21.

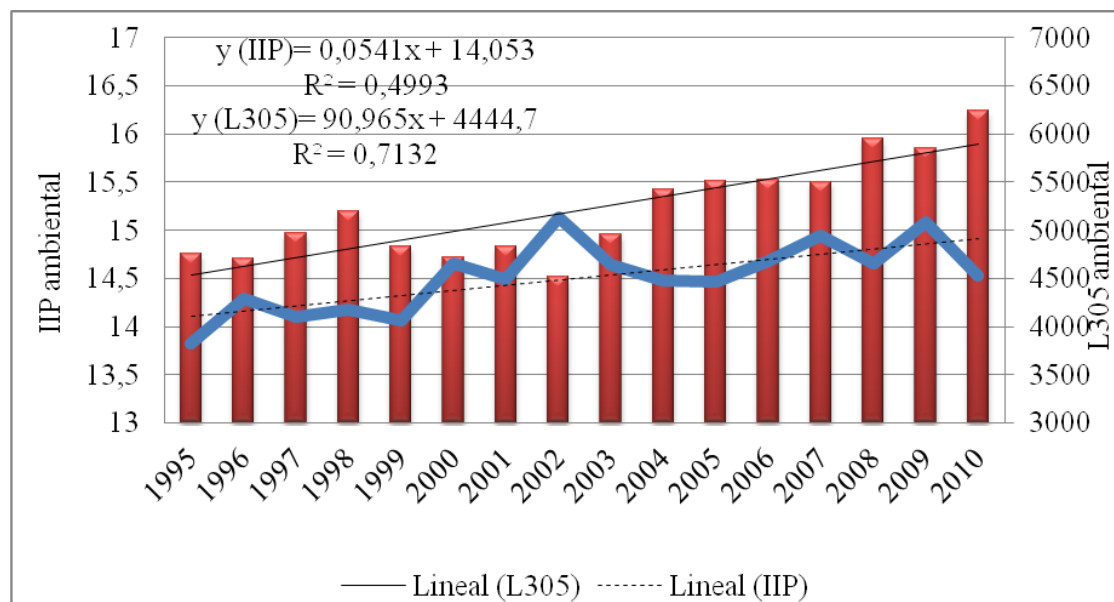


Figura No. 21 Efecto ambiental promedio por año de nacimiento para IIP y L305.

De la Figura 21 se puede observar una evolución de las variables similar a la obtenida a través de las medias de mínimos cuadrados por año. El del IIP pasó de 13,8 a 14,5 dentro del período estudiado, presentando un incremento a una tasa de 0,05 meses/año. El ambiente productivo también presentó un aumento, siendo este de una tasa de 91 kg/año de L305.

En este sentido los sistemas de producción mejoraron sus condiciones ambientales, generando esto los aumentos productivos observados y reportados por la Dirección de Estadísticas Agropecuarias (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2011). En consideración con esto, se debe tener en cuenta que los análisis realizados por dicha entidad comprenden el total de producción de la población de todas las empresas lecheras, abarcando estas una población animal superior a la analizada en el presente estudio, integrada por diferentes razas y seguramente con mayor variabilidad, no obstante la tendencia observada es similar.

## **5 CONCLUSIONES**

Los efectos de rodeo, año, estación, lactancia y edad mostraron ser significativos para el IIP y L305. A partir de estos los modelos fijos propuestos presentaron un  $R^2$  de 8,6% para IIP, correspondiendo esto a la proporción de la varianza que fue explicada por el modelo.

Cuando en el modelo fijo se contempló además de los efectos individuales la interacción entre dos efectos fijos (laed), el  $R^2$  no registró mayores incrementos. Sin embargo, se observaron diferencias significativas entre todos los grados de libertad del efecto laed. A partir de esto se puede concluir que existen otros factores, no considerados en los modelos fijos, que serían especialmente relevantes para explicar la varianza del IIP, debido al bajo valor de  $R^2$  obtenido para esta característica.

La heredabilidad obtenida para L305 fue de 0,3, acorde a los niveles observados en la revisión bibliográfica para caracteres productivos. De la misma manera la heredabilidad del IIP la cual fue de 0,07, representando un valor bajo pero similar a lo estimado por varios autores. Los errores estándar de las estimaciones de los componentes de varianzas y parámetros genéticos fueron cercanos a cero. Indicando esto que el modelo bivariado, a diferencia del modelo de efectos fijos, si logró comprender una proporción mayor de la variación existente de las variables estudiadas.

La correlación genética obtenida fue de 0.742, representando esta una asociación alta y positiva entre L305 e IIP. Indicando que para los caracteres bajo estudio, realizar selección individual por una característica produciría un deterioro de la otra. Considerando esto y que los caracteres de mayor interés son los productivos, incorporar algún rasgo asociado a la reproducción como el IIP en las evaluaciones genéticas de Holando de Uruguay y considerar este dentro de un índice de selección, sería una medida estratégica de forma de orientar la selección animal hacia los genotipos

más productivos evitando un deterioro de la reproducción.

Si bien las características reproductivas presentan heredabilidades muy bajas, este estudio demostró la existencia de una varianza aditiva suficiente que a partir de una correcta estimación del valor de cría de los animales permitiría obtener una mejora de esta característica en futuras generaciones de animales.

## **6 RESUMEN**

Los efectos negativos de la selección por producción sobre la reproducción pueden ser evitados o moderados incluyendo rasgos reproductivos en los índices de selección a aplicar. Para esto deben implementarse evaluaciones genéticas para dichos rasgos, para lo cual se deben estimar los componentes de varianza de las características a evaluar. El objetivo de este estudio fue estimar los componentes de varianza del intervalo interpartos (IIP) y su correlación genética con producción de leche a 305 días (L305). Se utilizó información productiva y reproductiva de 257.835 lactancias registradas entre 1995 y 2010, pertenecientes a 105.045 vacas Holando de 307 tambos socios del Instituto Nacional para el Mejoramiento Lechero. El IIP y L305 se analizaron mediante un modelo animal bi-variado que incluyó los efectos fijos del grupo contemporáneo (rodeo-año-estación de parto), de lactancia-edad y los efectos aleatorios del animal y del efecto permanente asociado a registros sucesivos del mismo animal. Las heredabilidades fueron 0,07 para IIP y 0,30 para L305. Las repetibilidades fueron 0,10 para IIP y 0,45 para L305. La correlación genética aditiva entre ambas características fue de 0,742, indicando que una selección por L305 alargaría el IIP. No se encontró una tendencia genética clara, pero la tendencia ambiental muestra el deterioro del IIP debido a cambios en el ambiente. La alta asociación genética encontrada entre L305 e IIP indica que para evitar un fuerte deterioro genético de la reproducción, rasgos asociados a esta deberían ser incorporados a las evaluaciones genéticas y a los índices de selección que se utilicen en el rodeo Holando uruguayo.

Palabras clave: Intervalo interpartos; Parámetros genéticos; Producción de leche.

## **7 SUMMARY**

The negative effects of selection for production traits on reproduction can be avoided or moderated if reproductive traits are included in selection indexes. For this, genetic evaluations including these traits must be implemented; to accomplish that purpose, variance components of each trait have to be estimated. The objective of this study was to estimate the variance components of calving interval (IIP) and its genetic correlation with 305 days milk yield (L305). We used productive and reproductive information of 257.835 lactations recorded between 1995 and 2010, belonging to 105.045 Holstein cows of 307 dairy farms members of the “Instituto Nacional para el Mejoramiento Lechero”. IIP and L305 were analyzed by a bi-variate animal model that included fixed effects of contemporary group (herd-year-season of calving), lactation – age and the random effects of the animal and a permanent effect associated to repeated records of the same animal. The heritabilities obtained were 0,07 for IIP and 0,30 for L305. The repeatabilities were 0,10 for IIP and 0,45 for L305. The additive genetic correlation between both traits was 0,742, indicating that selection for L305 would increase the IIP. There was no clear genetic trend for IIP, but a positive environmental trend, suggesting a deterioration of IIP due to environmental conditions. The high association found among IIP and L305 indicates that to avoid a large genetic decrease of reproduction, associated traits must be incorporated in the genetic evaluations and into selection indexes used in Uruguayan holstein herds cattle.

Keywords: Calving interval; Genetic parameters; Milk production.

## **8 BIBLIOGRAFÍA**

1. ABDDALLAH, J. M.; MCDANIEL, B. T. 2000. Genetic parameters and trends of milk, fat, days open, and body weight after calving in north Carolina experimental herds. (en línea). *Journal of Dairy Science*. 83(6):1364-1370. Consultado 15 oct. 2011. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030200750041.pdf>
2. AGUILAR, I.; GRIGNOLA, F.; NAVAJAS, E.; ROVERE, G. 2000. Consanguinidad en rodeos comerciales de ganado Holando en Uruguay. *In*: Reunión Latinoamericana de Producción Animal (16ª., 2000. Montevideo, Uruguay). Trabajos presentados. s.n.t. s.p.
3. \_\_\_\_\_.; URIOSTE, J. I.; KLETT, L.; RAVAGNOLO, O.; ROVERE, G.; SOTELO, F. 2011. Evaluación Genética; raza Holando. Montevideo, ARU/ Instituto Nacional para el Mejoramiento Lechero/ Facultad de Agronomía/ INIA/ Sociedad de Criadores de Holando del Uruguay. 74 p.
4. AL-KATANANI, Y. M.; WEBB, D. W.; HANSEN, P. J. 1999. Factors affecting seasonal variation in 90-Day nonreturn rate to first service in lactating holstein cows in a hot climate. (en línea). *Journal of Dairy Science*. 82 (12): 2611-2616. Consultado 2 dic. 2011. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030299755165.pdf> . Consultado Diciembre 2009.
5. ANDERSEN-RANBERG, I. M.; KLEMETSDAL, G.; HERINGSTAD, B.; STEINE, T. 2005. Heritabilities, genetic correlation, and genetic chance for female fertility and protein yield in norwegian dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 88(1):348-355.
6. BASCOM, S. S.; YOUNG, J. 1998. A summary of the reason why farmers cull cows. *Journal of Dairy Science*. 81(8):2299-2305.

7. BEAM, S.W.; BUTLER, W.R. 1999. Effects of energy balance on follicular development and first ovulation in post-partum dairy cows. *Journal of Reproduction and Fertility*. 54 (Suppl): 411-424.
8. BERGER, P. J.; SHANKS, R. D.; FREEMAN, A. E. 1981. Genetic aspects of milk yield and reproductive performance. (en línea). *Journal of Dairy Science*. 64(1):114-122. Consultado 14 abr. 2012. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030281825350.pdf>
9. BIFFANI, S.; CANAVESI, F.; SAMORÉ, A. B. 2004. Developing a genetic evaluation for fertility using angularity and milk yield as correlated traits. *Interbull Bulletin*. 33(12):63- 66.
10. BOUSQUET, D.; BOUCHARD, E.; DU TREMBLAY, D. 2004. Decreasing fertility in dairy cows; myth or reality? (en línea). In: *World Buiatrics Congress (23º., 2004, Quebec, Canadá)*. Proceedings. Quebec, Ivis. pp. 1-6. Consultado 9 may. 2010. Disponible en <http://www.ivis.org/proceedings/wbc/wbc2004/WBC2004-Bousquet-ang-simple1.pdf> .
11. BUTLER, W. R.; SMITH, R. D. 1989. Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 72(3):767-783.
12. \_\_\_\_\_. 2000. Nutritional interactions with reproductive performance in dairy Cattle. (en línea). *Animal Reproduction Science*. 60(35):449-457. Consultado 11 may. 2011. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378432000000762>
13. CAMPOS, M. S.; WILCOX, C.J.; BECERRIL, C. M.; DIZ, A. 1994. Genetic parameters for yield and reproductive traits of holsteins and jersey cattle in florida. (en línea). *Journal of Dairy Science*. 77(3):867-873. Consultado 20 jun. 2012. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022->



[0302/PIIS0022030294770211.pdf](#)

14. CANADA. CANADIAN DAIRY NETWORK. 2002. Effect of age and month of insemination of fertility.(en línea). Ontario. Consultado 12 jun. 2012. Disponible en <http://www.cdn.ca/document.php?id=50>
  
15. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2012. Breed improvement and genetic evaluation. (en línea). Ontario. Consultado 7 mar. 2012. Disponible en [http://www.dairyinfo.gc.ca/pdf/breed\\_improvement\\_genetic\\_evaluation.pdf](http://www.dairyinfo.gc.ca/pdf/breed_improvement_genetic_evaluation.pdf)
  
16. CASTILLO-JUAREZ, H.; OLTENACU, P. A.; BLAKE, R. W.; MCCULLOCH, C. E.; CIENFUEGOS-RIVAS, E. G. 2000. Effects of herd environment on the genetic and phenotypic relationships among milk yield, conception rate, and somatic cell score in holstein cattle. (en línea). Journal of Dairy Science. 83(4):807-814. Consultado 5 jun. 2012. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030200749435.pdf>
  
17. CHANG, Y. M.; ANDESEN-RANBERG, I. M.; HERINGSTAD, B.; GIANOLA, D.; KLEMETSDAL, G. 2005. Bivariate analysis of number of services to conception and days open in Norwegian red using a censored threshold-linear model. Journal of Dairy Science. 89(2):772-778.
  
18. CRECCO GUCHIN, M.; LLAGARIAS, A. 2009. Caracterización de las ventas de semen de la raza Holando de Prolesa. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 84 p.
  
19. DEMATAWEWA, C. M. B.; BERGER, P. J. 1998. Genetic and phenotypic parameters for 305-day yield, fertility, and survival in holsteins. (en línea). Journal of Dairy Science. 81(10):2700-2709. Consultado 20 jun. 2012. Disponible en

<http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030298758278.pdf>

20. DURAN, H. 2007. Impactos productivos, económicos y ambientales de la intensificación de los sistemas pastoriles de producción de leche en el Uruguay. In: Congreso Holstein de las Américas (9º., 2007, Colonia, Uruguay). Trabajos presentados. s.n.t. s.p.
21. FALCONER, D. S. 1985. Introduction to quantitative genetics. 2<sup>nd</sup>. ed. London, Longman. 340 p.
22. GARCIA SACRISTÁN, A.; CASTEJÓN MONTIJANO, F.; DE LA CRUZ PALOMINO, L. F.; GONZÁLEZ GALLEGU, J.; MURILLO LÓPEZ DE SILANES, M. D.; SALIDO RIZ, G. 1998. Fisiología veterinaria. Madrid, EDIGRAFOS. 1073 p.
23. GONZÁLEZ-RECIO, O. 2006. Selection for female fertility in dairy cattle. Tesis Doctoral. Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 162 p.
24. GWAZDAUSKAS, F. C. 1985 Effects of climate on reproduction in cattle. (en línea). Journal of Dairy Science. 68(6):1568-1578. Consultado 13 may. 2012. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030285809954.pdf>
25. HAFEZ, E. S. E.; HAFEZ, B. 2007. Reproducción e inseminación artificial en animales. México, McGraw-Hill Interamericana. 519 p.
26. HANSEN, L. B.; FREEMAN, A. E.; BERGER, J. P. 1983. Yield and fertility relationships in dairy cattle. (en línea). Journal of Dairy Science. 95(6):3401-3405. Consultado 20 jun 2012. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030283817895.pdf>
27. HARRIS, B. L.; PRYCE, J.; XU, Z.; MONTGOMERIE, W. 2006. Development of

- new Fertility breeding values for the Dairy industry. (en línea). Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production. 66:107-112. Consultado 12 may. 2011. Disponible en <http://chuckstuff.org/nzsap/2006/ab06021.pdf> .
28. HERMAS, S. A.; YOUNG, C. W.; RUST, W. J. 1987a. Effects of mild inbreeding on productive and reproductive performance of guernsey cattle. (en línea). Journal of Dairy Science. 70(3):712-715. Consultado 5 dic. 2011. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030287800620.pdf> .
29. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_ .; \_\_\_\_\_ . 1987b. Genetic relationships and additive genetic variation of productive traits in Guernsey dairy cattle. (en línea). Journal of Dairy Science. 70(6):1252-1257. Consultado 5 dic. 2011. Disponible \_\_\_\_\_ en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030287801388.pdf> .
30. JAGUSIAK, W.; ZARNECKI, K. 2007. Description of national genetic evaluation systems. (en línea). Interbull Bulletin. 35(8):37-48. Consultado 9 may. 2011. Disponible en <http://www.interbull.slu.se/bulletin35/Jagusiak.pdf>
31. JAMROZIK, J.; FATEHI, J.; KISTMAKER, G. J.; SCHAEFFER, L. R. 2005. Estimates of genetic parameters for Canadian Holstein female reproductive traits. Journal of Dairy Science. 88(6):2199-2208.
32. JORJANI, H. 2006. International genetic evaluation for female fertility traits. (en línea). Interbull. 34(12): 57-64. Consultado 15 jun. 2011. Disponible en <http://www-interbull.slu.se/ojs/index.php/ib/article/view/922/913>
33. LIU, Z.; JAITNER, J.; REINHARDT, E.; PASMÁN, E.; RENSING, S.; REENTS, R. 2008. Genetic evaluation of fertility traits of dairy cattle using a multiple-trait animal model. (en línea). Journal of Dairy Science. 91(11):4333-4343.

- Consultado 9 may. 2011. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030208709822.pdf> .
34. LUCY, M. C. 2001. Reproductive loss in high-producing dairy cattle: where will it end?. *Journal of Dairy Science*. 84(6):1277-1293.
35. MEE, J. F. 2004. Temporal trends in reproductive performance in irish dairy herds and associate risk factors. (en línea). *Irish Veterinary Journal*. 57(3): 158-166. Consultado 8 may. 2012. Disponible en <http://www.irishvetjournal.org/content/pdf/2046-0481-57-3-158.pdf>
36. MISZTAL, I.; TSURUTA, S.; STRABEL, T.; AUVRAY, B.; DRUET, T.; LEE, D. H. BLUPF90 and related programs (BGF90). *In*: World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (7<sup>ème</sup>, Montpellier, France). Travaux présentée. Castanet-Tolosan, France, INRA. 1 disco compacto. (Communication no. 28).
37. MITCHELL, R. G.; ROGERS, G. W.; DECHOW, C. D.; VALLIMONT, J. E.; COOPER, J. B.; SANDER-NIELSEN, U.; CLAY, J. S. 2005. Milk urea nitrogen concentration; heritability and genetic correlations with reproductive performance and disease. (en línea). *Journal of Dairy Science*. 88(12):4434-4440. Consultado 14 mar. 2011. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030205731301.pdf> .
38. MONTALDO, H. H.; CASTILLO-JUAREZ, H.; VALENCIA-POSADAS, M.; CIENFUEGOS-RIVAS, E. G.; RUIZ-LÓPEZ, F. J. 2010. Genetic and enviromental parameters for milk production, udder health, and fertility traits in mexican holstein cows. (en línea). *Journal of Dairy Science*. 93(5): 2168-2175. Consultado 10 mar. 2011. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022->

[0302/PIIS0022030210002079.pdf](http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030210002079.pdf)

39. NEBEL, R. L.; MCGILLIARD, M. L. 1993. Interaction of high milk yield and reproductive performance in dairy cows. (en línea). Journal of Dairy Science. 75(3):725-731. Consultado 21 may. 2011. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030293776626.pdf> .
40. OLORI, V. E.; MEUWISSEN, T. H. E.; VEERKAMP, R. F. 2002. Calving interval and survival breeding values as measure of cow fertility in a pasture-based production system with seasonal calving. (en línea). Journal of Dairy Science. 85(3):689-696. Consultado 16 oct. 2011. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030202741258.pdf> .
41. OLORI, V. E.; POOL, M. H.; CALUS, M. P. L.; CROMIE, A. R.; VEERKAMP, R. F. 2003. Joint evaluation of survival and fertility in dairy cattle with a Liner model. Interbull Bulletin. 30(4):20-24.
42. RAVAGNOLO, O.; MISZTAL, I. 2002a. Effect of heat stress on nonreturn rate in Holstein cows; genetic analyses. (en línea). Journal of Dairy Science. 85(10):3092-3100. Consultado 3 dic. 2011. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030202743968.pdf> .
43. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2002b Effect of heat stress on nonreturn rate in Holstein; fixed model analyses. (en línea). Journal of Dairy Science. 85(11):3101-3106. Consultado 4 dic. 2011. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS002203020274397X.pdf> .
44. RENSIS, F. D.; SCARAMUZZI, R. J. 2003. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow-a review. (en línea). Theriogenology. 60:1139-

1151. Consultado 15 mar. 2011. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0093-691X/PIIS0093691X03001262.pdf>
45. ROVERE, G.; SOTELO, F.; VALENA, J.; SLAVICA, J. 2007. Mejoramiento lechero y el monitoreo reproductivo de los tambos uruguayos. *In*: Congreso Holstein de las Américas (9º., 2007, Colonia, Uruguay). Trabajos presentados. s.n.t. s.p.
46. ROYAL, M. D.; PRYCE, J. E.; WOOLLIAMS, J. A.; FLINT, P. F. 2002. The genetic relationship between commencement of luteal activity and calving interval, body condition score, production and linear type traits in holsteins-friesian dairy cattle. (en línea). *Journal of Dairy Science*. 85(11):3071-3080. Consultado 30 abr. 2011. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030202743944.pdf>
47. SAS. 2004. SAS user's guide; statistics, version STAT 9.1. Cary, N.C. 5123 p.
48. SENGER, P. L. 2005. Pathways to pregnancy and parturition. 2<sup>nd</sup>. ed. Washington, D. C., Current Conceptions. 373 p.
49. SEWALEM, A.; KISTEMAKER, G. J.; MIGLIOR, F. 2010. Relationship between female fertility and production traits in canadian holstein. *Journal of Dairy Science*. 93:4427-4434.
50. SEYKORA, A.; McDANIEL, B. 1982. Heritabilities and correlations of lactation yields and fertility for holsteins. (en línea). *Journal of Dairy Science*. 66(7):601-611. Consultado 12 may. 2011. Disponible en <http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS0022030283819638.pdf> .
51. UNITED STATES OF AMERICA. AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE.

- ANIMAL IMPROVEMENT LABORATORY. 2012. Trends in daughter preg rate for Holstein or red and white. (en línea). Maryland. 2 p. Consultado 19 ago. 2012. Disponible en [http://aipl.arsusda.gov/eval/summary/trend.cfm?R\\_Menu=HO.d#StartBody](http://aipl.arsusda.gov/eval/summary/trend.cfm?R_Menu=HO.d#StartBody)
52. UNIVERSIDAD DE LA RÉPUBLICA (URUGUAY). FACULTAD DE AGRONOMÍA. 2002. El cambio técnico en el proceso de construcción de las ventajas competitivas en el sector lácteo (1975/2000). Montevideo. 60 p.
53. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. 2010. Comunicaciones institucionales. (en línea). Montevideo. 3 p. Consultado may. 2011. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/portal/agxppdwn.aspx?7,1,12,O,S,0,1643%3bS%3b1%3b100>.
54. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2012. Uruguay rural en cifras. (en línea). Montevideo. 3 p. Consultado 29 mar. 2012. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/portal/agxppdwn.aspx?7,5,86,O,S,0,370%3bS%3b9%3b106>
55. VAN DOORMAL, B. 2010. A look at fertility from two perspectives. (en línea). Ontario, Canadian Dairy Network. 3 p. Consultado 23 jun. 2012. Disponible en <http://www.cdn.ca/document.php?id=186>
56. VEERKAMP, R. F.; KOENEN, E. P.; DE JONG, G. 2001. Genetic correlation among body condition score, yield, and fertility in first – parity cows estimated by random regression models. Journal of Dairy Science. 84: 2327-2335.
57. WASHBURN, S. P.; SILVIA, W. J.; BROWN, C. H.; MC DANIEL, B.T.; MCALLISTER, A. J. 2002. Trends in reproductive performance in southeastern holstein and jersey dhi herds. Journal of Dairy Science. 85. 244-251.

58. WEST, J.W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. (en línea).  
Journal of Dairy Science. 86(6):2131-2144. Consultado 6 mar. 2011.  
Disponible en  
<http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0022-0302/PIIS002203020373803X.pdf>



## **9 ANEXOS**

### **9.1 CLASES DE DIFERENTES EFECTOS FIJOS**

Cuadro No. 1 Frecuencia de las observaciones de IIP por período de tiempo

<b>Meses</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Frecuencia (%)</b>	<b>Frecuencia acumulada (%)</b>
<b>10</b>	1585	0,6	0,6
<b>10,5</b>	8575	3,3	3,9
<b>11</b>	18187	7,1	11,0
<b>11,5</b>	22649	8,8	19,8
<b>12</b>	24830	9,6	29,4
<b>12,5</b>	23106	9,0	38,4
<b>13</b>	19939	7,7	46,1
<b>13,5</b>	17971	7,0	53,1
<b>14</b>	14358	5,6	58,6
<b>14,5</b>	12410	4,8	63,5
<b>15</b>	10489	4,1	67,5
<b>15,5</b>	9415	3,7	71,2
<b>16</b>	8788	3,4	74,6
<b>16,5</b>	7607	3,0	77,5
<b>17</b>	7027	2,7	80,3
<b>17,5</b>	6606	2,6	82,8
<b>18</b>	6503	2,5	85,3
<b>18,5</b>	5494	2,1	87,5
<b>19</b>	4981	1,9	89,4
<b>19,5</b>	4409	1,7	91,1
<b>20</b>	3860	1,5	92,6
<b>20,5</b>	3628	1,4	94,0
<b>21</b>	2967	1,2	95,2
<b>21,5</b>	2695	1,0	96,2
<b>22</b>	2263	0,9	97,1
<b>22,5</b>	2284	0,9	98,0
<b>23</b>	2238	0,9	98,8
<b>23,5</b>	2048	0,8	99,6
<b>24</b>	923	0,4	100,0