

**EFFECTO DE LAS HORMONAS OXITOCINA Y PGF_{2α} DURANTE LA INSEMINACIÓN
ARTIFICIAL SOBRE LA EFICIENCIA REPRODUCTIVA EN CERDAS**

por

Jay Omar Soto Vélez

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en

INDUSTRIA PECUARIA

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2007

Autorizado por:

Melvin Pagán Morales, Ph.D.
Miembro del Comité Graduado

Fecha

Vivian Navas Almeyda, Ph.D.
Miembro del Comité Graduado

Fecha

Carmen Santana Nieves, Ph.D.
Presidenta del Comité Graduado

Fecha

José R. Latorre Acevedo, Ph.D.
Director del Departamento

Fecha

Carlos A. Muñoz, Ph.D.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

ABSTRACT

The effects of seminal supplementation with exogenous oxytocin or prostaglandin $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$) were evaluated on the reproductive performance of 33 Yorkshire or Landrace gilts during two seasons, high ($> 77^{\circ}F$) or low ($\leq 77^{\circ}F$) average monthly air temperature. Eleven gilts received two doses (10-12 hours apart) during the heat, of semen supplemented with 4ml of oxytocin, eleven of semen supplemented with 4ml of $PGF_{2\alpha}$ and eleven were inseminated with no hormone supplemented in the semen. A second insemination was performed in those animals that repeated heat 21 days after the first service. The conception rate at the first or second heat was not significantly affected by treatment ($P>0.1$): the means for the first heat were 73.7, 45.5 and 54.6% for oxytocin, $PGF_{2\alpha}$ and control respectively and for the second heat were 27.3% for oxytocin and control and 18.2% for $PGF_{2\alpha}$. However total conception rate (on both heats) was greater ($P\leq 0.1$) for oxytocin and control (100 and 81.8%, respectively) compared with $PGF_{2\alpha}$ (63.6%). A reduction in conception rate for Landrace gilts treated with $PGF_{2\alpha}$ (60%) was observed compared with oxytocin or control gilts (100%, $P\leq 0.1$). Farrowing rate was not affected ($P>0.1$) by treatments in gilts pregnant on the first or second individual heat (83.3% for control and 100% for oxytocin and $PGF_{2\alpha}$). Total farrowing rate (on both heats) was not affected ($P>0.1$) by the treatments (100% oxytocin and $PGF_{2\alpha}$, 88.9% for control). Treatments did not differ ($P>0.1$) in total piglets born and alive. No differences were observed between the two climatological seasons in none of the variables analyzed. The results of the present study provide some evidence that supplementation of oxytocin to the seminal dose could positively affect

conception rate in gilts under local conditions, but more research is necessary in order to give some recommendation.

RESUMEN

Los efectos de la suplementación seminal con oxitocina o prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$) exógena sobre el desempeño reproductivo fue evaluado en 33 cerdas primerizas de la razas Yorkshire y Landrace durante dos épocas del año de mayor ($> 77^{\circ}F$) y menor ($\leq 77^{\circ}F$) temperatura media mensual. Once cerdas recibieron dos dosis (en un intervalo de 10-12 horas) durante el celo, de semen suplementado con 4ml de oxitocina, once de semen suplementado con 4ml de $PGF_{2\alpha}$ y once sin hormonas añadidas al semen. Se realizó una segunda inseminación en aquellos animales que repitieron celo 21 días después del primer servicio. La tasa de concepción al primer o segundo celo individual no fue significativamente afectada por los tratamientos ($P>0.1$) siendo las medias: 73.7, 45.5 y 54.6% para oxitocina, $PGF_{2\alpha}$ y el control respectivamente, al primer celo, 27.3% para oxitocina y el control, y 18.2% para $PGF_{2\alpha}$ al segundo celo. Sin embargo, la tasa de concepción total (ambos celos) fue mayor ($P\leq 0.1$) para oxitocina y el control (100 y 81.8%, respectivamente) comparado con $PGF_{2\alpha}$ (63.6%). Entre las cerdas de raza Landrace se observó una reducción en la tasa de concepción para las sometidas a $PGF_{2\alpha}$ (60%) comparadas con aquellas con oxitocina y el control (100%, $P\leq 0.1$). La tasa de parición no fue afectada ($P>0.1$) por los tratamientos evaluados en las cerdas preñadas al primer o segundo celo individual (83.3% para el control y 100% para oxitocina y $PGF_{2\alpha}$). La tasa de parición total (ambos celos) tampoco fue afectada ($P>0.1$) por los tratamientos (100% para oxitocina y $PGF_{2\alpha}$, 88.9% para el control). Los tratamientos no difirieron ($P>0.1$) en el número de cerditos nacidos totales y vivos. No se observaron diferencias entre las dos épocas climatológicas en ninguna de las variables analizadas. Los resultados del presente

estudio, proveen evidencia de que la adición de oxitocina a la dosis seminal puede ser beneficiosa en términos de una mejor tasa de concepción en las cerdas bajo condiciones locales, pero más información es necesaria antes de dar alguna recomendación sobre su uso.

**A mi Señor y Salvador Jesucristo
y a mis queridos padres,
Benancio Silva Serrano y Gloria Vélez Izquierdo**

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por darme vida, salud y habilidades para lograr esta meta, sin El no soy nada. Gracias de manera especial a mi mentora, la Dra. Carmen Santana Nieves, por creer en mí cuando otros pensaron que no lo lograría y mil gracias por su excelente colaboración para con este proyecto. Gracias a los miembros de mi comité el Dr. Melvin Pagán Morales y la Dra. Vivian Navas Almeyda por su colaboración y siempre disposición para aclarar dudas.

Agradezco a la agrónomo Claudia Olaya y demás trabajadores de la Granja de cerdos en Lajas por su ayuda y colaboración para la realización de este trabajo. De igual forma agradezco al Sr. José Almodóvar, técnico del Centro de Microscopía del Departamento de Biología del Recinto Universitario de Mayagüez, por su colaboración en la obtención de las fotos del microscopio electrónico de rastreo utilizadas en esta investigación. Por su apoyo constante y palabras de aliento agradezco a mis amados padres, Benancio Silva Serrano y Gloria Vélez Izquierdo. Agradezco de manera especial a mis pastores Nancy Ballester y Eulalio Hernández y a la congregación que pertenezco, Ministerio de Intercesión Jesucristo es el Señor, por sus oraciones y apoyo incondicional cuando sentía que iba a desmayar. Por último quiero agradecer a todas las personas que de una manera u otra ayudaron a que este trabajo fuera una realidad.

TABLA DE CONTENIDO

Lista de tablas.....	x
Lista de apéndices.....	xi
Lista de figuras.....	xii
Introducción.....	1
Revisión de literatura.....	3
A. Hormonas Reproductivas.....	3
B. Hormonas Adrenocorticales.....	17
C. Hormonas Esteroideas.....	18
D. Infertilidad Estacional.....	21
Objetivos.....	28
Materiales y Métodos.....	29
A. Facilidades Físicas.....	29
B. Animales.....	30
C. Época.....	32
D. Morfología del Sistema Reproductivo Femenino.....	32
E. Análisis Estadístico.....	35
Resultados y Discusión.....	37
A. Tasa de Concepción.....	37
B. Tasa de Parición.....	39
C. Número de Cerditos Nacidos Totales y Vivos.....	42
D. Descripción del Sistema Reproductivo Femenino.....	45

Conclusión.....	53
Recomendaciones.....	54
Bibliografía.....	55
Apéndice.....	67

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Tasa de concepción y de parición para el primer y segundo celo por grupo experimental.....	38
Tabla 2	Efecto del tratamiento hormonal y la raza en la tasa de concepción y parición de cerdas primerizas.....	40
Tabla 3	Efecto de la época de inseminación y el tratamiento hormonal en la tasa de concepción y parición de cerdas primerizas	41
Tabla 4	Efecto del tratamiento hormonal, raza y época de inseminación sobre el número de cerditos nacidos totales y vivos por lechigada.	43
Tabla 5	Volumen de reflujo de semen de 0-15, 0-30, 0-45 y 0-60 min después de la inseminación con 100 ml de semen	46
Tabla 6	Largo de los oviductos, cuernos y cuerpo uterino.....	46
Tabla 7	Número de folículos, cuerpos lúteos y cuerpos albicans.....	47
Tabla 8	Concentración de espermatozoides en el ámpula, el itsmo y los cuernos uterinos.....	48

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1	Temperaturas máximas y mínimas y bulbo seco durante el periodo experimental en Lajas, P.R. (año 2004).....	68
-------------------	--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Jaulas de confinamiento grupal utilizadas durante el periodo experimental.....	29
Figura 2	Jaulas de parición.....	30
Figura 3	Ejemplo del procedimiento de inseminación artificial en cerdas.....	31
Figura 4	Temperaturas máximas y mínimas y bulbo seco en Lajas, P.R. Periodo Experimental (año 2004).....	34
Figura 5a	Superficie del cuerpo uterino en cerda control. Microscopía Electrónica de Rastreo.....	50
Figura 5b	Superficie del cuerpo uterino en cerda control. Microscopía Electrónica de Rastreo.....	50
Figura 5c	Superficie del cuerno uterino en cerda control. Microscopía Electrónica de Rastreo.....	51
Figura 6	Superficie del cuerpo uterino en cerda tratada con $PGF_{2\alpha}$. Microscopía Electrónica de Rastreo.....	51
Figura 7a	Superficie del cuerpo uterino en cerda tratada con oxitocina. Microscopía Electrónica de Rastreo.....	52
Figura 7b	Superficie del cuerno uterino en cerda tratada con oxitocina. Microscopía Electrónica de Rastreo.....	52

INTRODUCCION

Durante el verano muchas de las operaciones productoras de cerdos experimentan problemas reproductivos, tales como anestro, intervalos extendidos de destete-estro, reducidas tasas de concepción y parición, y altas tasas de mortalidad embrionaria (Love y colaboradores, 1993; Belstra y colaboradores, 2002; Tast y colaboradores, 2002). A este fenómeno se le conoce comúnmente como infertilidad estacional. En porcinos, temperaturas ambientales sobre los 80°F reducen el apetito y la producción de leche (Prunier y colaboradores, 1997). Renaudeau y colaboradores (2003) afirman que la combinación de altas temperaturas y humedad atmosférica en climas tropicales tienen un efecto negativo sobre el desempeño de cerdas lactantes.

La infertilidad estacional hoy en día continúa siendo un reto para la industria porcina en Puerto Rico. Debido a nuestro clima tropical, confrontamos temperaturas sobre 80°F durante la mayor parte del año. Es por tal razón que se hace necesario evaluar alternativas que prevengan o reduzcan el efecto que las altas temperaturas tienen sobre la fertilidad en cerdos, ya que esto afecta negativamente los ingresos del productor.

Algunos investigadores han encontrado que el uso de la hormona oxitocina durante la inseminación artificial mejora el desempeño reproductivo en cerdas durante periodos de baja fertilidad (Peña y colaboradores, 1998b; Willenburg y colaboradores, 2003), aunque este resultado no ha sido consistente (Flowers y Esbendashade, 1993). Por otro lado, se ha encontrado que la adición de prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$) a la dosis seminal causa un aumento en el tamaño de la lechigada y en la tasa de parición (Peña y colaboradores, 2000) pero estos resultados han sido también inconsistentes (Flowers

y Esbendashade, 1993). A pesar del efecto positivo reportado en algunas investigaciones con el uso de estas hormonas en aliviar la infertilidad estacional, se ha realizado relativamente poca investigación sobre este tema y los resultados han sido contradictorios.

REVISION DE LITERATURA

A. Hormonas Reproductivas

Las funciones reproductivas tanto en machos como en hembras están reguladas por la interacción de las hormonas del eje hipotálamo-pituitaria-gónadas (Bearden y Fuquay, 2000). El hipotálamo es un órgano neuro-endocrino localizado en el cerebro, el cual secreta los factores de liberación de las hormonas gonadotrópicas (GnRF). Estos factores son responsables de la liberación de la hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH) por la pituitaria anterior.

1. Hormona Folículo Estimulante (FSH)

A. Descripción

La FSH es la principal hormona en la reproducción de los mamíferos. Esta es necesaria para el desarrollo y maduración de las gónadas en la pubertad y para la producción de gametos durante la fase fértil (Simoni y Nieschlag, 1995; Chappel y Howles, 1991). Esta gonadotropina es producida y secretada por la glándula pituitaria como una glicoproteína altamente heterogénea (Moyle y Campbell, 1995; Ulloa-Aguirre y colaboradores, 1995), la cual posee un peso molecular de 30,000 a 37,000 daltons (Da). Es un heterodímero compuesto de dos subunidades glicosiladas (alfa y beta). Las subunidades alfa de FSH y LH son idénticas, pero las subunidades betas son diferentes; lo que confiere una especificidad biológica en la molécula dimérica. Hay múltiples isoformas de esta hormona en el tejido de la adenohipófisis, y algunas de estas isoformas pueden ser secretadas a la sangre para luego actuar sobre los órganos clave. La FSH

actúa al enlazarse a un receptor específico localizado exclusivamente en las gónadas. Este receptor es un miembro único de la familia de receptores de hormonas glicoproteicas, siendo este uno polimórfico (Simoni y colaboradores, 1997).

B. Funciones

a. Hembra

En la hembra la FSH induce el crecimiento y desarrollo de folículos en la superficie del ovario, los cuales contienen el óvulo. La FSH además promueve la producción de estrógeno y secreción de inhibina por las células granulosas de los folículos. Se ha reportado un incremento de FSH en el plasma, temprano en el desarrollo pubertal, en líneas de cerdas seleccionadas para altas tasas de ovulación (Ford y colaboradores, 2004).

Flowers y Day (1990) reportaron que la exposición de cerdas a temperaturas ambientales elevadas tiene un efecto detrimental en la capacidad que posee el eje hipotálamo-hipófisis para secretar FSH y LH.

b. Macho

En el macho la FSH estimula los testículos para que comience el proceso de la espermatogénesis induciendo la división y desarrollo de las células espermáticas. Sin embargo, Zanella y colaboradores (1999) reportaron que verracos con bajas concentraciones de FSH tenían un mayor peso testicular y epididimal y una mejor producción diaria de esperma por gramo de testículo que aquellos con altas concentraciones de FSH. Dichas investigaciones también encontraron un mayor porcentaje de túbulos seminíferos y un porcentaje menor de

células de Leydig y estructuras vasculares comparado con los testículos de verracos con altas concentraciones de FSH. Por otra parte, se conoce que la FSH transportada en la sangre se enlaza a los receptores en las células de Sertoli, localizadas en los túbulos seminíferos, provocando un incremento de varias proteínas incluyendo ABP (proteína de enlace androgénica, Bearden y Fuquay, 2000).

2. Hormona Luteinizante (LH)

A. Descripción

La LH es muy similar a FSH. Se diferencia en la subunidad beta; es también clasificada químicamente como una glicoproteína, la cual posee un peso molecular de 26,000 a 32,000 daltons. También es secretada por la pituitaria anterior.

B. Funciones

a. Hembra

En la hembra la LH continúa con el crecimiento de los folículos que eventualmente liberaran el óvulo durante la ovulación. Luego de la ovulación la LH promueve la formación del cuerpo luteo. Se ha reportado que la supresión de la LH por corto tiempo, temprano en la preñez, puede causar interrupción de la misma en cerdas (Virolainen y colaboradores, 2004). Sin embargo, no se ha encontrado que la secreción de LH en cerdas primerizas sea afectada por la densidad energética del alimento y el consumo de energía temprano en la preñez (Peltoniemi y colaboradores, 1997).

Por otra parte, se ha encontrado que en cerdas expuestas a temperaturas ambientales de 72° F durante la lactación se afecta la frecuencia y la amplitud pulsátil de la LH (Barb y colaboradores, 1991).

b. Macho

En el macho la LH secretada en la sangre por las células gonadotrópicas de la adenohipófisis se enlazan a los receptores de las células intersticiales de los testículos. Estas células conocidas como las células de Leydig son estimuladas para sintetizar y liberar testosterona. Se ha demostrado que la producción de LH puede ser estimulada en verracos jóvenes si son inyectados con GnRH-A (antagonista de las hormonas gonadotrópicas, Xue y colaboradores, 1994).

3. Oxitocina

A. Descripción

La oxitocina es sintetizada en la pituitaria posterior o neurohipófisis y secretada de la “pars nervosa” hacia el torrente sanguíneo para actuar como una neurohormona. Químicamente es clasificada como un nonapéptido cuyo peso molecular es de 1,007 daltons (Da). Su estructura se compone de nueve aminoácidos con un enlace de bisulfito entre la posición uno y seis completando un anillo de seis miembros. Oxitocina contiene isoleucina en la posición tres, glutamina en la posición cuatro y leucina en la posición ocho lo cual la diferencia de la vasopresina, otra hormona producida en la neurohipófisis, la cual esta envuelta en la regulación de la presión sanguínea (Malven, 1993).

Aunque la síntesis de oxitocina por el cuerpo lúteo fue sugerida bien temprano en el siglo XX, recientemente es que ha sido claramente establecida la síntesis y secreción de oxitocina por el ovario (Wathes y Swann, 1982; Flint y Sheldrick, 1983), la placenta (Lefebvre y colaboradores, 1992; Chibbar y colaboradores, 1993), y el útero (Chibbar y colaboradores, 1993; Boulton y colaboradores, 1996; Vallet y colaboradores, 1998; Behrendt-Adam y colaboradores, 1999) en varias especies. Aunque, aparentemente, hay menos secreción de oxitocina en el ovario que en la neurohipófisis en cerdos (Kotwica y colaboradores, 1990), estudios recientes han demostrado claramente que el mRNA de oxitocina está abundantemente presente en el endometrio porcino (Boulton y colaboradores, 1996; Trout y colaboradores, 1995), y es secretada en grandes cantidades al lumen uterino, especialmente durante la preñez (Vallet y colaboradores, 1998; Trout y colaboradores, 1995).

La oxitocina actúa a nivel central y periferal como neurohormona, neurotransmisor o neuromodulador. En el sistema nervioso central el gen de oxitocina se expresa predominantemente en las neuronas magnocelulares en el paraventriculo hipotámico y el núcleo supraóptico. A nivel periferal la oxitocina se produce en tejidos tales como el útero, la placenta, el amnión, el cuerpo lúteo, los testículos y el corazón (Kiss y Mikkelsen, 2005). Solamente hay un gen para el receptor de oxitocina, por lo tanto la misma proteína del receptor se expresa en el cerebro y en los órganos periferales (Kiss y Mikkelsen, 2005). En el sistema reproductor, esta hormona es utilizada para aumentar las contracciones del útero cuando hay dificultad al momento del parto.

B. Funciones

a. Hembra

La oxitocina es bien conocida en la reproducción femenina, en la cual está relacionada con el proceso del parto y en la iniciación de la lactación (Blanks y Thorsnton, 2003). La oxitocina actúa en el músculo liso del endometrio durante el parto para aumentar las contracciones uterinas, y en las células mioepiteliales de las glándulas mamarias para provocar la salida de la leche en respuesta a la succión del pezón. Aparentemente el endometrio de las cerdas produce grandes cantidades de oxitocina al momento del reconocimiento maternal y esta producción aparenta tener una dependencia local con la presencia de blastocitos elongados (Trout y colaboradores, 1995).

Por otra parte, en cerdas ciclantes, el rol de la oxitocina en la regulación de la secreción de corticoides es muy pobremente conocido. Kotwica y colaboradores (2004) evaluaron los niveles de cortisol y corticosterona en respuesta a oxitocina exógena (experimento "*in vivo*") y la influencia directa de esta hormona en la esteroidogénesis adrenocortical (experimento "*in vitro*") durante la fase luteal y folicular en cerdas primerizas. Las cerdas inyectadas con oxitocina durante la fase luteal mostraron un aumento en las concentraciones de cortisol y corticosterona en el plasma, mientras que en las inyectadas durante la fase folicular solo aumentó la concentración de cortisol. En el experimento "*in vitro*" dos de las tres dosis de oxitocina utilizadas aumentaron la secreción de cortisol en las células adrenocorticales porcinas en la fase luteal pero no así en

la fase folicular. Los investigadores reportaron que la oxitocina participa en la modulación de la actividad del eje adreno-hipotálamo-pituitaria en cerdos.

Prince y colaboradores (1995) realizaron cuatro experimentos para evaluar el efecto de la oxitocina exógena en el intervalo entre estros de cerdas intactas y cerdas histerectomizadas que estaban ciclando. Estos investigadores concluyeron que la oxitocina administrada entre los días 10 al 16 luego del estro acorta este intervalo en cerdas intactas que ciclan y que el efecto es uno útero-dependiente.

La neurohipófisis tal vez es la fuente principal de oxitocina circulante durante el diestro tardío en cerdas y la concentración de oxitocina en el plasma aumenta al momento de la luteólisis (Kotwica y colaboradores, 1990). Sin embargo, el endometrio porcino también secreta oxitocina durante el diestro (Boulton y colaboradores, 1995; Trout y colaboradores, 1995) y esta fuente puede también contribuir sustancialmente a la reserva de oxitocina circulante, aunque aún no se conoce si la oxitocina derivada del endometrio es liberada a la circulación periferal.

La oxitocina es el estímulo más reconocido para la secreción pulsátil de $\text{PGF}_{2\alpha}$, la cual es responsable de iniciar la luteólisis en los ungulados domésticos (Silvia y colaboradores, 1991; Mirando y colaboradores, 1996; McCracken y colaboradores, 1999). El rol de la oxitocina en promover la secreción luteolítica de $\text{PGF}_{2\alpha}$ ha sido bien establecido en ovejas pero no en cerdas (Mirando y colaboradores, 1996). Se ha sugerido que la concentración de los metabolitos de $\text{PGF}_{2\alpha}$ en el plasma aumentan en respuesta a oxitocina inyectada durante el

diestro tardío en cerdas ciclantes (Kieborz y colaboradores, 1991; Edgerton y colaboradores, 1996) y en cerdas ovariectomizadas tratadas con estradiol y progesterona (Franczak y colaboradores, 2002). Por otra parte, oxitocina exógena, administrada sistémicamente a cerdas ciclantes, reduce los intervalos entre estros por 0.5-1.4 días (Sample y colaboradores, 2000). La oxitocina también estimuló la secreción endometrial de $\text{PGF}_{2\alpha}$ en endometrios aislados en los días 15-16 del ciclo estral (Whiteaker y colaboradores, 1995; Uzumcu y colaboradores, 1998; Carnahan y colaboradores, 1999). Por otra parte, en infusiones sistémicas del antagonista de oxitocina realizadas entre los días 12 y 20 del ciclo estral, se encontró que la amplitud de los pulsos luteolíticos del metabolito de $\text{PGF}_{2\alpha}$, se redujo pero no se afectó el tiempo de iniciación de la luteolisis o la duración del ciclo estral (Kotwica y colaboradores, 1999). Por lo tanto, no está claro si la oxitocina en cerdas es responsable de la iniciación de los pulsos luteolíticos de $\text{PGF}_{2\alpha}$, y de ser así, este es el único factor que controla el largo de vida del cuerpo lúteo.

Los receptores de oxitocina están presentes en el endometrio de cerdas ciclantes (Whiteaker y colaboradores, 1994; Okano y colaboradores, 1996). La concentración de los receptores de oxitocina es mayor durante el estro que en la fase luteal y temprano en la preñez (Okano y colaboradores, 1996).

La oxitocina activa la ruta de fosfatidilinositol intracelular luego de enlazarse a sus receptores, en la mayoría de las células tarjetas (Whiteaker y colaboradores, 1995). La activación de esta ruta inicia la hidrólisis del fosfatidilinositol 4,5 bisfosfato a inositol trifosfato y diacilglicerol. Por último,

activa la proteína quinasa C e inositol trifosfato estimulando la liberación de calcio de los almacenes intracelulares. La correlación positiva entre los receptores de oxitocina, la hidrólisis de fosfatidilinositol y la secreción $\text{PGF}_{2\alpha}$ se ha demostrado en un endometrio aislado en el día 15 del ciclo estral porcino (Whiteaker y colaboradores, 1995). Sin embargo, Ludwig y colaboradores (1998) indicaron que la respuesta endometrial a oxitocina es debido más a un incremento en la afinidad de enlace de los receptores de oxitocina que en la concentración de estos receptores.

El aumento en concentración de oxitocina en el plasma está parcialmente asociado con un incremento en la secreción uterina de $\text{PGF}_{2\alpha}$. La respuesta secretora de $\text{PGF}_{2\alpha}$ uterina a oxitocina se desarrolla entre los días 11 y 15 luego del estro y el endometrio porcino responde a oxitocina con un aumento en la secreción de $\text{PGF}_{2\alpha}$ y un aumento en la hidrólisis de fosfoinositol "*in vitro*" (Whiteaker y colaboradores, 1994; Whiteaker y colaboradores, 1995; Mirando y colaboradores, 1990) y, así mismo, un incremento en las concentraciones en el plasma de 13,14-dihidro-15-keto $\text{PGF}_{2\alpha}$ (PGFM; el metabolito más estable de $\text{PGF}_{2\alpha}$) "*in vivo*" (Kieborz y colaboradores, 1991). El mecanismo para la secreción de $\text{PGF}_{2\alpha}$ estimulada por oxitocina envuelve la activación de la proteína G de la fosfolipasa C, resultando en la liberación de mensajeros secundarios intracelulares, inositol 1, 4, 5-trifosfato y potencialmente diacilglicerol (Hixon y colaboradores, 1987; Mirando y colaboradores, 1993; Silvia y colaboradores, 1993; Whiteaker y colaboradores, 1994; Whiteaker y colaboradores, 1995; Tysseling y colaboradores, 1996; Simon y colaboradores;

1991; Silvia y colaboradores, 1994; Sanborn y colaboradores, 1995; Flint y colaboradores, 1986).

Por otra parte, la evidencia concerniente a la presencia de receptores de oxitocina en las células del miometrio porcino es bastante limitada (Soloff y Swartz, 1974). Sin embargo, un alto nivel de receptores de oxitocina en el miometrio ha sido observado durante la gestación tardía y el parto (Lundin-Schiller y colaboradores, 1996).

La oxitocina no aparenta estar envuelta en la iniciación de la regresión luteal en cerdas pero los receptores de esta hormona se mantienen presentes en el miometrio durante la preñez temprana (Franczak y colaboradores, 2005).

b. Machos

En los machos la eyaculación está acompañada por elevaciones de oxitocina circulante y esta hormona está envuelta en facilitar el transporte de espermatozoides dentro del sistema reproductivo masculino y posiblemente también en el femenino, debido a su presencia en el fluido seminal (Ivell y colaboradores, 1997). En los machos la administración de oxitocina estimula las contracciones del músculo liso que rodea los ductos del tracto genital.

4. Prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$)

A. Descripción

Las prostaglandinas constituyen una familia de ácidos grasos insaturados con un esqueleto de 20 carbonos. Las prostaglandinas se encuentran en casi cada célula mamaria y son consideradas hormonas que actúan localmente. Se sintetizan por demanda y subsecuentemente se inactivan en o cerca del lugar

de síntesis. Las prostaglandinas son compuestos metabólicamente inestables y no son almacenadas (Dajani y colaboradores, 2003). Primeramente, fueron encontradas en el semen y luego en células a través de todo el cuerpo. Hay seis tipos, A, B, C, D, E y F y el grado de saturación de la cadena de cada una de ellas es designado por suscritos 1, 2 y 3. Las prostaglandinas se sintetizan a partir del ácido araquidónico el cual se almacena en la membrana celular en una molécula compleja de fosfolípidos. Cuando las células se activan, pueden llegar a producir ácido araquidónico libre por la acción de las fosfolipasas A2 o C actuando en conjunto con diacilglicerol lipasa. El ácido araquidónico libre puede ser entonces llevado, vía la ruta ciclo-oxigenasa, a producir prostaglandinas o por vía de la ruta lipoxigenasa a producir leucotrienos, los cuales son importantes mediadores inflamatorios. Cual de estas rutas predomina o cual prostaglandina será producida depende del tipo de célula presente (tejido vascular, plaquetas y útero por ejemplo; Calder y Creer, 1990).

B. Funciones

a. Generales

Las prostaglandinas son un grupo químicamente relacionado que estimulan la contracción del útero y otros músculos lisos y tienen la habilidad de disminuir la presión sanguínea, regular la secreción de ácido en el estomago, regular la temperatura corporal y agregación de plaquetas, y controlar la inflamación y permeabilidad vascular (Blood y Studdert, 1999). También las prostaglandinas afectan la acción de algunas hormonas.

Hay evidencia de que las prostaglandinas tienen acción local y sistémica afectando la fisiología gastrointestinal (Dajani y colaboradores, 1976). Las prostaglandinas de la serie E son las principales hormonas de acción local localizadas en el tracto gastrointestinal y tienen varias acciones fisiológicas bien caracterizadas (Dajani, 1986). Estas prostaglandinas inhiben basalmente y estimulan la secreción de ácido y protegen la mucosa gastrointestinal de daños inducidos por agentes nocivos. Otros efectos fisiológicos de las prostaglandinas de la serie E incluyen un incremento en el flujo sanguíneo hepático, contracción de la vejiga urinaria, relajación del esfínter de oddi, inhibición de la secreción pancreática y liberación de insulina, y reducen la absorción e inducen la secreción de electrolitos y agua en el yeyuno e ileon, pero no en el colon.

Las prostaglandinas han sido identificadas en el sistema nervioso central (SNC). La síntesis de PGE₂, PGD₂, PGF_{2 α} y PGI₂ en el cerebro ha sido demostrada, siendo la PGD₂ y PGF_{2 α} sintetizadas en mayores cantidades (Wolfe, 1982). Se ha propuesto que las prostaglandinas modulan las neuronas catecolinérgicas (Narumiya y colaboradores, 1982), serotoninérgicas (Brus y colaboradores, 1979) y colinérgicas (Saito y colaboradores, 1985) en el SNC.

b. Hembras

La función de PGF_{2 α} se ha reportado en diferentes especies domésticas. La liberación de PGF_{2 α} por el útero destruye el cuerpo luteo al final del ciclo estral no fértil (rumiantes, Silvia y colaboradores, 1991; cerdos, Petroff y colaboradores, 1997; Bearden y Fuquay, 2000), inhibiendo la progesterona que

se requiere en la preñez. Además la $\text{PGF}_{2\alpha}$ estimula el músculo liso en el proceso del parto. El endometrio es considerado como la fuente de $\text{PGF}_{2\alpha}$ ya que una histerectomía antes del día 14 del ciclo estral extiende la función del cuerpo luteo más allá de los 30 días (Melampy y Anderson, 1968). En cerdas ciclando la secreción de $\text{PGF}_{2\alpha}$ medida en la vena útero-ovárica comienza a incrementar luego de los 12 días de iniciado el ciclo estral, y alrededor del día 15 las concentraciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ alcanzan el pico máximo (Moeljono y colaboradores, 1977).

Franczak y colaboradores (2004) encontraron que la producción de $\text{PGF}_{2\alpha}$ puede ser estimulada mediante la administración exógena de oxitocina en secciones del miometrio de cerdas preñadas. Estos investigadores encontraron que la liberación de $\text{PGF}_{2\alpha}$ fue mayor en el grupo control (sin tratamiento de oxitocina) y en cerdas preñadas tratadas con oxitocina comparado con el miometrio de cerdas ciclando. Por otra parte, la prostaglandina F sintetasa fue mayor en miometrios de cerdas ciclantes expuestos a oxitocina que en el control. Estos resultados indican una síntesis local de $\text{PGF}_{2\alpha}$ y la presencia de prostaglandina F sintetasa en el tejido del miometrio en cerdas ciclando y temprano en la preñez.

Se ha postulado que una exposición directa del útero a $\text{PGF}_{2\alpha}$ puede tener un efecto estimulador mayor comparado con otras rutas de administración (Claus y colaboradores, 1990). Waberski (1997) ha señalado que la $\text{PGF}_{2\alpha}$ añadida al semen incrementa la oportunidad de los espermatozoides a alcanzar el lugar de fertilización.

PGF_{2α} causa contracciones rítmicas uterinas y es posible que estas contracciones promuevan el transporte de espermatozoides a la unión útero-tubal (Bilkei, 1995). La cantidad de prostaglandinas en el semen del verraco es bien pequeña (0.5ng/ml) comparada con el de otras especies (Bilkei, 1995). Sin embargo, a pesar de que la PGF_{2α} no tiene efectos directos en el metabolismo de la esperma o su función (Kelly, 1997), ésta influencia positivamente la fertilización. El contenido de esta hormona en el plasma seminal respalda el transporte de espermatozoides a la unión útero-tubal, con el efecto de aumentar el número de espermatozoides en el oviducto (Pettersson y colaboradores, 1993). Un estudio mostró que PGF_{2α} aumenta consistentemente la actividad del miometrio del útero porcino (Rodríguez-Martínez y Einarsson, 1985).

El empadronamiento natural cercano al comienzo del estro puede resultar en un adelanto de la ovulación (Einarson y colaboradores, 1975). La etiología de este efecto envuelve componentes del plasma seminal, tales como PGF_{2α}, que son diluidos en el semen fresco extendido durante la inseminación artificial. La adición exógena de PGF_{2α} puede ejercer el mismo efecto en el plasma seminal durante inseminación artificial comparado con monta natural. PGF_{2α} añadida al semen utilizado para inseminación artificial, aumenta el número de espermatozoides disponibles al tiempo de ovulación, resultando en un mejoramiento en las tasas de fertilidad y concepción (Horvat y Bilkei, 2003).

c. Machos

En pavos domésticos se ha encontrado $\text{PGF}_{2\alpha}$ tanto en el plasma seminal como en los espermatozoides (Kennedy y colaboradores, 2003). Por otra parte, el uso de $\text{PGF}_{2\alpha}$ exógena no aparenta aumentar el número de espermatozoides en perros (Traas y Root, 2004). De igual forma no se ha reportado ningún efecto de la adición de $\text{PGF}_{2\alpha}$ exógena sobre el líbido, motilidad y características del semen de cerdos (Maes y colaboradores, 2003; Estienne y Harper, 2004).

5. Esteroides

Los esteroides representan una clase de hormonas, que contrario a las hormonas proteicas, son lipofílicas. En general pertenecen a una de dos categorías: hormonas adrenocorticales (glucocorticoides y mineralocorticoides) y hormonas sexuales (estrógenos, progesterona y andrógenos). Estas hormonas tienen en común cuatro anillos; un esqueleto de 17 carbonos que es derivado del colesterol. La mayoría de los esteroides son formados a partir del colesterol, el cual es sintetizado en el hígado (Currie, 1995).

B. Hormonas Adrenocorticales

La glándula adrenal secreta corticosteroides y catecolaminas, los cuales juegan un rol vital en la adaptación general al ambiente siempre cambiante y a situaciones de emergencia y ayuda a los vertebrados en su supervivencia. La corteza adrenal produce una gran cantidad de corticosteroides que son liberados al torrente sanguíneo

en respuesta a una amplia variedad de estímulos estresantes. Basado en sus efectos biológicos, estas hormonas son clasificadas como glucocorticoides y mineralocorticoides.

1. Glucocorticoides

Los glucocorticoides están envueltos en la regulación del metabolismo de carbohidratos, proteínas y lípidos, metabolismo oxidativo, balance de electrolitos, acciones antiinflamatorias, inmunosupresión, apoptosis, adaptación general, reproducción y crecimiento (Gupta y Lalchandama, 2002).

2. Mineralocorticoides

Los mineralocorticoides están comprometidos primeramente en la regulación de la composición iónica de los fluidos extracelulares porque contribuyen al control en la excreción de sodio y potasio, y en menor alcance en la excreción de otros iones en el riñón (Currie, 1995). Aldosterona es el mineralocorticoide más importante.

C. Hormonas Esteroideas

1. Estrógeno

A. Descripción

El estrógeno es un compuesto esteroidal. Existen varios tipos de estrógenos siendo los más comunes estradiol, estriol y estrona. En el cuerpo son producidos a partir de andrógenos a través de las acciones enzimáticas. El estradiol es producido a partir de la testosterona y la estrona a partir de androstenediona. Al igual que todas las hormonas esteroidales los estrógenos se difunden a través de

la membrana celular y una vez dentro de ella interactúan con los receptores (Bearden y Fuquay. 2000).

B. Funciones

a. Hembra

El estrógeno es producido por células del folículo de Graff en las hembras. Las células teca del folículo son estimuladas por la LH para producir andrógenos los cuales se difunden a través de la membrana basal, en donde se convierten a estrógeno por la actividad de la aromatasa en las células granulosas, las cuales están bajo la influencia de la FSH. En la hembra el estrógeno está envuelto en el comportamiento sexual y es responsable de las características sexuales secundarias. Mantiene el sistema reproductivo femenino y promueve el crecimiento de la glándula mamaria. El estrógeno es luteolítico en vacas y ovejas pero en cerdas es luteotrópico.

b. Macho

En el macho el estrógeno es producido en los testículos específicamente en las células de Sertoli. Esta hormona llega al cerebro gracias a los receptores que se encuentran en el. También está presente en concentraciones bien altas en el semen de varias especies; ratas (Free y Jaffe, 1979), monos (Waites y Einer-Jensen, 1974), toros (Ganjam y Amann, 1976) y cerdos (Claus y colaboradores, 1985). En el macho el estrógeno esta envuelto en numerosos procesos incluyendo la renovación de los huesos, el comportamiento, y el sistema cardiovascular. Sin embargo el rol

de esta hormona sobre la reproducción en el macho no ha sido establecido claramente.

2. Progesterona

La progesterona se produce en el cuerpo lúteo. En el tracto reproductivo femenino, esta hormona juega un rol importante en la ovulación, implantación y mantenimiento de la preñez. (Graham y Clarke, 1997). La progesterona tiene un rol dominante en la regulación del ciclo estral. Durante el diestro con el cuerpo lúteo funcional, altas concentraciones de progesterona inhiben la liberación de FSH y LH a través de un control de retroalimentación negativa del hipotálamo y la pituitaria anterior. La progesterona también inhibe el comportamiento sexual. Durante la preñez altas concentraciones de progesterona inhiben la liberación de las hormonas gonadotrópicas, lo cual es esencial para el mantenimiento de la preñez.

3. Andrógenos

Los andrógenos, principalmente androstenediona y testosterona son producidas por las células teca localizadas en el testículo, en respuesta a la LH. Los andrógenos actúan vía receptores localizados en las células granulosa, células estromales, células tecas en los humanos, y en los oocitos de ratas, cerdos y ratones (Drummond, 2006).

En machos la testosterona es sintetizada y secretada por las células de Leydig en el testículo. Es secretada a la sangre y difundida en los túbulos seminíferos donde actúa en una variedad de tejidos para producir el dimorfismo sexual característico de los machos. En adición, en el cerebro la enzima aromatasa

convierte la testosterona en estradiol masculinizando el cerebro lo cual resulta en el desarrollo del comportamiento sexual masculino y la liberación de las gonadotropinas. La testosterona circulante es esencial para la activación del comportamiento copulatorio del macho.

La testosterona es enlazada por la molécula de ABP (proteína androgénica enlazante) promoviendo la difusión de esta hormona en el lumen de los túbulos seminíferos y epidídimo. Como parte de una estimulación general de las células de Sertoli, la FSH aumenta la secreción de varias proteínas incluyendo la ABP. También esta molécula facilita el transporte de andrógenos de los testículos al epidídimo, donde esas hormonas influyen el tránsito epididimal y la maduración de los espermatozoides.

D. Infertilidad Estacional

La infertilidad estacional puede ser definida como la reducción del desempeño reproductivo causado por las variaciones estacionales y se manifiesta por un incremento en el intervalo destete-estro, una disminución en la tasa de parición, demora en la presentación de la pubertad, retornos al estro irregulares y una reducción en la fertilidad del macho. La infertilidad estacional ha sido reportada en los animales domésticos de finca; vacunos (White y colaboradores, 2002; Badinga, y colaboradores, 1994; Cavestany y colaboradores, 1985), caprinos, (Brackel-Bodenhausen y colaboradores, 1994; Mory y colaboradores, 1984), ovinos (Fitzgerald y Stellflug, 1991; Bittman y colaboradores, 1983; Nett y Niswender, 1982), equinos (Gentry y

colaboradores, 2002; Fitzgerald y McManus, 2000; Hines y colaboradores, 1991), y porcinos (Smith y colaboradores, 1991; Armstrong y colaboradores, 1986; Hurtgen y Leman, 1980).

La infertilidad estacional en cerdos puede estar asociada a cambios en el largo del periodo de luz (Battes y colaboradores, 2000; Evans y colaboradores, 1994; Claus y Weiler, 1985) o cambios drásticos en temperatura ambiental (Messias de Braganca y colaboradores, 1998; Barb y colaboradores, 1991).

El rol de la melatonina en regular los cambios estacionales en la reproducción de la cerda doméstica se mantiene incierto. Bassett y colaboradores (2001) reportaron que aun cuando la administración de melatonina disminuyó la incidencia de anestro estacional en cerdas, no previno el incremento estacional de prolactina en el plasma, ni afectó los niveles de LH.

Por otra parte, Wan y colaboradores (1994) investigaron si existía alguna evidencia que relacionara la incidencia de infertilidad estacional con las respuestas a estrés. Estos investigadores reportaron que cerdas con un potencial alto de respuesta adrenal a estrés estaban más propensas a sufrir infertilidad estacional.

Hurtgen y colaboradores (1980) evaluaron la actividad estral de cerdas adultas luego del destete y de cerdas adultas y jóvenes luego del empadronamiento. Encontraron que esta fue influenciada por la época del año y por el número de partos. De igual forma, Peltoniemi y colaboradores (1999b) reportaron que la tasa de reempadronamiento, la tasa de parición y la edad de la cerdita al primer empadronamiento fueron significativamente afectadas por la época del año. Estos resultados concuerdan con los reportados por otros investigadores (Hurtgen y

colaboradores, 1980; Love y colaboradores, 1993). Una reducción marcada en la fertilidad de las cerdas domésticas durante los meses de julio a noviembre ha sido reportada en Finlandia (Peltoniemi y colaboradores, 1999a).

Tast y colaboradores (2002) evaluaron la asociación entre el retorno al estro, y la interrupción temprana de la preñez. Encontraron que en la época de verano a otoño ocurren mayores interrupciones tempranas en la preñez y que estas pueden contribuir a las reducciones en las tasas de parición observadas durante esta época del año.

Por otra parte Belstra y colaboradores (2002) evaluaron el efecto de la época y el intervalo destete-estro sobre el celo, la ovulación y características subsecuentes de fertilidad en cerdas. Estos investigadores reportaron que las cerdas destetadas en primavera presentaban una reducción en la duración del estro y en el intervalo estro-ovulación comparada con las destetadas en verano. En el hato donde se realizó esta investigación, la época alteró la duración del estro, el tiempo de ovulación y los intervalos inseminación-ovulación pero no lo suficiente como para impactar la fertilidad subsiguiente.

1. Medidas Alternas para Reducir la Infertilidad Estacional

Diferentes alternativas han sido evaluadas para reducir la infertilidad estacional en cerdas. Estas varían desde modificar fotoperiodo (Chokoe, 2005; Tast y colaboradores, 2005), controlar temperaturas ambientales, proveer sistemas de enfriamiento (Hurtgen y Leman, 1980; Hurtgen y colaboradores, 1980; Hurtgen y Leman, 1981) y la aplicación de hormonas (Peña y colaboradores, 1998a; Peña y colaboradores, 1998b; Willenburg y colaboradores, 2003; Gibson y

colaboradores, 2004; Kos y Bilkei, 2004). Dos de estas hormonas son oxitocina y $\text{PGF}_{2\alpha}$.

A. Oxitocina

Peña y colaboradores (1998b) evaluaron la adición de oxitocina a la dosis seminal durante la inseminación artificial (IA) sobre el desempeño reproductivo de cerdas durante las épocas de baja fertilidad en España. Estos investigadores seleccionaron tres grupos de veinte cerdas cada uno en los que se encontraban cerdas de 1-8 partos. Estos tres grupos fueron asignados a cada época estudiada (época 1: enero a marzo, época 2: abril a junio, época 3: julio a septiembre y época 4: octubre a diciembre). El primer grupo era inseminado con semen suplementado con oxitocina, al segundo grupo se le inyectaba la oxitocina en la vulva al momento de la IA y el tercer grupo era inseminado sin el uso de oxitocina sirviendo así como control. Al finalizar el estudio los investigadores reportaron que la adición de oxitocina a la dosis seminal justo antes de la IA es práctica y efectiva ya que los resultados obtenidos indicaron un aumento en la fertilidad de 18.36 % y en el tamaño de la lechigada de 2.24 cerditos durante los meses de verano.

B. Prostaglandina $\text{F}_{2\alpha}$

Peña y colaboradores (1998a) en otro estudio evaluaron los efectos de inyectar 5 mg de $\text{PGF}_{2\alpha}$ en la mucosa de la vulva sobre el desempeño reproductivo en cerdas bajo condiciones de campo. Esta investigación fue realizada en España donde formaron dos grupos experimentales para cada

una de las dos épocas estudiadas (época 1: julio a septiembre y época 2: los demás meses del año). El primer grupo recibió en cada inseminación 5 mg de PGF_{2α} inyectado en los labios de la vulva al momento de la inseminación. El segundo grupo fue inyectado con 1 ml de solución salina. Los investigadores reportaron un aumento en la tasa de concepción de 25.4 % y en el tamaño de la lechigada de 1.66 cerditos durante la época de baja fertilidad (época 1) en las cerdas inyectadas con PGF_{2α}. Para el resto del año no se encontraron diferencias significativas.

Por otro lado, Kos y Bilkei (2004) investigaron los efectos de suplementar el semen con PGF_{2α} sobre el desempeño reproductivo en cerdas. Todas las cerdas utilizadas para este estudio fueron de razas blancas. Para esta investigación, Kos y Bilkei evaluaron la tasa de concepción, retorno al estro, tasa de parición, tamaño de la lechigada, intervalo destete-estro, y número de cerdos nacidos vivos y destetados por cerda al año. Al finalizar la investigación concluyeron que la adición de PGF_{2α} a la dosis seminal mejora las tasas de concepción y parición, disminuye el retorno al estro e incrementa los cerdos nacidos y destetados por cerda al año.

Cheng y colaboradores (2001) evaluaron la adición de PGF_{2α} a semen extendido sobre la actividad “*in vitro*” del miometrio de cerdas. El semen fue mantenido con PGF_{2α} por 72 horas a 17°C. Dosis de 0.1, 1, 10 y 100 microL de la mezcla fueron evaluadas en tiras de útero obtenidas de cerdas en diestro. Estos investigadores reportaron un aumento en la contracción del miometrio con semen suplementado con PGF_{2α} comparado con semen

extendido sin hormona. Los resultados obtenidos sostienen que la $\text{PGF}_{2\alpha}$ puede ser añadida al semen de verraco ya que mejora la contracción del miometrio al momento de la inseminación.

Por otra parte, Willenburg y colaboradores (2003) evaluaron la adición de estrógenos, $\text{PGF}_{2\alpha}$ y oxitocina en el semen sobre el reflujo de semen, el número de espermatozoides en el oviducto y en el segmento anterior del útero 8 horas luego de la IA. También midieron la frecuencia, amplitud y duración de las contracciones uterinas luego de la IA y la tasa de parición y tamaño de lechigada. Las cerdas utilizadas eran de genética cruzada con una edad promedio de 170 días. Las hormonas fueron añadidas en forma líquida al semen inmediatamente antes de la IA. Estos investigadores reportaron que no hubo diferencias en el volumen total de reflujo de semen entre los grupos tratados y los no tratados. También indicaron que no hubo efecto de los tratamientos sobre la cantidad de espermatozoides en los oviductos. A la media hora de ser inseminadas las cerdas, encontraron un aumento en la frecuencia de las contracciones para el caso de la $\text{PGF}_{2\alpha}$ comparada con las otras hormonas, pero esta no tuvo efectos sobre la amplitud y duración de las contracciones. La tasa de parición no fue influenciada por los tratamientos, sin embargo, el número de fetos saludables aumentó con la $\text{PGF}_{2\alpha}$ y la oxitocina pero no con los estrógenos. Estos investigadores concluyen que en situaciones de baja fertilidad la adición de hormonas podría ser una estrategia para reducir la infertilidad en el ganado porcino.

Maes y colaboradores (2003) investigaron si la motilidad de los espermatozoides de 20 verracos Pietrain mejoraba cuando se añadía $\text{PGF}_{2\alpha}$ al semen diluído. Diferentes concentraciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ (2.5, 5 y 10 mg/100ml) fueron evaluadas y la motilidad fue observada inmediatamente después de la adición de $\text{PGF}_{2\alpha}$, a los 30 min, 2 horas y 24 horas más tarde. En este estudio el semen fue analizado usando el “Sperm Quality Analyzer” (SQA-IIC) y el “Hamilton Thorne” (HTR Ceros 12.1), los cuales son programas computarizados para evaluar parámetros de motilidad. Con el SQA-IIC los valores de motilidad en los espermatozoides de los grupos tratados fue ligeramente mayor que el grupo control. Por otra parte los diferentes parámetros de motilidad medidos con el HTR Ceros 12.1 fueron similares entre los grupos tratados. Los investigadores concluyeron que la adición de 2.5, 5 o 10 mg de $\text{PGF}_{2\alpha}$ a 100 ml de semen diluído no aumenta ningún parámetro de motilidad en los espermatozoides.

OBJETIVOS

Los objetivos de la presente investigación fueron:

1. Evaluar el efecto de la adición de oxitocina y prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$) a la dosis seminal durante la inseminación artificial sobre la infertilidad estacional en cerdas primerizas durante dos épocas del año.
2. Describir la morfología de la superficie del cuerpo y cuernos uterinos bajo los diferentes tratamientos experimentales.

MATERIALES Y MÉTODOS

A. Facilidades físicas

Este estudio se llevó a cabo en las facilidades de la granja de cerdos del Departamento de Industria Pecuaria en la Estación Experimental Agrícola del Recinto Universitario de Mayagüez, en Lajas. La misma se realizó durante los meses de marzo a octubre del 2004. Se utilizaron corrales de 29 m², con piso de hormigón, paredes de bloque de cemento y alambre de ciclón, y techo de zinc (Fig. 1). Cada jaula tenía bebederos tipo niple y comederos de cemento. Aproximadamente una semana antes de parir, las cerdas fueron transferidas a jaulas de parición con piso enrejillado y paredes con paneles de madera, conteniendo bebederos tipo niple y comederos de metal (Fig. 2).



Figura 1. Jaulas de confinamiento grupal utilizadas durante el periodo experimental



Figura 2. Jaulas de parición

B. Animales

Se utilizaron treinta y tres cerdas jóvenes, nulíparas, de las razas Yorkshire (15) y Landrace (18). Las cerdas se alojaron en grupos de 6 a 10 animales por corral. Estas se alimentaron diariamente con 2 kg en promedio por cerda, de un concentrado comercial garantizado de contener 16% de proteína. El agua estaba disponible “ad libitum”. Las cerdas se observaron diariamente para detectar celo mediante “standing heat” y se inseminó el animal aproximadamente una hora después (Fig. 3).

Las cerdas detectadas en celo fueron asignadas al azar a uno de tres tratamientos: control (sin hormona); 4 ml de oxitocina, y 4 ml de $\text{PGF}_{2\alpha}$, mezclándose la hormona con la dosis seminal (50 ml) justo antes de la inseminación. Las once cerdas por tratamiento recibieron dos dosis de semen con el mismo tratamiento hormonal. La segunda dosis fue de 10 a 12 horas luego de la primera inseminación. Si la cerda repetía celo en una tercera ocasión no volvía a ser inseminada.



Figura 3. Ejemplo del procedimiento de inseminación artificial en cerdas

Todas las cerdas fueron inseminadas artificialmente con semen colectado en la finca. Se obtuvo semen de dos verracos de la raza Yorkshire mediante la técnica de la mano enguantada y se utilizó sólo la fracción rica en esperma. El semen fue evaluado microscópicamente para motilidad y morfología. Para motilidad se utilizó una escala del 1 al 4 siendo el 4 el mejor. Solo el semen que obtenía un puntaje de 4 ó 3 fue utilizado para llevar a cabo la inseminación. Para morfología, como mínimo, un 90% de los espermatozoides debían ser normales. La concentración de espermatozoides fue determinada utilizando un hemacitómetro. Una vez evaluado se combinó el semen de ambos verracos y se diluyó en Androhep®. El semen diluido fue colocado en una botella plástica de polietileno desechable. El semen así procesado se mantuvo bajo refrigeración a 64°F para ser utilizado durante los próximos 3 días. La concentración mínima que se utilizó para llevar a cabo la inseminación fue de 3×10^9 espermatozoides en 50 ml de fluido.

C. Época

Esta investigación se llevó a cabo durante los meses de marzo a octubre del 2004. La temperatura de bulbo seco promedio por mes fue utilizada para definir las dos épocas de inseminación. La época fresca (marzo a mayo y octubre) tuvo una temperatura media mensual de bulbo seco $\leq 77^{\circ}\text{C}$ y la época caliente (junio a septiembre) tuvo una temperatura $> 77^{\circ}\text{C}$ (Figura 4). Se inseminaron 16 cerdas en la época fresca y 17 en la época caliente.

D. Morfología del Sistema Reproductivo Femenino

Para este estudio se seleccionaron tres cerdas hermanas de la raza Yorkshire, adicionales al grupo de 33 cerdas utilizadas en el resto del experimento, las cuales fueron inseminadas una vez presentaron signos de celo con uno de tres tratamientos; control (sin hormona); 4 ml de oxitocina, ó 4 ml de $\text{PGF}_{2\alpha}$, mezclándose la hormona con la dosis seminal justo antes de la inseminación. Se procedió a recolectar el reflujo de semen de 0-15, 0-30, 0-45 y 0-60 minutos después de haber sido inseminadas con 100 ml de semen. Estas cerdas fueron sacrificadas aproximadamente 4 horas después de haber sido inseminadas para la obtención del tracto reproductivo. Los oviductos, los cuernos uterinos y el cuerpo del útero fueron medidos. Además de esto fueron contados el número de folículos, cuerpos luteos y cuerpos albicans observados en los ovarios de cada cerda sacrificada. Cada cuerno uterino con su respectivo oviducto fue dividido en 3 secciones. El protocolo seguido para la disección y la recuperación de espermatozoides en el tracto reproductivo fue según descrito por Kunavongkrit y colaboradores (2003).

Secciones del oviducto:

- a. Parte del ámpula (2/3 del ámpula próximo a la parte craneal del istmo).
- b. Parte craneal del istmo (1/2 del istmo próximo a la parte del ámpula).
- c. Parte caudal del istmo (1/2 del istmo próximo a la unión útero tubal).

Secciones del útero:

- a. Unión útero-tubal (1 cm de la punta del cuerno uterino y 1 cm del istmo).
- b. Parte craneal del cuerno uterino (1/3 del cuerno uterino próximo a la unión útero-tubal).
- c. Parte caudal del cuerno uterino (2 1/3 del cuerno uterino próximo al cuerno uterino cranial).

Cada sección fue lavada con el diluyente Androhep®. La sección del ámpula fue lavada 2 veces con 1.0 ml de diluyente. Las secciones del istmo y la sección de la unión útero-tubal fueron lavadas 2 veces con 0.5 ml de diluyente y recolectadas en frascos de plástico. Cada sección de cuernos uterinos fue lavado con 20.0 ml de diluyente dos veces. El número total de espermatozoides por lavado de cada sección fue determinado utilizando el Spermacue®.

Una vez fueron lavadas las secciones antes mencionadas se procedió a cortar 2 porciones de los cuernos uterinos y del cuerpo del útero. Estas secciones fueron fijadas en 2% de gluteraldehído en amortiguador de fosfato, luego deshidratadas en etanol y secadas a punto crítico. Finalmente se montaron y se cubrieron con oro-paladio (Gabriel, 1982) para ser observadas bajo el Microscopio Electrónico de Rastreo (JEOL 5410 LV), ubicado en el Departamento de Biología del Recinto Universitario de Mayagüez.

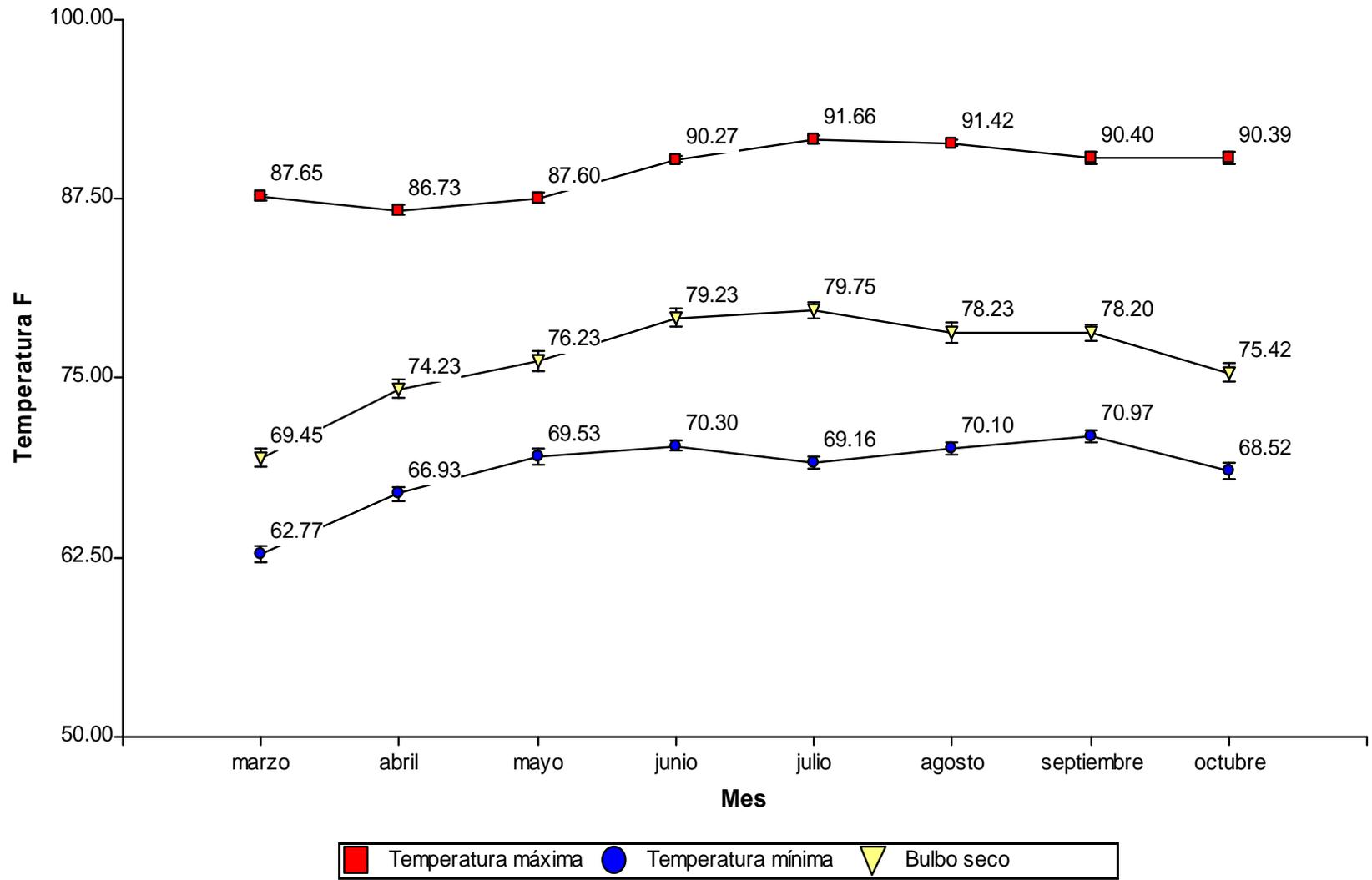


Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas y bulbo seco en Lajas, P.R. – Periodo Experimental (año 2004)

E. Análisis Estadístico

El diseño experimental fue uno completamente aleatorizado. Las variables tasa de concepción y tasa de parición se analizaron para número de celos repetidos mediante una prueba de contingencia (χ^2 ; SAS, 1992). La tasa de concepción se expresó como la proporción del total de cerdas inseminadas que quedaron preñadas en el primer o segundo celo y para ambos celos. Asimismo la tasa de parición, fue definida como el número de cerdas preñadas que parieron para el primer o segundo celo y para ambos celos. Seis cerdas fueron eliminadas para esta variable (2 tratadas con control y 4 con PGF_{2α}) del experimento al repetir celo por tercera vez pero fueron utilizadas en el análisis estadístico para tasa de concepción al primer o segundo celo y para ambos celos. El resto del estudio se realizó con las restantes veintisiete. Para determinar el error estándar (s.e.) de las tasas de concepción y parición se utilizó la siguiente fórmula (Ott y Longnecker, 2001):

$$\text{s.e.} = \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}}$$

donde :

\hat{p} = es la probabilidad estimada para concepción y parición

n = es el número de observaciones

Un modelo Lineal General (PROC GLM) sirvió para determinar las diferencias significativas ($P < 0.1$) en el número de cerditos nacidos totales y vivos como efecto de tratamiento, raza y época, con edad de semen como covariable. Se analizaron las interacciones tratamiento por época para el número de cerditos totales y vivos, pero al

no resultar significativas fueron eliminadas del modelo ($P > 0.4$; para cerditos totales y $P > 0.8$; para cerditos vivos). Las variables fueron analizadas utilizando el paquete estadístico SAS (SAS, 1992). El modelo estadístico usado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + R_j + E_k + D_l + e_{ijkl}$$

donde;

Y_{ijkl} = Número total de cerditos nacidos y cerditos nacidos vivos

μ = Media poblacional estimada

T_i = Efecto del tratamiento (control, oxitocina o $PGF_{2\alpha}$)

R_j = Raza de la madre (Landrace y Yorkshire)

E_k = Efecto de la época (época 1: marzo a mayo y octubre y época
2: junio a septiembre)

D_l = Días que tenía el semen luego de colectado (1, 2 ó 3 días;
covariable)

e_{ijkl} = Error experimental

RESULTADOS Y DISCUSION

A. Tasa de Concepción

La oxitocina y la PGF_{2α} añadida a la dosis seminal no tuvo un efecto significativo ($P>0.1$) sobre la tasa de concepción al primer o al segundo celo en cerdas primerizas (Tabla 1). Sin embargo, la tendencia fue hacia una mayor tasa de concepción al primer celo en el grupo tratado con oxitocina. Del total de 11 cerdas utilizadas por tratamiento, las que quedaron preñadas al primer o segundo celo, sumaron 11 para oxitocina, 7 para PGF_{2α} y 9 para el control (Tabla 2). En este estudio las cerdas tratadas con PGF_{2α} mostraron una reducción significativa en la tasa de concepción total (ambos celos; 63.6 ± 14.5 ; $P\leq 0.1$) comparado con el grupo tratado con oxitocina y el grupo control (100 y 81.8 ± 11.6 , respectivamente). Estos resultados contrastan con los obtenidos por otros investigadores los cuales han reportado un aumento significativo en la tasa de concepción para cerdas tratadas con PGF_{2α} (Kos y Bilkei, 2004 y Horvat y Bilkei, 2003). Sin embargo, otros investigadores no han reportado efectos significativos en la administración de PGF_{2α} al semen sobre la tasa de concepción (Wayne, 2000; Kozumplik y Martinek, 1986). Esto puede deberse a las diferentes épocas evaluadas. Wayne (2000) evaluó cerdas paridoras entre los meses de junio a agosto, mientras que Kos y Bilkei (2004) evaluaron las cerdas durante un año completo. Otra posible explicación para estas inconsistencias puede deberse a que Wayne (2000) y Kozumplik y Martinek (1986) no tomaron en cuenta la condición corporal y el número de partos los cuales pueden influenciar marcadamente el desempeño reproductivo de las cerdas (Bilkei, 1995).

Las cerdas Landrace tratadas con PGF_{2α} (Tabla 2) mostraron una reducción significativa en la tasa de concepción (60±22.0; P≤0.1) comparadas con las tratadas con oxitocina o el control (100%). No se encontraron diferencias significativas en la tasa de concepción asociadas a la raza de las cerdas (Landrace o Yorkshire; P>0.1). El tratamiento tampoco afectó la tasa de concepción durante las épocas de inseminación evaluadas (Tabla 3, P>0.1). Estos resultados coinciden con los reportados por Belstra y colaboradores (2002) los cuales no encontraron diferencias significativas en la tasa de concepción (94.6 vs 90.5%, P>0.3) entre las épocas de primavera y verano.

Peña y colaboradores (1998b) reportaron que la aplicación de oxitocina a la dosis seminal aumentaba la fertilidad durante los meses de verano. En nuestro estudio la tasa de concepción fue 100% para las cerdas tratadas con oxitocina durante ambas épocas (Tabla 3).

Tabla 1. Tasa de concepción y de parición para el primer y segundo celo por grupo experimental.

	Grupo Experimental		
	Oxitocina (4 ml)	Prostaglandina F _{2α} (4 ml)	Control
Número de cerdas	11	11	11
Primer celo			
Tasa de concepción (%)	73.7±13.3	45.5±15.0	54.6±15.0
Tasa de parición (%)	100.0	100.0	83.3±11.2
Segundo celo			
Tasa de concepción (%)	27.3±13.4	18.2±11.6	27.3±13.4
Tasa de parición (%)	100.0	100.0	100.0

P>0.05

B. Tasa de Parición

Todas las cerdas del experimento que quedaron preñadas ya fuera al primer o segundo celo parieron, excepto una del grupo control que murió antes del parto (Tabla 1). No se observó ningún efecto significativo de las hormonas oxitocina o $\text{PGF}_{2\alpha}$ sobre la tasa de parición (Tabla 2). Estos resultados contrastan con los obtenidos por Horvat y Bilkei (2003), y Kos y Bilkei (2004) los cuales reportaron un aumento de 20 y 21% en la tasa de parición para cerdas tratadas con $\text{PGF}_{2\alpha}$ comparadas con un grupo control, respectivamente. Peña y colaboradores (1998) reportaron un aumento significativo en la tasa de parición de cerdas tratadas con oxitocina. Este efecto pudo estar asociado al aumento en las contracciones uterinas y en los oviductos causado por esta hormona.

En el presente estudio no se encontraron efectos significativos de la raza de las cerdas ni de la época de inseminación sobre la tasa de parición (Tabla 2). El tratamiento no afectó significativamente la tasa de parición durante las épocas de inseminación evaluadas ($P>0.1$). Sin embargo, Peña y colaboradores (1998b) observaron un aumento de 18% en la tasa de parición en cerdas tratadas con oxitocina en comparación con un grupo control durante el verano. Ellos atribuyeron este efecto a un aumento en la tasa de ovulación o un mejoramiento de la fertilización en el óvulo.

Tabla 2. Efecto del tratamiento hormonal y la raza en la tasa de concepción y parición de cerdas primerizas.

Descripción	Número de cerdas	Número de cerdas preñadas	Número de cerdas que parieron	Tasa de concepción ± SE *	Chi ² Valor P	Tasa de parición ± SE	Chi ² Valor P
Tratamiento					0.04		0.32
Oxitocina	11	11	11	100.0 ^a		100.0	
Prostaglandina F _{2α}	11	7	7	63.6±14.5 ^b		100.00	
Control	11	9	8	81.8±11.6 ^a		88.9±10.5	
Raza					0.25		0.30
Landrace	18	16	15	88.9±7.4		93.8±6.1	
Yorkshire	15	11	11	73.3±11.4		100.0	
Landrace					0.05		0.35
Oxitocina	7	7	7	100.0 ^a		100.0	
Prostaglandina F _{2α}	5	3	3	60.0±21.9 ^b		100.0	
Control	6	6	5	100.0 ^a		83.3±15.2	
Yorkshire					0.22		
Oxitocina	4	4	4	100.0		100.0	
Prostaglandina F _{2α}	6	4	4	66.7±19.2		100.0	
Control	5	3	3	60.0±21.9		100.0	

*Valores en la misma columna con letras diferentes son estadísticamente significativos, P ≤ 0.1

Tabla 3. Efecto de la época de inseminación y el tratamiento hormonal en la tasa de concepción y parición de cerdas primerizas*.

Descripción	Número de cerdas	Número de cerdas preñadas	Número de cerdas que parieron	Tasa de concepción (%)	Chi ² Valor P	Tasa de parición (%)	Chi ² Valor P
Época de inseminación					0.32		0.19
Fresca	16	12	11	75.0±10.8		91.7±8.0	
Caliente	17	15	15	88.2±7.8		100.0	
Oxitocina							
Fresca	6	6	6	100.0		100.0	
Caliente	5	5	5	100.0		100.0	
Prostaglandina F_{2α}					0.13		
Fresca	5	2	2	40.0±21.9		100.0	
Caliente	6	5	5	83.3±15.2		100.0	
Control					0.88		0.18
Fresca	5	4	3	80.0±17.9		75.0±21.6	
Caliente	6	5	5	83.3±15.2		100.0	

*P > 0.1 No se encontraron diferencias significativas.

C. Número de Cerditos Nacidos Totales y Vivos

La adición de oxitocina o $\text{PGF}_{2\alpha}$ a la dosis seminal no tuvo ningún efecto significativo sobre el número de cerditos nacidos totales y vivos (Tabla 4). Sin embargo hubo un mayor número de cerditos totales paridos por las cerdas tratadas con oxitocina y $\text{PGF}_{2\alpha}$ comparado con el grupo control (Tabla 4). Se observó una reducción para el número de cerditos nacidos vivos en las cerdas del grupo control. El número promedio de cerditos nacidos vivos en la presente investigación fue menor al promedio de la piara durante ese mismo año ($\bar{X} = 8.0$). Esto puede ser debido a que durante la presente investigación todas las cerdas fueron inseminadas, mientras que el resto del hato suele ser empadronado por monta natural. Tummaruk y colaboradores (2000) reportaron una reducción en el número de cerditos nacidos totales y vivos por lechigada asociada a la inseminación artificial comparada con monta natural. Sin embargo otros investigadores han reportado un promedio de cerditos vivos mayores de 8 utilizando inseminación artificial (Flowers y Alhusen, 1992).

La raza de las cerdas no tuvo un efecto significativo sobre el número de cerditos nacidos totales. Esto concuerda con los resultados de Tantasuparuk y colaboradores (2005) los cuales no encontraron diferencias significativas para esta misma variable entre estas dos razas, Landrace y Yorkshire. Aún cuando el número de cerditos nacidos vivos no fue significativamente diferente, asociado a la raza de las cerdas se ha encontrado que las cerdas Yorkshire paren un menor número de cerditos vivos por lechigada que las de la raza Landrace (Tantasuparuk y colaboradores, 2000). (Tantasuparuk y colaboradores, 2005).

Tabla 4. Efecto del tratamiento hormonal, raza y época de inseminación sobre el número de cerditos nacidos totales y vivos por lechigada.

Descripción	Número de cerdas que parieron	Cerditos nacidos*	
		Totales (n) ± SE	Vivos (n) ± SE
Tratamiento			
Oxitocina (4 ml)	11	8.0±1.0	7.3±1.0
Prostaglandina F _{2α} (4 ml)	7	10.3±1.3	8.2±1.3
Control	8	7.3±1.2	6.1±1.2
Raza			
Landrace	15	8.7±0.9	7.6±0.9
Yorkshire	11	8.4±1.2	6.8±1.2
Época de inseminación			
Fresca	11	7.9±1.2	5.8±1.2
Caliente	15	9.2±0.9	8.5±0.9

*P > 0.1

Valores son medias ± SE

Esta reducción en el número de cerditos vivos puede estar relacionada a una mayor pérdida prenatal (óvulos, embriones, fetos) asociada a condiciones climatológicas tropicales. Los valores reportados en la presente investigación para esta variable fueron menores a los reportados por otros investigadores (Tantasuparuk y colaboradores, 2000 y 2005; Tummaruk y colaboradores, 2000).

La mayoría de las cerdas que fueron inseminadas durante la época fresca parieron durante la época caliente, resultando en un menor número de cerditos nacidos vivos; mientras que la mayoría de las cerdas que fueron inseminadas durante la época caliente parieron durante la época fresca, resultando en un mayor número de cerditos nacidos vivos. Se ha reportado que las cerdas jóvenes son susceptibles al estrés de calor durante la preñez tardía resultando en un menor número de cerditos nacidos

vivos y un mayor número de cerditos nacidos muertos (Omtvedt y colaboradores, 1971). Esto podría explicar porque en nuestro estudio las cerdas que fueron inseminadas en época fresca tuvieron un menor número de cerditos nacidos vivos (5.8 ± 1.2) comparado con las inseminadas durante la época caliente (8.5 ± 0.9 ; Tabla 4).

Aun cuando la época del año no tuvo un efecto significativo sobre el número de cerditos nacidos totales y vivos, en nuestra investigación la temperatura promedio de bulbo seco fue mayor de 70°F durante todo el periodo experimental (Figura 4). Ha sido establecido por diversos investigadores (Wildt y colaboradores, 1975; Wettemann y Bazer, 1985; Kunavongkrit y Tantasuparuk, 1995; Kunavongkrit y colaboradores, 1995) el efecto detrimental de altas temperaturas sobre la ovulación, la implantación de embriones, y la supervivencia y mortalidad embrionaria. Temperaturas mayores de los 80°F pueden retrasar o impedir el estro, reducir la tasa de concepción, e incrementar la muerte embrionaria temprana en cerdas (Myer y Bucklin, 2001). El estrés de calor durante la implantación embrionaria (primeros 13 días luego del empadronamiento) puede reducir la supervivencia embriónica de un 30% a 40% (Curtis, 1981). El estrés de calor durante las últimas semanas previas al parto puede resultar en un mayor número de cerditos nacidos muertos. En la presente investigación la temperatura máxima promedio registrada durante todo el periodo experimental excedió los 80 °F, indicando que las cerdas estuvieron en estrés de calor durante la mayor parte del tiempo.

D. Descripción del Sistema Reproductivo Femenino

En las tres cerdas utilizadas para evaluar el reflujo de semen se encontró que en los primeros 15 minutos, luego de la inseminación, la cerda tratada con la hormona $\text{PGF}_{2\alpha}$ (38.0 ml), tuvo el mayor reflujo de semen seguido de la tratada con oxitocina (30.0 ml) y por último la cerda control (16.0 ml). Para el segundo periodo de tiempo (30 min) el mayor reflujo de semen se observó en la cerda control (11.5 ml), mientras que la cerda tratada con oxitocina y $\text{PGF}_{2\alpha}$ solo tuvieron 0 y 0.5 ml de reflujo respectivamente. En el tercer periodo de tiempo (45 min) la cerda tratada con $\text{PGF}_{2\alpha}$ también presentó el mayor reflujo de semen (1.5 ml) comparado con la cerda tratada con oxitocina (0) y la control (0.5). Finalmente en el cuarto periodo de tiempo (60 min) solo la cerda tratada con $\text{PGF}_{2\alpha}$ presentó reflujo (11.0 ml, ver Tabla 5). Una posible explicación a los resultados obtenidos en este estudio donde $\text{PGF}_{2\alpha}$ no aumentó la fertilidad puede ser la cantidad de reflujo de semen asociado a esta hormona (Tabla 5). Se necesitaría un estudio de reflujo con más cerdas para ver si este patrón se repite.

Cada una de las medidas reportadas para los oviductos, los cuernos uterinos y el cuerpo del útero de cada cerda sacrificada por tratamiento se presentan en la Tabla 6.

En este estudio se determinó la concentración de espermatozoides en los cuernos y útero de cada cerda aproximadamente a las 4 horas luego de haber sido inseminadas. En la cerda tratada con oxitocina se encontró la mayor concentración de espermatozoides en el cuerno uterino craneal izquierdo (94.0×10^6) seguido por el cuerno uterino caudal izquierdo (86×10^6), la ámpula derecha (84.5×10^6), el cuerno

Tabla 5. Volumen de reflujo de semen de 0-15, 0-30, 0-45 y 0-60 min después de la inseminación con 100 ml de semen.

	Tratamiento		
	Oxitocina (4 ml)	Prostaglandina F _{2α} (4 ml)	Control
Número de cerdas	1	1	1
Reflujo de semen (ml)			
0-15 min	30.0	38.0	16.0
0-30 min	0	0.5	11.5
0-45 min	0	1.5	0.5
0-60 min	0	11.0	0
Total	30.0	51.0	28.0

Tabla 6. Largo de los oviductos, cuernos y cuerpo uterino.

	Tratamiento		
	Oxitocina (4 ml)	Prostaglandina F _{2α} (4 ml)	Control
Número de cerdas	1	1	1
Largo del oviducto (cm)			
Izquierdo	26.0	23.0	21.5
Derecho	27.5	21.0	22.0
Largo del cuerno uterino (cm)			
Izquierdo	116.0	143.0	113.0
Derecho	110.0	136.0	115.5
Largo del cuerpo del útero (cm)	4.0	4.0	4.5

Tabla 7. Número de folículos, cuerpos luteos y cuerpos albicans.

	Tratamiento		
	Oxitocina (4 ml)	Prostaglandina F _{2α} (4 ml)	Control
Número de cerdas	1	1	1
Ovario izquierdo			
Folículos	9	7	1
Cuerpos luteos	0	0	10
Cuerpos albicans	12	8	6
Ovario derecho			
Folículos	8	8	0
Cuerpos luteos	0	0	5
Cuerpos albicans	5	3	10

uterino caudal derecho (73.5×10^6), la ámpula izquierda y finalmente el cuerno uterino craneal derecho (17.0×10^6). En la cerda tratada con PGF_{2α} solamente se encontró presencia de espermatozoides en el cuerno uterino caudal izquierdo (63.6×10^6) y derecho (115.0×10^6). La cerda control presentó la mayor concentración de espermatozoides en la ámpula izquierda (98.0×10^6) y derecha (96.0×10^6) y en el istmo craneal izquierdo (90.0×10^6) y derecho (91.0×10^6) seguido del istmo caudal izquierdo (60.0×10^6 ; ver Tabla 8). Estos resultados podrían explicar el porque la mayoría de las cerdas tratadas con PGF_{2α} tuvieron menor eficiencia reproductiva que la cerdas tratadas con oxitocina y el grupo control.

Tabla 8. Concentración de espermatozoides en el ámpula, el itsmo y los cuernos uterinos.

	Tratamiento		
	Oxitocina (4 ml)	Prostaglandina F _{2α} (4 ml)	Control
Número de cerdas	1	1	1
Concentración de espermatozoides			
Ámpula			
Izquierda	44.5 x 10 ⁶	0	98.0 x 10 ⁶
Derecha	84.5 x 10 ⁶	0	96.0 x 10 ⁶
Istmo cranial			
Izquierdo	0	0	90.0 x 10 ⁶
Derecho	0	0	91.0 x 10 ⁶
Istmo caudal			
Izquierdo	0	0	60.0 x 10 ⁶
Derecho	0	0	0
Unión utero-tubal			
Izquierda	0	0	0
Derecha	0	0	0
Cuerno uterino craneal			
Izquierdo	94.0 x 10 ⁶	0	0
Derecho	17.0 x 10 ⁶	0	0
Cuerno uterino caudal			
Izquierdo	86.0 x 10 ⁶	63.6 x 10 ⁶	0
Derecho	73.5 x 10 ⁶	115.0 x 10 ⁶	0

Se utilizó el Microscopio Electrónico de Rastreo (MER) para observar la morfología de la superficie uterina de tres cerdas que fueron inseminadas con 100 ml semen suplementado con las hormonas oxitocina, PGF_{2α} y sin hormona. Con el MER

se observó la superficie uterina del cuerpo y del cuerno con los diferentes tratamientos. Se observó una gran cantidad de mucosidad en la superficie del endometrio del cuerpo del útero en las cerdas tratadas con oxitocina (Fig. 7a) y $\text{PGF}_{2\alpha}$ (Fig. 6). Sin embargo, en la cerda control no se observó tanta mucosidad (Fig. 5a y 5b). Se pudo identificar las aperturas glandulares del endometrio del cuerpo (Fig. 5b) y del cuerno uterino (Fig 5c) de la cerda control. En las cerdas tratadas con oxitocina (Fig.7a y 7b) y $\text{PGF}_{2\alpha}$ (Fig. 6) las aperturas glándulares no fueron evidentes. Se pudo observar pliegues bien definidos en el útero del cuerno uterino de la cerda tratada con oxitocina (Fig. 7b).

Las cerdas que fueron sacrificadas para realizar este estudio posiblemente estaban en la fase proliferativa del ciclo estral. En esta fase el endometrio se ve edematoso y puede alcanzar un grosor de 5 a 6 mm (Ross y Pawlina, 2006). Las glándulas se alargan y toman la forma de corcho y su lumen se torna saculado y se llenan de productos secretores (Ross y Pawlina, 2006). El fluido mucoso por la glándula epitelial es rico en nutrientes, particularmente glicógeno, requerido para el soporte del desarrollo si ocurre la implantación. El crecimiento que se observa en esta fase se debe a la hipertrofia de las células epiteliales, un incremento en vascularidad y edema del endometrio (Ross y Pawlina, 2006).

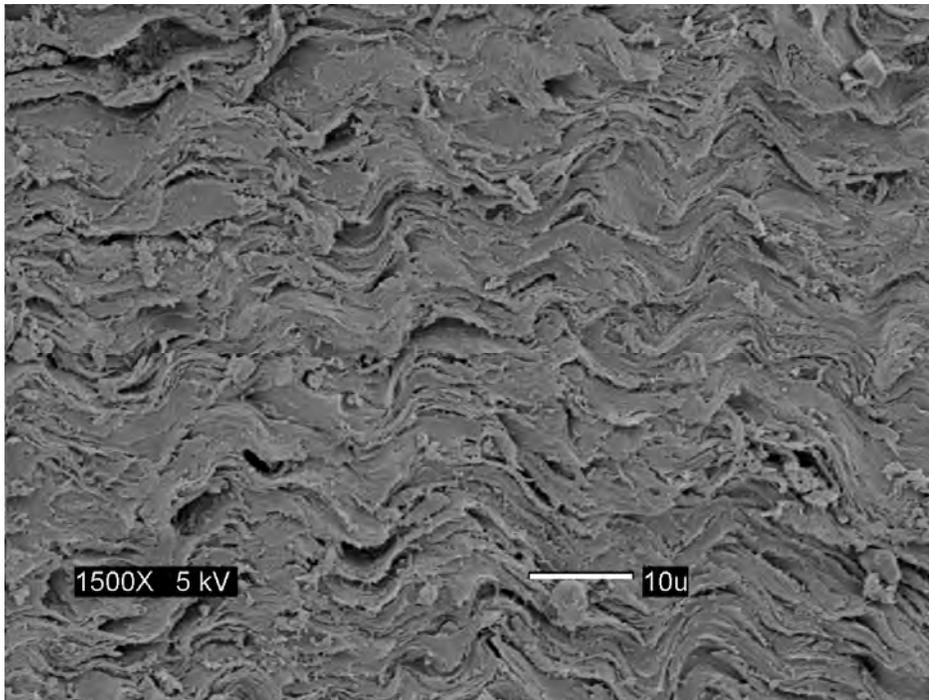


Figura 5a. Superficie del cuerpo uterino en cerda control.
Microscopía Electrónica de Rastreo.

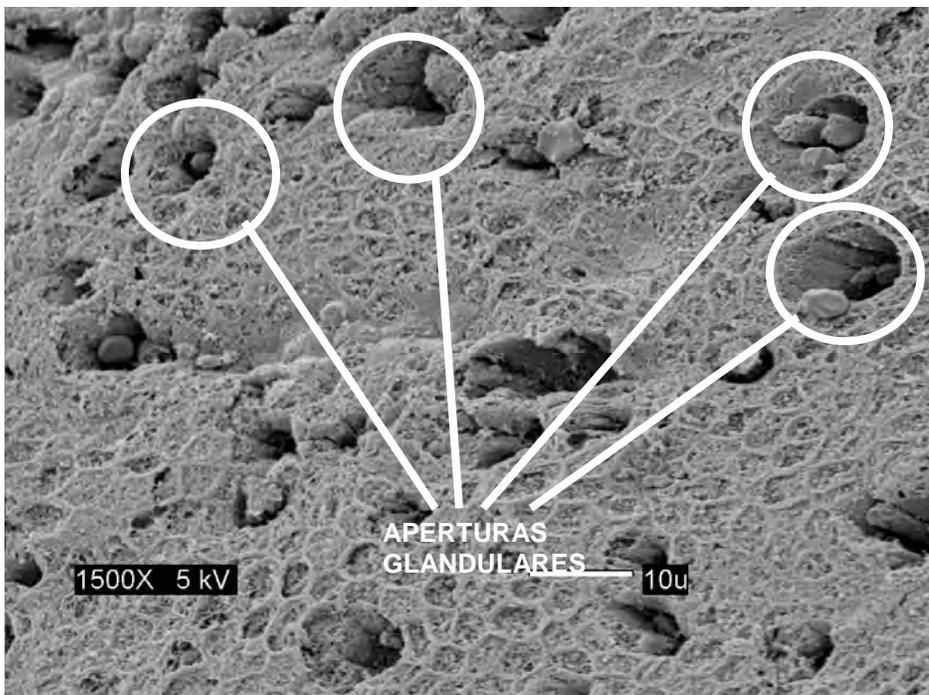


Figura 5b. Superficie del cuerpo uterino en cerda control.
Microscopía Electrónica de Rastreo.

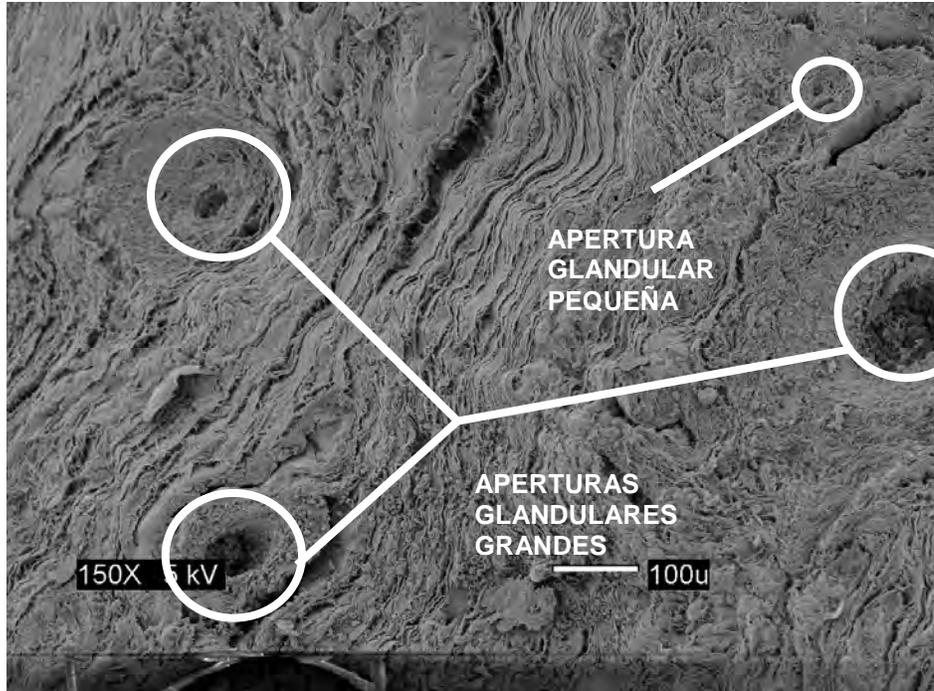


Figura 5c. Superficie del cuerno uterino en cerda control.
Microscopía Electrónica de Rastreo.

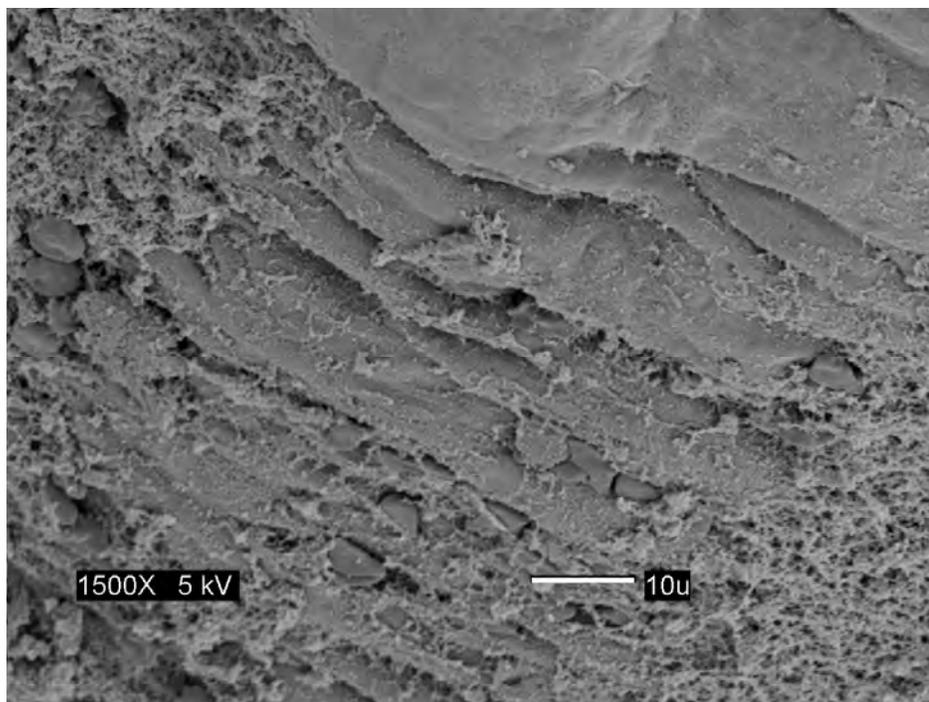


Figura 6. Superficie del cuerpo uterino en cerda tratada con $PGF_{2\alpha}$.
Microscopía Electrónica de Rastreo.

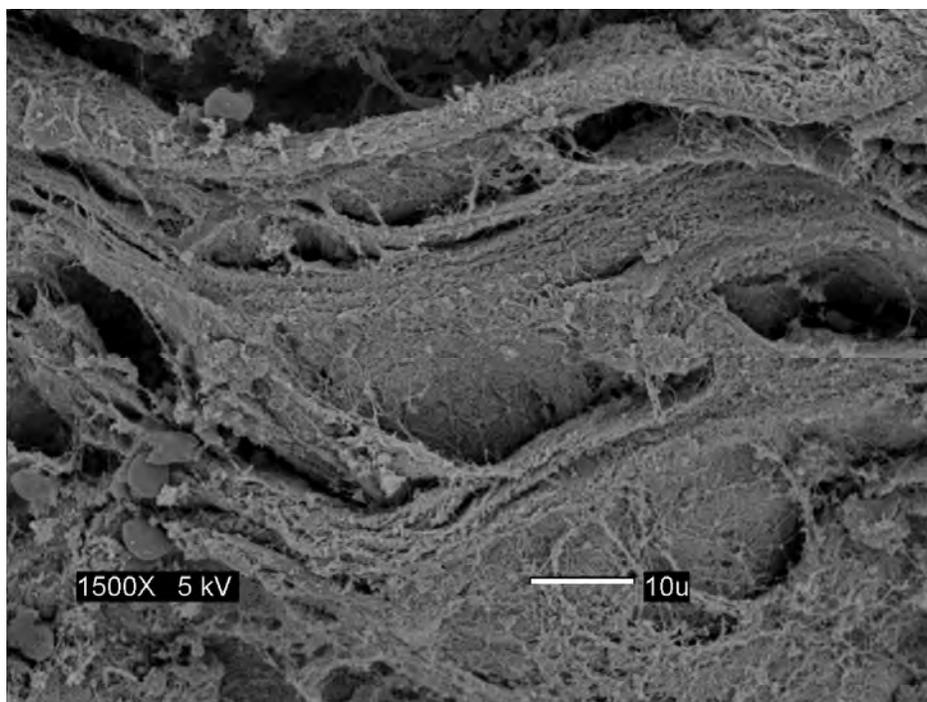


Figura 7a. Superficie del cuerpo uterino en cerda tratada con oxitocina. Microscopía Electrónica de Rastreo.

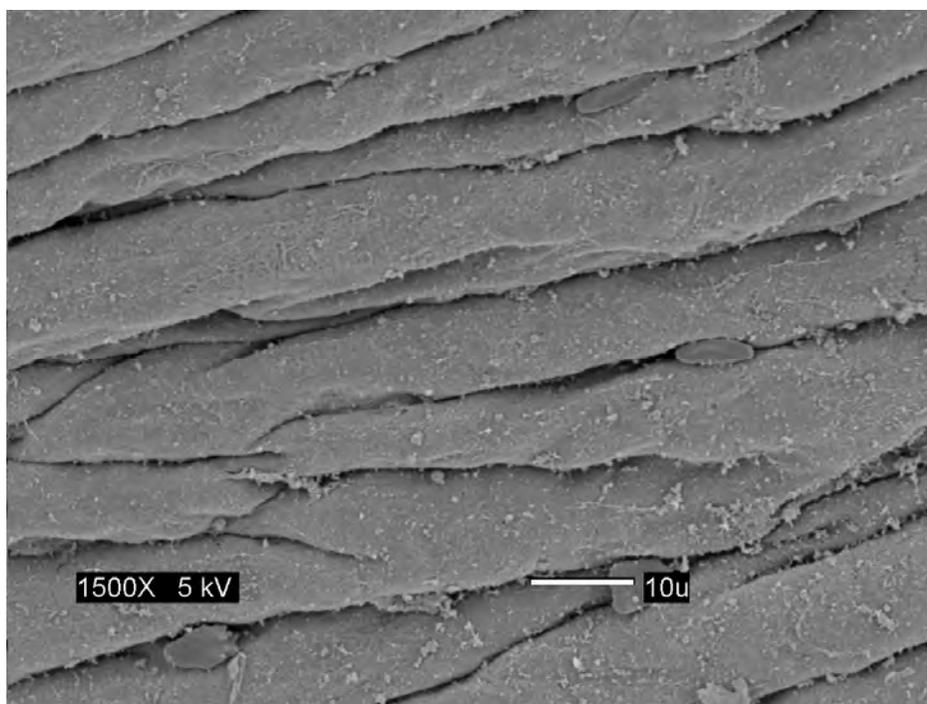


Figura 7b. Superficie del cuerno uterino en cerda tratada con oxitocina. Microscopía Electrónica de Rastreo.

CONCLUSION

La suplementación de la hormona oxitocina a la dosis seminal resultó en una mayor tasa de concepción total en cerdas primerizas (ambos celos) pero no superó significativamente al control. El tratamiento hormonal no logró un aumento en la tasa de parición ni en el número de cerditos nacidos totales y vivos durante las épocas estudiadas. La adición de la hormona $\text{PGF}_{2\alpha}$ al semen no mostró ningún efecto beneficioso en este estudio. Se hace necesario realizar más investigación en esta área antes de dar recomendaciones sobre el uso de estas hormonas para reducir la infertilidad estacional de cerdos en Puerto Rico.

RECOMENDACIONES

1. Repetir este estudio con un mayor número de animales para corroborar los resultados obtenidos en nuestra investigación.
2. Evaluar las hormonas utilizadas en este estudio pero inyectándose a la vulva de la cerda.
3. Evaluar otras alternativas que permitan reducir el impacto de la infertilidad estacional en los hatos porcinos de Puerto Rico.

BIBLIOGRAFIA

- Allen, W. R. 2001. Fetomaternal interactions and influences during equine pregnancy. *Reproduction*. 121:513-527.
- Armstrong, J. D., J. H. Britt y N. M. Cox. 1986. Seasonal differences in function of the hypothalamic-hypophyseal-ovarian axis in weaned primiparous sows. *J. Reprod. Fertil.* 78:11.
- Badinga, L., W. W. Thatcher, C. J. Wilcox, G. Morris, K. Entwistle, y D. Wolfenson. 1994. Effect of season on follicular dynamics and plasma concentrations of estradiol-17 β , progesterone and luteinizing hormone in lactating Holstein cows. *Theriogenology*. 42:1263-1274.
- Barb, C. R., M. J. Estienne , R. R. Kraeling, D. N. Marple , G. B. Rampacek, C. H. Rahe y J. L. Sartin. 1991. Endocrine changes in sows exposed to elevated ambient temperature during lactation. *Domest. Anim. Endocrinol.* 8(1):117-27.
- Bassett, J. M., C. J. Bray y C. E. Sharpe. 2001. Reproductive seasonality in domestic sows kept outdoors without boars. *Reprod.* 121:613-629.
- Bates, R. O., J. Kelpinski, B. Hines, y D. Ricker. 2000. Hormonal therapy for sows weaned during fall and winter. *J. Anim. Sci.* 78:2068-2071.
- Bearden, H. J. y J. W. Fuquay. 2000. *Applied Animal Reproduction*. Prentice Hall. 15^{va} edic. pag. 34-52.
- Belstra, B. A., W. L. Flowers, y M. T. See. 2002. Effect of season on duration of estrus, time of ovulation, and fertility of sows in a commercial herd. NC State Swine Extension. Annual Swine Report.
- Behrendt-Adam, C.Y., M.H. Adams, K.S. Simpson y K.J. McDowell. 1999. Oxytocin-neurophysin I mRNA abundance in equine uterine endometrium. *Domest. Anim. Endocrinol.* 16:183–192.
- Bilkei, G. 1995. Herd health strategy for improving the reproductive performance of pigs. In: *Proceedings of the 8th in between Symposium of the International Society for Animal Hygiene*. Hung. Vet. J.10:766-68.
- Bittman, E. L., F. J. Karsch y I. W. Hopkins. 1983. Role of the pineal gland in ovine photoperiodism: Regulation of seasonal breeding and negative feedback effects upon luteinizing hormone secretion. *Endocrinology* 113:329.
- Blanks, A. M. y S. Thornton. 2003. The role of oxytocin in parturition. *BJOG* 110: 46-51.

- Blood, D. C. y V. P. Studdert. 1999. Saunders comprehensive veterinary dictionary. 2nd edic. pag. 931.
- Boulton M.I., T.J. McGrath, D.A. Brown, K.D. Broad y C.L. Gilbert. 1995. Oxytocin mRNA expression in the porcine uterus. *J. Reprod. Fertil Abstract Series* 15:36-37.
- Boulton, M.I., T.J. McGrath, J.A. Goode, K.D. Broad y C.L. Gilbert. 1996. Changes in content of mRNA encoding oxytocin in the pig uterus during the oestrous cycle, pregnancy, at parturition and in lactational anoestrous. *J. Reprod. Fertil.* 108:219–227.
- Brackel-Bodenhausen, A., W. Wuttke y W. Holtz. 1994. Effects of photoperiod and slow-release preparations of bromocriptine and melatonin on reproductive activity and prolactin secretion in female goats. *J. Anim. Sci.* 72:955-962.
- Brus, R., Z. S. Herman, R. Szkilnik y J. Zabawska. 1979. Mediation of central prostaglandin effects by serotonergic neurons. *Psychopharmacology.* 64: 116-120.
- Calder, A. A. y I. A. Greer. 1990. Prostaglandins and the biological control of cervical function. *Reprod. Fertil. Dev.* 2: 459-465.
- Carnahan, K.G., B.C. Prince, T.E. Ludwig, M. Uzumcu, M.A. Evans y M.A. Mirando. 1999. Effect of oxytocin on concentration of PGF₂ α in the uterine lumen and subsequent endometrial responsiveness to oxytocin in pigs. *J. Reprod. Fertil.* 117:207–212.
- Cavestany, D., A. B. El-Wishy, y R. H. Foote. 1985. Effect of season and high environmental temperature on fertility of Holstein cattle. *J. Dairy Sci.* 68:1471-1478.
- Chappel, S. C. y C. Howles. 1991. Reevaluation of the roles of luteinizing hormone and follicle-stimulating hormone in the ovulatory process. *Hum. Reprod.* 6:1206-1212.
- Cheng, H., G. C. Althouse y W. H. Hsu. 2001. Prostaglandin F₂ α added to extended boar semen at processing elicits in vitro myometrial contractility after 72 hours of storage. *Theriogenology.* 55:1901-1906.
- Chibbar, R., F.D. Miller y B.F. Mitchell. 1993. Synthesis of oxytocin in amnion, chorion, and decidua may influence the timing of human parturition. *J. Clin. Invest.* 91:185–192.
- Chokoe, T. C. 2005. The influence of photoperiod as a contributing factor to summer infertility syndrome in sows. MS Thesis, Tshwane University of Technology.
- Claus, R., D. Schopper y C. Hoang-Vu. 1985. Contribution of individual compartments of the genital tract to oestrogen and testosterone concentrations in ejaculates of the boar. *Acta Endocrinol.* 109:281-288.
- Claus, R. 1990. Physiological role of seminal components in the reproductive tract of the female pig. *J. Reprod. Fertil. (Supp.40):*117-131.

- Claus, R., y U. Weiler. 1985. Influence of light and photoperiod on pig prolificacy. *J. Reprod. Fertil. (Supp1.)* 33:185.
- Currie, W. B. 1995. Structure and function of domestic animals. CRC Press. pag. 135-140.
- Curtis, S. E. 1981. Environmental Management in Animal Agriculture. Iowa State Univ. Press, Ames. p 97-122.
- Dajani, E. Z. 1986. The actions of prostaglandins on the gastrointestinal tract. In: Prostaglandins in the Upper Gastrointestinal Tract. Vol. 5, in Therapeutics Today Series, Addis Press, Australasia Pty., Ltd. pp 9-18.
- Dajani, E. Z., D. R. Driskill, R. G. Bianchi, P. W. Collins y R. Pappo. 1976. SC-29333, a potent inhibitor of canine gastric secretion. *Dig. Dis. Sci.* 21: 1049-1057.
- Dajani, E. Z., T. G. Shahwan y N. E. Dajani. 2003. Prostaglandins and brain-gut axis. *J. Physiol. Pharmacol.* 54, Suppl 4:155-164.
- Drummond, A. E. 2006. The role of steroids in follicular growth. *Reprod. Biol. Endocr.* 4:16.
- Edgerton, L.A., M.A. Kamiński y W.J. Silvia. 1996. Changes in uterine secretion of prostaglandin F_{2α} in response to oxytocin during the estrous cycle, early pregnancy, and estrogen-induced pseudopregnancy in swine. *Biol. Reprod.* 55:657–662.
- Einarson, S., S. Viring y J.O. Lindell. 1975. The effect of prostaglandin F_{2α} and oxytocin on porcine myometrium in vitro. *Zuchthyg.* 10:135:-139.
- Estienne, M. J. y F. Harper. 2004. Semen characteristics and libido in boars treated repeatedly with PGF_{2α}. *J. Anim. Sci.* 82:1494-1498.
- Evans, N. M., F. D. Evans, A. Maher, R. Friendships, y R. R. Hacker. 1994. Influence of light dark cycles on estradiol-17p induced luteinizing hormone patterns of the prepuberal gilt. *J. Anim. Sci.* 72:1995-2000.
- Fitzgerald, J. A. y J. N. Stellflug. 1991. Effects of melatonin on seasonal changes in reproduction of rams. *J. Anim. Sci.* 69:3264-3275.
- Fitzgerald, B. P., y C. J. McManus. 2000. Photoperiodic versus metabolic signals as determinants of seasonal anestrus in the mare. *Biol. Reprod.* 63:335–340.
- Flint, A.P.F. y E.L. Sheldrick. 1983. Secretion of oxytocin by the corpus luteum in sheep. *Prog. Brain Res.* 60:521–530.

Flint, A.P.E., W.M.E. Leat, E.L. Sheldrick y H.J. Stewart. 1986. Stimulation of phosphoinositide hydrolysis by oxytocin and the mechanism by which oxytocin controls prostaglandin synthesis in the ovine endometrium. *Biochem. J.* 237:797-805.

Flowers, W. L., y H. D. Alhusen. 1992. Reproductive performance and estimates of labor requirements associated with combinations of artificial insemination and natural service in swine. *J. Anim. Sci.* 70:615-621.

Flowers, W. L., y K. L. Esbendashade. 1993. Optimizing management of natural and artificial matings in swine. *J. Reprod. Fert. Suppl.* 48:217-228.

Ford, J. J., T. H. Wise, y R. K. Christenson. 2004. Lack of an association between plasma follicle-stimulating hormone concentrations and ovarian weight in prepubertal gilts. *J. Anim. Sci.* 82:472-478.

Franczak, A., I. Woclawek-Potocka, A. Oponowicz, B. Kurowicka y G. Kotwica. 2004. Oxytocin stimulates prostaglandin F_{2α} secretion and prostaglandin F synthase protein expression in porcine myometrial tissue. *Reprod. Biol.* 4:177-184.

Franczak, A., J. Staszkiwicz, M. Kozirowki y G. Kotwica. 2002. The influence of estradiol and progesterone on the concentrations of uterine oxytocin receptors and plasma PGFM in response to oxytocin in ovariectomized gilts. *Reprod. Nutr. Dev.* 42:327–338.

Free, M. J. y R. A. Jaffe. 1979. Collection of rete testis fluid from rats without previous efferent duct ligation *Biol. Reprod.* 20:269-278.

Gabriel, B. L. 1982. *Biological scanning electron microscopy.* Van Nostrand Reinhold Co. 186 p.

Ganjam, V. K. y R. P. Amann. 1976. Steroids in fluids and sperm entering and leaving the bovine epididymis, epididymal tissue, and accessory sex gland secretions *Endocrinology.* 99:1618-1630.

Gentry, L. R., D. L. Thompson, Jr., G. T. Gentry, Jr., K. A. Davis, R. A. Godke, y J. A. Cartmill. 2002. The relationship between body condition, leptin, and reproductive and hormonal characteristics of mares during the seasonal anovulatory period. *J. Anim. Sci.* 80:2695–2703.

Gibson, S., R. J. Tempelman y R. N. Kirkood. 2004. Effect of oxytocin supplemented semen of fertility of sows bred by intrauterine insemination. *J. Swine Health Prod.* 12(4):182-185.

Glend, A., J. Britt, J. Carr, B. Flowers, C. Glossop, M. Morrow y T. See. 1997. *The swine AI book: A field and laboratory technicians' guide to artificial insemination in swine.*

Graham, J. D. y C. L. Clarke. 1997. Physiological action of progesterone in target tissues. *Endocrine Rev.*18:502-519.

Gupta, B. B. P. y K. Lalchandama. 2002. Molecular mechanisms of glucocorticoid action. *Current Science.* 83(9):1103-1111.

Hines, K. K., K. J. Affleck, S. P. Barrows, W. L. Murdoch, B. P. Fitzgerald, y R. G. Loy. 1991. Follicle-stimulating hormone pulse amplitude decreases with the onset of the breeding season in the mare. *Biol. Reprod.* 44:516–521.

Hixon, J.E. y A.P.E. Flint. 1987. Effects of a luteolytic dose of oestradiol benzoate on uterine oxytocin receptor concentrations, phosphoinositide turnover and prostaglandin F-2 α secretion in sheep. *J. Reprod. Fertil.* 79: 457-467.

Horvat, G. Y G. Bilkei. 2003. Exogenous prostaglandin F_{2 α} at time of ovulation improves reproductive efficiency in repeat breeder sows. *Theriogenology.* 59:1479-1484.

Hurtgen, J. P. y A. D. Leman. 1980. Seasonal influence on the fertility of sows and gilts. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*177:631.

Hurtgen, J. P. y A. D. Leman. 1981. The seasonal breeding pattern of sows in seven confinement herds. *Theriogenology.* 16(5): 505-511.

Hurtgen, J. P., A. D. Leman y B. Crabo. 1980. Seasonal influence on estrous activity in sows and gilts. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 175(2):119-123.

Ivell, R., M. Balvers, W. Rust, R. Bathgate y A. Einspanier. 1997. Oxytocin and male reproductive function. *Adv. Exp. Med. Biol.* 424: 253-264.

Kelly, R. W. 1997. Effect of seminal prostaglandins on the metabolism of human spermatozoa. *J. Reprod. Fertil.* 50:219-22.

Kennedy, J. H., N. Korn y R. J. Thurston. 2003. Prostaglandin levels in seminal plasma and sperm extracts of the domestic turkey, and the effects of cyclooxygenase inhibitors on sperm mobility. *Reprod. Biol. Endocr.* 1:74.

Kieborz, K.R., W.J. Silvia y L.A. Edgerton. 1991. Changes in uterine secretion of prostaglandin F_{2 α} and luteal secretion of progesterone in response to oxytocin during the porcine estrous cycle. *Biol. Reprod.* 45: 950-954.

Kiss, A. y J. D. Mikkelsen. 2005. Oxytocin - anatomy and functional assignments: A minireview. *Endocr. Regul.* 39: 97-105.

Kos, M., y G. Bilkei. 2004. Prostaglandin F_{2 α} supplemented semen improves reproductive performance in artificially inseminated sows. *Anim. Reprod. Sci.* 80:113-120.

- Kotwica, G., A. Franczak, S. Okrasa y J. Kotwica. 1999. Effect of an oxytocin antagonist on prostaglandin F_{2α} secretion and the course of luteolysis in sows. *Acta Vet. Hung.* 4 (2): 249–262.
- Kotwica, G., B. Kaminska, A. Franczak, B. Kurowicka, J. Staszkievicz y M. T. Okrasa. 2004. The effect of oxytocin on cortisol and corticosterone secretion in cyclic gilts – *in vivo* and *in vitro* studies. *Reprod. Biol.* 4(1):35-50.
- Kotwica G., L. Dusza, R. Ciereszko, S. Okrasa y D. Schams. 1990. Oxytocin plasma levels during spontaneous and cloprostenol-induced luteolysis in sows. *Anim Reprod Sci.* 22:109-119.
- Kozumplik, K. y B. Martinek. 1986. The effect of in semen application of prostaglandins on the reproductive performance of sows. *Vet. Med.* 31:227-232.
- Kunavongkrit, A., K. Sang-Gasanee, C. Phumratanaprapin, W. Tantasuparuk y S. Einarsson. 2003. A study on the number of recovered spermatozoa in the uterine horns and oviducts of gilts, after fractionated or non-fractionated insemination. *Theriogenology.* 65(1): 63-67.
- Kunavongkrit, A. y W. Tantasuparuk. 1995. Influence of ambient temperature on reproductive efficiency in pigs 2) Clinical findings and ovarian response in gilts. *The Pig Journal.* 35: 48-53.
- Kunavongkrit, A., W. Tantasuparuk y W. Srianan . 1995. Influence of ambient temperature on reproductive efficiency in pigs 3) Plasma levels of cortisol and progesterone in ovarian disordered gilts. *The Pig Journal.* 35: 54-63.
- Lefebvre, D.L., A. Giaid y H.H. Zingg. 1992. Expression of the oxytocin gene in rat placenta. *Endocrinology.* 130:1185–1192.
- Love, R. J., G. Evans y C. Klupiec. 1993. Seasonal effects on fertility in gilts and sows. *J. Reprod. Fertl. Suppl.* 48: 191-206.
- Ludwig, T.E., B.C. Sun, K.G. Carnahan, M. Uzumcu, J.V. Yelich, R.D. Geisert y M.A. Mirando. 1998. Endometrial responsiveness to oxytocin during diestrus and early pregnancy in pigs is not controlled solely by changes in oxytocin receptor population density. *Biol. Reprod.* 58:769–777.
- Lundin-Schiller, S., D.L. Kreider, R.W. Rorie, M.D. Mitchell y T.I. Koike. 1996. Characterization of porcine endometrial, myometrial, and mammary oxytocin binding sites during gestation and labor. *Biol. Reprod.* 55:575–581.
- McCracken, J.A., E.E. Custer y J.C. Lamsa. 1999. Luteolysis: a neuroendocrine-mediated event. *Physiol. Rev.* 79:263–323.

- Malven, P. V. 1993. Mammalian neuroendocrinology. CRC Press. pag. 21-22.
- Maes, D. G., B. Mateusen, T. Rijsselaere, S. De Vliegher, A. Van Soom y A. de Kruif. 2003. Motility characteristics of boar spermatozoa after addition of prostaglandin F2 alpha. *Theriogenology*. 60(8): 1435-43.
- Melampy, R. M. y L. L. Anderson. 1968. Role of the uterus in corpus luteum function. *J. Anim. Sci. Suppl.* 27: 77-96.
- Messias de Braganca, M., A. M. Mounier, y A. Prunier. 1998. Does feed restriction mimic the effects of increased ambient temperature in lactating sows? *J. Anim. Sci.* 76:2017-2024.
- Mirando, M.A., M.P.J.M. Leen, S. Beers, J.P. Harney y F.W. Bazer. 1990. Endometrial inositol phosphate turnover in pigs is reduced during pregnancy and estradiol-induced pregnancy. *J. Anim. Sci.* 68:4285-4291.
- Mirando, M.A., M. Uzumcu, K.G. Carnahan y T.E. Ludwig, 1996. A role for oxytocin during luteolysis and early pregnancy in swine. *Reprod. Dom. Anim.* 31:455-461.
- Mirando, M.A., W.C. Becker y S.S. Whiteaker. 1993. Relationships among endometrial oxytocin receptors, oxytocin-stimulated phosphoinositide hydrolysis and prostaglandin F_{2α} secretion in vitro, and plasma concentrations of ovarian steroids before and during corpus luteum regression in cyclic heifers. *Biol Reprod.* 48:874-882
- Moeljono, M. P., W. W. Thatcher, F. W. Bazer, M. Frank, L. J. Owens y C. J. Wilcox. 1977. A study of prostaglandin F2 alpha as the luteolysin in swine: Characterization and comparison of prostaglandin F, oestrogens and progestin concentrations in utero-ovarian vein plasma of nonpregnant and pregnant gilts. *Prostaglandins* 14: 543- 555.
- Mori, Y., K. Maeda, T. Sawasaki, y Y. Kano. 1984. Effects of long days and short days on estrous cyclicity in two breeds of goats with different seasonality. *Jpn. J. Anim. Reprod.* 30:239.
- Moyle, W. R. y R. K. Campbell. 1995. Gonadotropins. In: De Groot LJ (ed) *Endocrinology*. WB Saunders Company, Philadelphia, pp 230-241
- Myer, R. y R. Bucklin. 2001. Influence of Hot-Humid Environment on Growth Performance and Reproduction of Swine. Florida Cooperative Extension Service.
- Narumiya, S., T. Ogorochi, K. Nakao y O. Hayaishi. 1982. Prostaglandin D2 in the rat brain, spinal cord and the pituitary: basal level and regional distribution. *Life Science.* 31: 2093-2103.
- Nett, T. M., y G. D. Niswender. 1982. Influence of exogenous melatonin on seasonality of reproduction in sheep. *Theriogenology* 17:645.

- Okano, A., K. Okuda, M. Takahashi y D. Schams. 1996. Oxytocin receptors in the porcine endometrium during the estrous cycle and early pregnancy. *Anim. Reprod. Sci.* 41: 61–70.
- Omtvedt, I. T., R. E. Nelson, R. L. Edwards, D. F. Stephens y E. J. Turman. 1971. Influence of heat stress during early, mid, and late pregnancy of gilts. *J. Anim. Sci.* 32: 312-317.
- Ott, R. L. y M. Longnecker. 2001. An introduction to statistical methods and data analysis. 5ta. ed. Pacific Grove (CA): Duxbury.
- Peltoniemi, O. A. T., M. Heinonen, A. Leppavuori y R. J. Love. 1999a. Seasonal effects on reproduction in Finland: a herd record study. *Acta Vet. Scand.* 40(2):133-144.
- Peltoniemi, O. A. T., R. J. Love, C. Klupiec, D. K. Revell y G. Evans. 1997. Altered secretion of LH does not explain seasonal effects on early pregnancy in gilts. *Anim. Reprod. Sci.* 49:215-224.
- Peltoniemi, O. A. T., R. J. Love, M. Heinonen, V. Tuovinen y H. Saloniemi. 1999b. Seasonal and management effects on fertility of the sow: a descriptive study. *Anim. Reprod. Sci.* 55:47-61.
- Peña, F. J., J. C. Domínguez, B. Alegre y J. Peláez. 1998a. Effect of vulvomucosal injection of PGF_{2α} at insemination on subsequent fertility and litter size in pigs under field conditions. *Anim. Reprod. Sci.* 52:63-69.
- Peña, F. J., J. C. Domínguez, J. Peláez, y B. Alegre. 2000. Intrauterine infusion of PGF_{2α} at insemination enhances reproductive performance of sows during low fertility season. *Vet. J.* 159:259-61.
- Peña, F. J., J. C. Domínguez, M. Carbajo, L. Anel, y B. Alegre. 1998b. Treatment of swine summer infertility syndrome by means of oxytocin under field conditions. *Theriogenology.* 49(6)829-836.
- Petroff, B. K., R.E. Ciereszko y J. S. Ottobre. 1997. The effects of tissue preparation, time of incubation, and exposure to ambient light on the impact of PGF_{2-α} on porcine luteal steroidogenesis in vitro. The Ohio State University. *Animal Sciences Research and Reviews. Special Circular* 156.
- Pettersson, A., S. Einarson y H. Kindahl. 1993. Intraluminal variations in the isthmus of the porcine oviduct after intrauterine insemination with saline, oestrogen solution or boar seminal plasma. *Acta. Vet. Scand.* 34:109-116.
- Prince, B. C., M. A. Mirando, W. C. Becker, y C. E. Hostetler. 1995. Exogenous oxytocin decreases interestrus interval of cyclic gilts. *J. Anim. Sci.* 73:3681-3686.

Prunier, A., M. Messias de Braganca, y L. Le Divich. 1997. Influence of high ambient temperature on performance of reproductive sows. *Livest. Prod. Sci.* 52: 123-133.

Renaudeau D., C. Anais y J. Noblet. 2003. Effects of dietary fiber on performance of multiparous lactating sows in a tropical climate. *J. Anim. Sci.* 81: 717-725.

Rodriguez-Martinez., H. y S. Einarsson. 1985. Influence of prostaglandins on the spontaneous motility of pig oviducts. *Anim. Reprod. Sci.* 8:259-279.

Ross, M. H. y W. Pawlina. 2006. *Histology a Text and Atlas with correlated cell and molecular biology.* Lippincott Williams & Wilkins. 15^{va} edic. pags. 792-794.

Saito, R., H. Kamiya y N. Ono. 1985. Role of central muscarinic receptor of prostaglandin I₂ in cardiovascular function in rat. *Brain. Res.* 330: 167-169.

Sample, G.L., Kubotsu, S.L., K.G. Carnahan y M.A. Mirando. 2000. Interestrous interval of cyclic gilts is decreased by systemic but not intra-uterine administration of exogenous oxytocin. *J. Anim. Sci.* 78:2393–2398.

Sanborn, B.M., A. Qain, C.Y. Ku, Y. Wen, K. Anwer, M. Monga y S.P. Singh. 1995. Mechanisms regulating oxytocin receptor coupling to phospholipase C in rat and human myometrium. *Adv. Exp. Med. Biol.* 395: 469-479.

SAS/STAT[®]. 1990. *User's Guide (Release 6.12).* SAS Institute. Cary, N C.

Silvia, W. J., G. S. Lewis, J. A. McCracken, W. W. Thatcher y L. Wilson. 1991. Review: Hormonal regulation of uterine secretion of prostaglandin F_{2α} during luteolysis in ruminants. *Biol. Reprod.* 45:655-663.

Silvia, W.J., J.S. Lee, D.S. Trammell, S.H. Hayes, L.L. Lowberger y J.A. Brockman. 1994. Cellular mechanisms mediating the stimulation of ovine endometrial secretion of prostaglandin F_{2α} in response to oxytocin: role of phospholipase C and diacylglycerol. *J. Endocrinol.* 141:481-490.

Silvia, W.J. y R.E. Raw. 1993. Activity of phospholipase C and release of prostaglandin F_{2α} by endometrial tissue from ewes during the estrous cycle and early pregnancy. *J. Reprod. Fertil.* 97:529-537.

Simon, M.I., M.P. Strathmann y N. Gautam. 1991. Diversity of G proteins in signal transduction. *Science.* 252:802-808.

Simoni, M. y E. Nieschlag, 1995. FSH in therapy: physiological basis, new preparations and clinical use. *Reprod. Med. Rev.* 4:163-177.

- Simoni, M., J. Gromoll, y E. Nieschlag. 1997. The follicle-stimulating hormone receptor: Biochemistry, molecular biology, physiology, and pathophysiology. *Endocr. Rev.* 18(6):739-773.
- Smith, C. A., G. W. Almond y G. D. Dial. 1991. Effects of season and estradiol-17 β on luteinizing hormone release in ovariectomized sows. *J. Anim. Sci.* 69:4907-4913.
- Soloff, M.S. y T.I. Swartz, 1974. Characterization of a proposed oxytocin receptor in the uterus of the rat and sow. *J. Biol. Chem.* 249: 1376–1381.
- Tast, A., O.A.T. Peltoniemi, J. V. Virolainen, y R. J. Love. 2002. Early disruption of pregnancy as a manifestation of seasonal infertility in pigs. *Anim. Reprod. Sci.* 74(3):75-86.
- Tast A., O. Halli , J. V. Virolainen , J. Oravainen , M. Heinonen y O. A. Peltoniemi . 2005. Investigation of a simplified artificial lighting programme to improve the fertility of sows in commercial piggeries. *Vet Rec.* 156 (22):702-705.
- Tantasuparuk, W., N. Lundeheim, A-M. Dalin, A. Kunavongkrit y S. Einarsson. 2000. Reproductive performance of purebred Landrace and Yorkshire sows in Thailand and with special referent to seasonal influence and parity number. *Theriogenology.* 54: 481-496.
- Tantasuparuk, W., M. Techakumphu y S. Dornin. 2005. Relationship between ovulation rate and litter size in purebred Landrace and Yorkshire gilts. *Theriogenology.* 63:1142-1148.
- Traas, A. M. y M. V. Root Kustritz. 2004. Effect of administrating oxytocin or prostaglandin F_{2 α} on characteristics of the canine ejaculate. *Can. Vet J.* 45(12): 999–1002.
- Trout, W. E., G. W. Smith, P. C. Gentry, J. M. Galvin, y D. H. Keisler. 1995. Oxytocin secretion by the endometrium of the pig during maternal recognition of pregnancy. *Biol. Reprod.* 52 (Suppl. 1):189 (abstract 529).
- Tummaruk, P., N. Lundeheim, S. Einarsson y A. M. Dalin. 2000. Reproductive performance of purebred Swedish Landrace and Swedish Yorkshire sows: II. Effect of mating type, weaning to first service interval and lactation length. *Acta Agric. Scand.* 50:217-224.
- Tysseling, K.A., M. Uzumcu, T.A. Hoagland, R.C. Crain y M.A. Mirando. 1996. The role of phosphoinositide-derived second-messengers in oxytocin stimulated prostaglandin F_{2 α} release from endometrium of pigs. *Domest Anim. Endocrinol.* 13:411-420.

- Ulloa-Aguirre, A., Jr. A. R. Midgley, I. Z. Beitins y V. Padmanabhan,. 1995. Follicle-stimulating isohormones: characterization and physiological relevance. *Endocr. Rev.* 16:765-787.
- Uzumcu, M., G.T. Braileanu, K.G. Carnahan, T.E. Ludwig y M.A. Mirando. 1998. Oxytocin-stimulated phosphoinositide hydrolysis and prostaglandin F secretion by luminal epithelial, glandular and stromal cells from pig endometrium. I. Response of cyclic pigs on day 16 postestrus. *Biol. Reprod.* 59:1259–1265.
- Vallet, J.L., R.K. Christenson, W.E. Trout y H.G. Klemcke. Conceptus, progesterone, and breed effects on uterine protein secretion in swine. *J. Anim. Sci.* 1998; 76:2657–2670.
- Virolainen, J. V., R. J. Love, A. Tast y O. A. Peltoniemi. 2004. Effect of a gonadotrophin-releasing hormone antagonist on luteinising hormone secretion and early pregnancy in gilts. *Reprod. Fertil. Dev.* 15(8):451-459.
- Waberski, D. 1997. Effects of semen components on ovulation and fertilisation. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 52:105-109.
- Waites, G. M. y N. Einer-Jensen. 1974. Collection and analysis of rete testis fluid from macaque monkeys *J. Reprod. Fertil.* 41:505-508.
- Wan, S. S., D. P. Hennessy y P. D. Cranwell. 1994. Seasonal infertility, stress and adrenocortical responsiveness in pigs. *Anim. Reprod. Sci.* 34:265-279.
- Wathes, D.C., R.W. Swann. 1982. Is oxytocin an ovarian hormone? *Nature.* 297:25–227.
- Wayne, S.R. 2000. Effects of prostaglandin F_{2α} administered in semen on fertility in repeat breeding females. In: *Proceedings of AASP, Des Moines, USA*, pp. 33-37.
- Wettemann, R. P. y F. W. Bazer. 1985. Influence of enviromental temperature on prolificacy of pigs. *J. Reprod. Fert.* 33 (Suppl): 199-208.
- White, F. J., R. P. Wettemann, M. L. Looper, T. M. Prado, y G. L. Morgan. 2002. Seasonal effects on estrous behavior and time of ovulation in nonlactating beef cows. *J. Anim. Sci.* 80:3053-3059.
- Whiteaker, S.S., M.A. Mirando, W.C. Becker y C.E. Hostetler. 1994. Detection of functional oxytocin receptors on endometrium of pigs. *Biol. Reprod.* 51:92-98.
- Whiteaker, S.S., M.A. Mirando, W.C. Becker y D.N. Peters. 1995. Relationship between oxytocin-stimulated inositol phosphate formation and oxytocin-stimulated prostaglandin F_{2α} secretion in vitro from endometrium of cyclic pigs on day 15 post-estrus. *Domest. Anim. Endocrinol.* 12:93-102.

Wildt, D. E., G. D. Riegler y W. R. Dukelow . 1975. Physiological temperature response and embryonic mortality in stressed swine. *Am. J. Physiol.* 229 (6):1471-1475.

Willenburg, K. L., G. M. Miller, S. L. Rodriguez-Zas y R. V. Knox. 2003. Influence of hormone supplementation to extended semen on artificial insemination, uterine contractions, establishment of a sperm reservoir, and fertility in swine. *J. Anim. Sci.* 81: 821-829.

Wolfe, L. S. 1982. Eicosanoids: Prostaglandins, thromboxanes, leukotrienes, and other derivatives of carbon-20 unsaturated fatty acids. *J. Neurochem.* 38(1): 1-14.

Xue, J. L., G. D. Dial, S. Bartsh, B. Kerkaert, E. J. Squires, W. E. Marsh y J. Ferre. 1994. Influence of a gonadotropin-releasing hormone agonist on circulating concentrations of luteinizing hormone and testosterone and tissue concentrations of compounds associated with boar taint. *J. Anim. Sci.* 72(5):1290-1298.

Zanella, E., D. Lunstra, T. Wise, J. Zinder y J. Ford. 1999. Testicular morphology and function in boars differing in concentrations of plasma follicle-stimulating hormone. *Biol. Reprod.* 60:115-118.

APÉNDICE

Apéndice 1. Temperaturas máximas y mínimas y bulbo seco durante el periodo experimental en Lajas, P.R. (año 2004).

Época	Mes	Temperatura máxima (°F)	Temperatura mínima (°F)	Bulbo seco
Caliente	junio	90.3	70.3	79.2
	julio	91.7	69.2	79.7
	agosto	91.5	70.1	78.2
	septiembre	90.4	71.0	78.2
Fresca	marzo	87.6	62.8	69.4
	abril	86.7	66.9	74.2
	mayo	87.6	69.5	76.2
	octubre	90.4	68.5	75.4