



# Efecto de la aplicación de oxitocina en variables críticas sanguíneas de cerdas distócicas

## Effects of oxytocin on critical blood variables from dystocic sows

Miguel González-Lozano\* Ma. Elena Trujillo Ortega\*\* Marcelino Becerril-Herrera\*\*\* María Alonso-Spilsbury†  
Ramiro Ramírez-Necoechea† Rafael Hernández-González‡ Daniel Mota-Rojas‡

### Abstract

The aim of the study was to monitor the sow maternal response to a low oxytocin dose in an advanced parturition stage in eutocic and maternal-foetal dystocia. Sixty York × Landrace sows, 30 with eutocic farrowing and 30 with maternal-foetal dystocia were assigned into two different groups: 15 received 0.083 IU/kg of oxytocin after the expulsion of the fifth piglet, and 15 received no treatment at all. Blood samples from every sow in trial were taken from the ear vein at three different times: immediately after membrane rupture, after the fifth piglet was born, and at the end of the farrowing. A third generation blood gas analyzer was used. Results show that when parturition was resumed, sows with maternal-foetal dystocia had significantly greater lactate, pCO<sub>2</sub> and ear temperature ( $P < 0.001$ ), compared with the eutocic sow group. Results from physiological variables and neonatal traits monitored in this experiment show evidence that oxytocin should not be used in normal parturition without stillbirths, since oxytocin in this case had adverse effects on sow performance. Oxytocin administered at the beginning of the second half of parturition decreased 50% the number of born alive with asphyxia in eutocic and dystocic sows, and on the other hand, decreased 50% the number of intra-partum stillbirths in the dystocic group. This is the first study describing the critical blood variables in dystocic sows (pH, pCO<sub>2</sub>, pO<sub>2</sub>, glucose, lactate and HCO<sub>3</sub>), using a third generation gasometry device.

**Key words: MATERNAL-FOETAL DYSTOCIA, FARROW, TOCOLYTIC AGENT, UTERINE CONTRACTION, OXYTOCIN, SOW.**

### Resumen

Con el propósito de evaluar las respuestas maternas a dosis baja de oxitocina en estado avanzado del parto en cerdas con eutocia y distocia materno-fetal, se seleccionaron 60 cerdas de la craza Yorkshire × Landrace, 30 eutócicas y 30 con distocia materno-fetal. Las cerdas de cada grupo fueron divididas en subgrupos: 15 recibieron 0.083 UI/kg de oxitocina después de la expulsión del quinto lechón, las otras 15 no fueron tratadas. Se obtuvieron muestras sanguíneas en cada una de las cerdas mediante punción de vena auricular después de la rotura de la fuente, al quinto lechón y al finalizar el parto; las muestras fueron evaluadas con un analizador de gases sanguíneos. Al finalizar el parto, las cerdas que presentaron partos con distocia materno-fetal incrementaron significativamente ( $P < 0.001$ ) los niveles de lactato, pCO<sub>2</sub> y temperatura, respecto de las hembras que presentaron partos eutócicos. Los resultados de las variables fisiológicas y los indicadores neonatales evaluados en este experimento son evidencia de que la oxitocina no debe aplicarse en partos con evolución normal sin nacidos muertos, ya que posee efectos adversos sobre el desempeño de la cerda. La oxitocina en cerdas, administrada al inicio de la segunda mitad del parto, disminuyó en 50% los nacidos con asfixia en cerdas eutócicas y distócicas; asimismo, redujo en 50% el número de muertes intraparto en las hembras distócicas. Los resultados del presente experimento determinan por primera vez la evolución de los parámetros críticos sanguíneos de la cerda con partos distócicos (pH, pCO<sub>2</sub>, pO<sub>2</sub>, glucosa, lactato y HCO<sub>3</sub>) utilizando equipo de gasometría de tercera generación.

**Palabras clave: DISTOCIA MATERNO-FETAL, PARTO, AGENTE TOCOLÍTICO, CONTRACCIÓN UTERINA, OXITOCINA, CERDA.**

Recibido el 13 de marzo de 2008 y aceptado el 5 de enero de 2009.

\*Programa de Posgrado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D. F.

\*\*Departamento de Producción Animal: Cerdos, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D. F.

\*\*\*Escuela de Ingeniería Agrohidráulica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, San Juan Acatenco, Municipio Teziutlán, 73940, Puebla, México.

†Departamento de Producción Agrícola y Animal, Cuerpo Académico Etología, Producción Porcina y Fauna Silvestre, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, 04960, México, D. F.

‡Departamento de Investigación Experimental y Bioterio, Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición "Salvador Zubirán", Vasco de Quiroga 15, Col. Sección XVI, 14000, México, D.F.

Nota: El trabajo es resultado de la tesis de Maestría en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal del primer autor, quien fue becario con número de registro 193000 por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, de México.

## Introduction

**D**ystocic problems in production and animal health seem impossible to eliminate, even with innovative management and control measures with pharmacological products at birth, which in some occasions far from correcting dystocia they complicate it with fetal death, or in more serious cases even with the sows' death. At this point, maternal-fetal dystocia propitiates acute fetal suffering, causes mortality and decrease of the newborn viability.

Approximately three in 100 sows have dystocia of maternal origins and 35 in 100 births there is fetal suffering evidence.<sup>1,2</sup> Nevertheless, it is not clearly defined from the clinical point of view, how to interpret dystocia. That is, it is not necessary to wait until the sow experiments pain due to intrauterine pressure or until half of the litter dies to declare it dystocia. To fight intrapartum mortality in maternal-fetal dystocia problems in Mexican herds and from other parts of the world, pharmacological control with oxytocin at farrowing has erroneously been used.<sup>3,4</sup> This hormone has solved part of the problem by shortening farrowing time, since it increases myometrial contractibility. Nevertheless, uterine contractions reduce blood flow to the uterus and, at the same time, gaseous exchange through the placenta.<sup>5,6</sup> Recent studies show that oxitocics reduce farrowing duration but hardly reduce birth mortality and dystocia problems.<sup>7,8</sup>

In humans, blood obtained from the umbilical cord provides information to estimate the fetus status at birth and the excess base relation, pO<sub>2</sub> concentration changes, O<sub>2</sub> saturation, pCO<sub>2</sub> and pH, due to continuous blood gas exchange in placenta after umbilical cord occlusion,<sup>9</sup> a commonly found pathology in dystocic parturition.

With this background in human medicine, it is fundamental for veterinary medicine to characterize mother's blood gasometry which has showed dystocic problems and the consequences on the biophysical profile of the newborn, with that purpose it is considered that the administration of only one low dose of oxytocin at farrowing, alters in lesser degree the blood indicators in sows with dystocia and prevents the incidence of maternal and perinatal adverse effects. Likewise, recent studies show the best treatment scheme in oxytocin-treated sows,<sup>8,10-12</sup> nevertheless, the biophysical profile of oxytocin-treated sows which exhibited maternal-fetal dystocia is still unknown, therefore the aim of the present study was to determine by blood gasometry, the physio-metabolic profile of the sow in eutocic and dystocic farrowing, with and without oxytocin administration.

## Introducción

**L**os problemas de distocia en producción y salud animal parecen imposibles de eliminar, a pesar de la innovación en las medidas de manejo y control con productos farmacológicos al parto, que, en ocasiones, más allá de corregir el problema de distocia, lo complican con la muerte de los fetos, o en casos más graves también con el deceso de la madre. Al margen de la situación, la distocia materno-fetal propicia sufrimiento fetal agudo, así como mortalidad y disminución del vigor del recién nacido.

Aproximadamente tres de cada 100 cerdas presentan distocia de origen materno y en 35 de cada 100 partos se encuentra evidencia de sufrimiento fetal.<sup>1,2</sup> Sin embargo, no está claramente definido, desde el punto de vista clínico, cómo interpretar la distocia. Es decir, no es necesario que la cerda experimente dolor al incrementar la presión intrauterina o que espere a que la mitad de la camada muera para afirmar que se trata de distocia. Con el propósito de combatir la mortalidad intraparto en problemas de distocia materno-fetal en las piaras de México y de otras partes del mundo, se ha usado erróneamente el control medicamentoso al parto con el uso de oxitócicos.<sup>3,4</sup> Estos últimos han solucionado parte del problema al acortar la duración del parto, pues incrementan la contractibilidad miometrial. Sin embargo, las contracciones uterinas disminuyen el flujo sanguíneo del útero al igual que el intercambio gaseoso a través de la placenta.<sup>5,6</sup> Estudios recientes muestran que los oxitócicos reducen la duración del parto pero difícilmente la mortalidad durante el nacimiento y los problemas de distocia.<sup>7,8</sup>

En el humano, la sangre que se obtiene del cordón umbilical proporciona información para estimar el estado de los fetos al momento del nacimiento, así como la relación con el exceso de base, cambios en las concentraciones de pO<sub>2</sub>, saturación de O<sub>2</sub>, pCO<sub>2</sub> y pH, como consecuencia del intercambio continuo de gases sanguíneos en la placenta después de la oclusión del cordón umbilical;<sup>9</sup> es decir, se trata de una patología común que se observa en partos distócicos.

Con estos antecedentes en medicina humana, resulta de importancia para la medicina veterinaria que se caracterice la gasometría sanguínea de la madre que haya presentado problema de distocia, así como las consecuencias sobre el perfil biofísico del recién nacido, con ese fin se plantea que la aplicación de una sola dosis baja de oxitocina en el momento del parto, altera en menor grado los indicadores sanguíneos de cerdas con distocia, de igual manera previene la incidencia de efectos adversos perinatales y maternos. Asimismo, estudios recientes demuestran el mejor esquema de tratamiento en cerdas tratadas

## Material and methods

### Population

The study was carried out in a commercial farm in the Estado de Mexico, Mexico, according to the ethical specifications for the use of animals in applied ethology studies, described by Sherwin *et al.*<sup>13</sup> The farm obtains 50 parturitions per week with an all in all out system; 60 Yorkshire × Landrace sows, with weights of 201 to 291 kg in their second to fifth gestation were included. These belonged to two groups of 30 sows, the first with eutocic farrowing and the second experimented maternal-fetal dystocia. For the selection of sows with dystocic farrowing it was necessary to give following and asses the farrowing initiation of 387 sows. This last implicated a dystocic farrowing average of 7.75% in an eight week period. Sows were individually penned, according to the Official Mexican norm NOM-062-ZOO-1999, regarding use and care of experimentation animals. The maternity buildings counted with electronic ventilation systems, natural and artificial illumination, average ambient temperature of 26°C, relative air humidity of 60%, illumination 39.8 (Fc-200) and wind speed equal to zero.

### Treatments

Farrowing was induced with prostaglandins F2- $\alpha$ ,\* 24 previous to the probable date of farrowing. Farrowing monitoring started 12 hours later. Sows were attended at farrowing as well as piglets at the moment of birth. Each group of sows (30 eutocic and 30 with maternal-fetal dystocia), was divided in two treatments of 15 sows each: 15 of each group received oxytocin and the other 15 were the control group (without oxytocin). The oxytocin dose consisted in a low dose of 0.083 IU/kg of live weight (equivalent to 1 IU/12 kg LW) after birth of the fifth piglet, intramuscularly applied according to the criteria of previous studies performed by Mota-Rojas *et al.*<sup>14</sup>

### Inclusion criteria: Dystocia classification

Maternal-fetal dystocia was considered, when at least one of the first four expelled piglets was born intrapartum dead caused by acute fetal suffering (AFS). AFS refers to newborns that went through an asphyxia process in uterus and presented the following indicators: certain degree of meconium staining of the skin; severe damage of the umbilical cord (edema, congestion or hemorrhage); metabolic acidosis (blood pH < 7.2) and failure in neonatal viability grading scale (< 6). Also, 30 sows in the dystocic group presented uterine contractions of 30 mm/Hg or more compared to

con oxitocina;<sup>8,10-12</sup> sin embargo, aún no se conoce el perfil biofísico de cerdas tratadas con oxitocina que exhibieron distocia materno-fetal; en este sentido, el objetivo del presente estudio consistió en determinar, por medio de gasometría sanguínea, el perfil fisiometabólico de la cerda en partos eutócicos y distócicos, con y sin aplicación de oxitocina.

## Material y métodos

### Población

El estudio se desarrolló en una granja comercial en el Estado de México, México, de acuerdo con las especificaciones éticas para el uso de animales en estudios etológicos aplicados, descritos por Sherwin *et al.*<sup>13</sup> La granja obtiene 50 partos por semana con un sistema todo adentro todo afuera; se incluyeron 60 cerdas Yorkshire × Landrace, con pesos de 201 a 291 kg en su segunda a quinta gestación. Aquéllas pertenecieron a dos grupos de 30 cerdas, el primero con progreso de parto eutócico y el segundo experimentó distocia materno-fetal. Para la selección de las cerdas con partos distócicos fue necesario dar seguimiento y valorar el inicio del parto de 387 cerdas. Esto último implicó un promedio de partos distócicos de 7.75% en un periodo de ocho semanas. Las cerdas fueron alojadas en jaulas individuales, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, que hace referencia al uso y cuidado de los animales para experimentación. Las naves de maternidad contaban con sistema de ventilación electrónica, iluminación natural y artificial, temperatura ambiente promedio de 26°C, humedad relativa del aire de 60%, iluminación 39.8 (Fc-200) y velocidad del viento igual a 0.

### Tratamientos

Los partos fueron inducidos con prostaglandinas F2- $\alpha$ ,\* 24 horas previas a la fecha probable de parto. El seguimiento de los partos comenzó 12 horas después. Durante el parto se atendió tanto a las cerdas como a los lechones al momento de su nacimiento. Cada grupo de cerdas (30 eutócicas y 30 con distocia materno-fetal) fue dividido en dos tratamientos de 15 cerdas cada uno: 15 de cada grupo recibieron oxitocina y las 15 restantes fueron el grupo testigo (sin oxitocina). La dosis de oxitocina consistió en una dosis baja de 0.083 UI/kg de peso vivo (equivalente a 1 UI/12 kg PV) después del nacimiento del quinto lechón, la cual se aplicó vía intramuscular de acuerdo con el criterio de estudios previos realizados por Mota-Rojas *et al.*<sup>14</sup>

\*Dinoprost trometamina, Lutalyse® Pharmacia Animal Health & Upjohn, Inc., Estados Unidos de América.

< 30 mm/Hg of eutocic sows, afterwards, uterine atony for at least 40 min, and at least one of its first four piglets was dead or presented AFS. Farrowing was assisted when the interval between piglets was greater than 40 min. According to the circulatory changes, umbilical cords were classified as with no apparent pathological changes, edematous, congested and hemorrhagic.<sup>15</sup>

### **Study variables**

The litter size, piglets born alive and number of intrapartum stillbirths was recorded. Dead fetuses were classified as dead before farrowing (type I) or intrapartum (type II), according to the previous *post mortem* examination described by Randall<sup>16</sup> and Mota-Rojas *et al.*<sup>15</sup> Neonatal viability classification in piglets was obtained according to the scale described by Zaleski and Hacker,<sup>17</sup> and modified by Mota-Rojas *et al.*<sup>11</sup> according to the following criterion: heart rate (< 110, between 111 and 160, or > 161 heart beats per minute); interval between birth and first breath (> 1 min, between 16 sec and 1 min, or < 15 sec); color and appearance of skin (pale, cyanotic, or pink); interval between birth and first four legged standing (> 5 min, between 1 and 5, or < 1 min); meconium staining of the skin (severe staining in more than 40% of skin, moderate in less than 40% or absent, without meconium presence). Each variable was classified from zero (worst), one (intermediate) and 2 (best), at the end a global grade ranging from one to ten was obtained for each piglet (< 6 failed, ≥ 6 approved). Heart rate was obtained with the help of a stethoscope. The piglet's first breath was considered when thoracic movements were observed joined by air exhalation. Time to stand up was clocked from the moment the piglet managed to get up until it stood in his four members. Meconium staining of the skin was severe when more than 40% of the piglet's body was stained.

### **Sample taking**

Blood samples were taken with a 22 caliber needle, by auricular vein puncture, previous to product expulsion (after membrane rupture), during expulsion stage (after expulsion of the fifth product), and at farrowing conclusion (when the last piglet or placenta was expelled). Samples were collected in capillary tubes of 150 µL, which contained lithium heparin and were processed during the next minute after sampling to prevent blood gases and serum metabolites from modifying. Glucose values (mg/dL), electrolytes [Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> and Ca<sup>+</sup> (mmol/L)], lactate (mg/dL), carbon dioxide [pCO<sub>2</sub>(mm/Hg)] and oxygen [pO<sub>2</sub>(mm/Hg)] partial pressure, were measured by a third generation blood electrolyte and gas analyzer;\* body tempera-

### **Criterios de inclusión: Clasificación de distocia**

Se consideró distocia materno-fetal cuando al menos uno de los primeros cuatro lechones expulsados nació muerto intraparto como consecuencia de "sufrimiento fetal agudo" (SFA). Este último se refiere a los recién nacidos que cursaron por un proceso de asfixia en útero y presentaron los siguientes indicadores: algún grado de tinción de meconio en piel; daño severo del cordón umbilical (edema, congestión o hemorragia); acidosis metabólica (pH sanguíneo < 7.2) y reprobar la calificación en la escala de vitalidad neonatal (< 6). Además de que las 30 hembras en el grupo de distocia presentaron contracciones uterinas de 30 mm/Hg o más comparado con < 30 mm/Hg de las cerdas eutócicas, posterior a ello atonía uterina durante por lo menos 40 min, y al menos uno de sus primeros cuatro lechones estaba muerto o presentó SFA. El parto fue asistido cuando el intervalo entre lechones fue mayor a 40 min. De acuerdo con los cambios circulatorios, los cordones umbilicales se clasificaron como sin cambios patológicos aparentes, edematosos, congestionados y hemorrágicos.<sup>15</sup>

### **Variables de estudio**

Se registró el tamaño de la camada, lechones nacidos vivos y número de muertos intraparto. Los fetos muertos se clasificaron como "muertos anteparto" (tipo I) o "muertos intraparto" (tipo II), de acuerdo con el examen *post mortem* descrito previamente por Randall<sup>16</sup> y Mota-Rojas *et al.*<sup>15</sup> La calificación de vitalidad neonatal en los lechones se obtuvo de acuerdo con la escala descrita por Zaleski y Hacker,<sup>17</sup> y modificada por Mota-Rojas *et al.*<sup>11</sup> según el siguiente criterio: ritmo cardiaco (< 110, entre 111 y 160, o > 161 latidos por min); intervalo entre el nacimiento y primer respiro (> 1 min, entre 16 seg y 1 min, o < 15 seg); color a apariencia de la piel (pálido, cianótico, o rosado); intervalo entre el nacimiento y primera parada sobre sus cuatro miembros (> 5 min, entre 1 y 5 min, o < 1 min); y piel manchada con meconio (manchado severo en más de 40% de meconio en piel, moderado en menos de 40% o ausente, sin presencia de meconio). Cada variable fue clasificada con cero (el peor), uno (intermedio) y dos (el mejor), al final se obtuvo una calificación global con rango de uno a diez para cada lechón (< 6 reprobatoria, ≥ 6 aprobatoria). El ritmo cardiaco se obtuvo con la ayuda de un estetoscopio. El primer respiro se consideró cuando se observaron movimientos torácicos del lechón acompañados por exhalación de aire. El tiempo para ponerse en pie se cronometró desde que el lechón logró levantarse sobre sus cuatro miembros. La tinción de meconio en

ture was measured with an ear thermometer in the tympanic membrane.\*\*

### **Farrowing electronic follow up**

The myometrial activity follow up is fundamental during fetal expulsion, since the increase in uterine contractions reduces blood flow and gaseous exchange through placenta. During farrowing process the intensity of myometrial contractions was measured in mm/Hg, through an electronic digital cardiograph\*\*\* according to the protocol of Mota-Rojas.<sup>18</sup> Sows on the sixth farrowing or more or females of any parturition with more than 28 mm of dorsal fat were excluded due to the difficulty to identify the auscultator focus.

### **Statistical analysis**

To evaluate the homogeneity of metabolic variables and blood gasometry between different sampling moments during farrowing process (membrane rupture *vs* fifth piglet expulsion *vs* placenta expulsion or last piglet), between the different types of parturition (eutocic without oxytocin *vs* eutocic with oxytocin *vs* maternal-fetal dystocia without oxytocin *vs* maternal-fetal with oxytocin), a random design was elaborated with the following mathematical model:

$$Y_{ij} = \mu + i_i + \xi_{ij}$$

where:

$i$  = Treatment

$j$  = Replication

$Y_{ij}$  = Variable response (pH, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, glucose, lactate...)

$\mu$  = General mean

$i_i$  = Treatment effect (farrowing type)

$\xi_{ij}$  = Random error

The comparison between treatment means (ANOVA) was done with a Tukey test. For comparisons between pH values, data was compared by orthogonal contrasts that indirectly allowed observing homogeneity between different parturition types. Significance level was established in a two tails arrangement for all analysis ( $P < 0.05$ ). The information obtained was analyzed with the statistical program SAS ver 6.12.<sup>19</sup>

## **Results**

### **Neonatal indicators**

In this study, oxytocin administered (0.083 IU/kg equivalent to 1 IU/12 kg) to sows with fetal-maternal dystocia at the beginning of the second half of farrow-

piel fue severa cuando más de 40% de la superficie del cuerpo del lechón estaba manchada.

### **Toma de muestras**

Las muestras sanguíneas se obtuvieron con aguja calibre 22, mediante punción de la vena auricular, previo a la expulsión de los productos (luego de la rotura de la fuente), durante la fase de expulsión (después de la expulsión del quinto producto) y al concluir el parto (al terminar la expulsión del último lechón o de la placenta). Las muestras se recolectaron en tubos capilares de 150  $\mu$ L, que contenían heparina de litio y que se procesaron durante el primer minuto después del muestreo sanguíneo para impedir la modificación de los valores de gases sanguíneos y metabolitos séricos. Los valores de glucosa (mg/dL), electrolitos [Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> y Ca<sup>+</sup> (mmol/L)], lactato (mg/dL), presión parcial de dióxido de carbono [pCO<sub>2</sub>(mm/Hg)] y oxígeno [pO<sub>2</sub>(mm/Hg)], se midieron mediante un analizador de gases y electrolitos en sangre de tercera generación;\* la temperatura corporal se midió por medio de un termómetro ótico en la membrana timpánica.\*\*

### **Seguimiento electrónico al parto**

El seguimiento de la actividad miométrial es fundamental durante la fase de expulsión fetal, debido a que el incremento de las contracciones uterinas disminuye el flujo sanguíneo y el intercambio gaseoso a través de la placenta. Durante el proceso de parto se midió la intensidad de las contracciones miométriales en mm/Hg, a través del cardiotocógrafo (CTG) electrónico digital\*\*\* de acuerdo con el protocolo de Mota-Rojas.<sup>18</sup> Las cerdas de sexto parto en adelante o hembras de cualquier parto con más de 28 mm de grasa dorsal fueron excluidas debido a la dificultad para identificar el foco auscultatorio.

### **Análisis estadístico**

Con el propósito de evaluar la homogeneidad de las variables metabólicas y de gasometría sanguínea entre los distintos momentos de muestreo durante el proceso de parto (ruptura de fuente *vs* expulsión del quinto lechón *vs* expulsión de la placenta o último lechón), entre los diferentes tipos de parto (eutocia sin oxitocina *vs* eutocia con oxitocina *vs* distocia materno-fetal sin oxitocina *vs* distocia materno-fetal con oxitocina), se elaboró un diseño al azar, cuyo

\*GEM Premier 3000, Instrumentation Laboratory Diagnostics, Estados Unidos de América e Italia.

\*\*ThermoScan Braun GMBH, Alemania.

\*\*\*Fetal Monitor Medical Systems Inc., Estados Unidos de América.

ing (after the fifth piglet's birth) decreased almost in 50% the number of intrapartum deaths in sows with dystocia and piglets born with asphyxia, in comparison with untreated sows. This was possible because there were no intrapartum deaths in eutocic sows. Piglets born from eutocic farrowings treated with oxytocin had better viability grades; for instance, 6.0 and 8.72 for hypoxic and normal born, respectively (Table 1); actually, piglets born in the two groups treated with oxytocin had better viability grades than their control counterparts.

### **Membrane rupture**

The comparisons between clinical and laboratory variables, according to the treatment and moment of sampling at farrowing, show that pH values and some metabolic determinations like glucose have marked differences. For example, at membrane rupture pH shows differences of 0.05 units between the different farrowing types, normal *vs* fetal-maternal dystocia. Calcium concentration differences are of 0.15 mmol/L, depending on parturition type, being higher in normal farrowings. At the moment of membrane rupture (first blood sampling), eutocic sows showed glucose levels 9.0 mg/dL below levels recorded in dystocic sows (Table 2).

### **Fifth piglet expulsion**

The effect of the evolution and farrowing stage affected in similar way metabolic indicators and blood gasometry in eutocic sows and with maternal-fetal dystocia after expulsion of the fifth piglet. Nevertheless, differences were observed regarding treatment effect on pH, temperature and glucose values. For instance, pH values were almost 0.10 units lower in eutocic parturitions without oxytocin compared with the other treatments, being numerically higher for maternal-fetal dystocic sows. Although during the second phase of parturition the glycemic state decreases in all sows, statistical differences between treatments were observed. Glucose levels remained 7 mg/dL higher in maternal-fetal dystocic farrowings compared to their respective eutocic; nevertheless, no statistical differences in lactate values were observed (Table 3).

### **Placenta expulsion or last born piglet**

The differences between metabolic variables by treatment effect were evident at the end of farrowing. Seemingly, the effect of oxytocin administration on eutocic farrowing show statistical differences only on calcium and glucose variables; for instance, levels of glucose in eutocic farrowing with oxytocin are 9.12

modelo matemático fue:

$$Y_{ij} = \mu + i_i + \xi_{ij}$$

donde:

$i$  = Tratamiento

$j$  = Repetición

$Y_{ij}$  = Variable respuesta (pH, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, glucosa, lactato...)

$\mu$  = Media general

$i_i$  = Efecto del tratamiento (tipo de parto)

$\xi_{ij}$  = Error aleatorio

La comparación entre medias de tratamientos (Andeva) se realizó con una prueba de Tukey. Para las comparaciones entre los valores de pH, los datos fueron comparados por medio de contrastes ortogonales que indirectamente permitieron observar la homogeneidad entre los diferentes tipos de parto. El nivel de significancia se estableció en un arreglo de dos colas para todos los análisis ( $P < 0.05$ ). La información recabada se analizó con base en el programa estadístico SAS ver 6.12.<sup>19</sup>

## **Resultados**

### **Indicadores neonatales**

En este estudio la oxitocina (0.083 UI/kg equivalente a 1 UI/12 kg) en cerdas con distocia materno-fetal administrada al inicio de la segunda mitad del parto (después del nacimiento del quinto lechón) disminuyó en casi 50% el número del muertes intraparto en cerdas con distocia y lechones nacidos con asfixia, en comparación con las cerdas no tratadas. Lo anterior sucedió porque no hubo muertos intraparto en cerdas eutócicas. Los lechones nacidos en partos eutócicos tratados con oxitocina tuvieron mejores calificaciones de vitalidad; por ejemplo, 6.0 y 8.72 para los hipóxicos y nacidos normales, respectivamente (Cuadro 1); de hecho, los lechones nacidos en los dos grupos tratados con oxitocina tuvieron mejor calificación de vitalidad que sus testigos correspondientes.

### **Ruptura de la fuente**

Las comparaciones entre las variables clínicas y de laboratorio de acuerdo con el tratamiento y momento de muestreo al parto, muestran que los valores de pH y algunas determinaciones metabólicas, como la glucosa, tienen diferencias notables. Por ejemplo, durante la ruptura de la fuente el pH muestra diferencias de 0.05 unidades entre los diferentes tipos de parto, normales *vs* distocia materno-fetal. Las diferencias en el calcio son de 0.15 mmol/L, según el tipo de parto, aunque son más elevadas las concentracio-

Cuadro 1

CARACTERIZACIÓN DE LOS INDICADORES NEONATALES EN CERDAS DE PARTOS EUTÓCICOS Y DISTÓCICOS TRATADOS O NO CON OXITOCINA.  
CHARACTERIZATION OF NEONATAL INDICATORS IN EUTOCIC AND DYSTOCIC FARROWING SOWS TREATED OR NOT WITH OXYTOCIN.

	<i>Eutocic</i>	<i>Eutocic</i> + <i>Oxytocin</i>	<i>Dystocic</i>	<i>Dystocic</i> + <i>Oxytocin</i>	<i>P* value</i>
Sows (n)	15	15	15	15	–
Total piglets born (n)	165	162	203	204	–
Litter size (x)	11.0	10.8	13.53 <sup>bd</sup>	13.60 <sup>ce</sup>	0.010
Intrapartum stillbirths [n (%)]	–	–	41 (20.2) <sup>f</sup>	19 (9.3) <sup>f</sup>	0.002
Piglets born with asphyxia [n (%)]	21 (12.7)	9 (5.6) <sup>a</sup>	31 (15.3) <sup>d</sup>	16 (7.8) <sup>f</sup>	0.009
Hypoxic piglets' viability	5.42	6.00	5.38	5.68	–
Normal born piglets' viability	8.32	8.72	7.74	8.18	–

Latency at first contact with the teat was not recorded for intrapartum stillbirths. \*2-per-k or 2-per-2  $\chi^2$  test for categorical data and analysis of variance for continuous data, followed by a 2-per-2  $\chi^2$  test, only if  $P < 0.005$ , or Tukey's test, respectively. The analysis was significant ( $P < 0.05$ ) between:

<sup>a</sup>Eutocic vs eutocic with oxytocin

<sup>b</sup>Eutocic vs dystocic

<sup>c</sup>Eutocic vs dystocic with oxytocin

<sup>d</sup>Eutocic with oxytocin vs dystocic

<sup>e</sup>Eutocic with oxytocin vs dystocic with oxytocin

<sup>f</sup>Dystocic vs dystocic with oxytocin

mg/dL lower than eutocic farrowing without oxytocin values. In the group of maternal-fetal dystocia sows not treated with oxytocin the opposite is observed, glucose levels are 4.64 mg/dL lower than glucose levels in maternal-fetal dystocia sows with oxytocin. Calcium levels in the group of eutocic sows not treated with oxytocin, are 0.15 mmol/L and 0.12 mmol/L almost different in contrast with its respective control group and maternal-fetal dystocia group treated with oxytocin, respectively. Although in all types of farrowing lactate was high, this is 9 mg/dL almost higher in maternal-fetal dystocia farrowings, aside from oxytocin administration (Table 4).

## Discussion

In this study, oxytocin administered to dystocic sows at the beginning of the second half of farrowing (after the fifth piglet was born), decreased 50% the number of intra-farrowing stillbirths, in contrast to non-treated sows. The protective effect of oxytocin was also evident with a 50% reduction in the number of piglets born alive with asphyxia. The higher viability grades were observed in piglets born from eutocic sows treated with oxytocin at the beginning of the second half of farrowing (Table 4). In fact, piglets born from the two oxytocin-treated groups had better viability grades than their correspondent control groups. These results confirm previous observations of a dose-response to oxytocin in farrowing sows,<sup>14</sup> and another

nes en partos normales. Durante el momento de la ruptura de la fuente (primer muestreo sanguíneo), las cerdas eutólicas presentaron niveles de glucosa 9.0 mg/dL por debajo de los valores registrados en las cerdas que presentaron distocia (Cuadro 2).

## Expulsión del quinto lechón

El efecto de la evolución y etapa de parto afectó de forma similar los indicadores metabólicos y de gasometría sanguínea en cerdas eutólicas y con distocia materno-fetal después de la expulsión del quinto lechón. Sin embargo, se observan diferencias en cuanto al efecto del tratamiento sobre los valores de pH, temperatura y glucosa. Por ejemplo, los valores de pH fueron casi 0.10 unidades menores en partos eutólicas sin oxitocina comparados con los demás tratamientos, pero fueron numéricamente superiores en las cerdas de partos con distocia materno-fetal. Aunque durante la segunda fase de parto disminuye el estado de glucemia en todas las cerdas, se observan diferencias estadísticas entre tratamientos. Los niveles de glucosa permanecieron 7 mg/dL más elevados en partos con distocia materno-fetal comparados con sus respectivos eutólicas; sin embargo, no se observaron diferencias estadísticas en los valores de lactato (Cuadro 3).

**Cuadro 2**  
**EFEECTO DEL TIPO DE PARTO SOBRE VARIABLES CRÍTICAS SANGUÍNEAS EN**  
**CERDAS PARTURIENTAS A LA RUPTURA DE LA FUENTE**  
**EFFECT OF THE TYPE OF PARTURITION ON CRITICAL BLOOD VARIABLES IN**  
**FARROWING SOWS AT MEMBRANE RUPTURE.**

	<i>Eutocic</i> (n = 15)	<i>Eutocic</i> + <i>Oxytocin</i> (n = 15)	<i>Dystocic</i> (n = 15)	<i>Dystocic</i> + <i>Oxytocin</i> (n = 15)	<i>P value to</i> <i>ANOVA</i> <i>statistical</i> <i>method</i>
	<i>Mean ± MEE</i>	<i>Mean ± MEE</i>	<i>Mean ± MEE</i>	<i>Mean ± MEE</i>	
pH	7.40 ± 0.01	7.40 ± 0.01	7.45 ± 0.02	7.45 ± 0.01 <sup>ce</sup>	0.0218
pCO <sub>2</sub> (mm/Hg)	47.46 ± 2.10 <sup>a</sup>	47.35 ± 2.07 <sup>a</sup>	47.26 ± 2.25 <sup>a</sup>	49.92 ± 2.12 <sup>a</sup>	0.7890
pO <sub>2</sub> (mm/Hg)	27.4 ± 1.19 <sup>a</sup>	27.14 ± 1.08 <sup>a</sup>	27.2 ± 1.01 <sup>a</sup>	26.07 ± 0.65 <sup>a</sup>	0.7969
Na <sup>+</sup> (mmol/L)	135.6 ± 0.99 <sup>a</sup>	134.07 ± 0.84 <sup>a</sup>	130.8 ± 0.41 <sup>b</sup>	130.14 ± 0.49 <sup>b</sup>	0.0001
K <sup>+</sup> (mmol/L)	6.4 ± 0.15 <sup>a</sup>	6.27 ± 0.11 <sup>a</sup>	6.11 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.05 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.0823
Ca <sup>++</sup> (mmol/L)	1.45 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.44 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.28 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.27 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.0001
Glucose (mg/dL)	73.06 ± 2.08 <sup>b</sup>	74.14 ± 1.63 <sup>b</sup>	80.93 ± 0.73 <sup>a</sup>	82.64 ± 0.99 <sup>a</sup>	0.0001
Lactate (mg/dL)	34.33 ± 0.85 <sup>a</sup>	34.21 ± 0.95 <sup>a</sup>	35 ± 0.36 <sup>a</sup>	32.71 ± 0.42 <sup>a</sup>	0.1401
Hematocrit (%)	34.66 ± 0.54 <sup>b</sup>	33.64 ± 0.49 <sup>ab</sup>	34.8 ± 0.35 <sup>a</sup>	36.07 ± 0.41 <sup>ab</sup>	0.0063
Temperature (°C)	38.91 ± 0.09 <sup>a</sup>	39.12 ± 0.10 <sup>ab</sup>	38.96 ± 0.09 <sup>b</sup>	38.72 ± 0.09 <sup>ab</sup>	0.0519
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol/L)	22.68 ± 0.68 <sup>a</sup>	23.05 ± 0.49 <sup>a</sup>	22.33 ± 0.36 <sup>a</sup>	23.22 ± 0.38 <sup>a</sup>	0.6046

Means in a row with different letters are different ( $P < 0.05$ ), to ANOVA, followed by Tukey's test. pH values were analyzed by orthogonal contrasts and were significant ( $P < 0.05$ ) between:

<sup>a</sup>Eutocic vs eutocic con oxytocin

<sup>b</sup>Eutocic vs dystocic

<sup>c</sup>Eutocic vs dystocic con oxytocin

<sup>d</sup>Eutocic with oxytocin vs dystocic

<sup>e</sup>Eutocic with oxytocin vs dystocic with oxytocin

<sup>f</sup>Dystocic vs dystocic with oxytocin

study of oxytocin administration at different farrowing periods.<sup>12</sup> Previous studies and this work prove that low doses of oxytocin (0.083 IU/kg decrease mortality rate of born piglets and better neonatal results are obtained when administered after the first half of born piglets. Findings of this study coincide with the one of Loghis *et al.*,<sup>20</sup> who mention that the use of oxytocin in parturient women with adequate protocols does not have adverse effects on neonatal condition.

The effect on evolution and stage of parturition similarly affected metabolic and blood gasometry indicators in eutocic and dystocic sows after the fifth piglet expulsion. The pH values were almost 0.10 unities lower in eutocic farrowings without oxytocin compared with the rest of the treatments at half of the parturition, then dystocic farrowing sows showed fewer tendencies to acidosis. Nevertheless, the differences

### **Expulsión de la placenta o nacimiento del último lechón**

Al finalizar el parto, las diferencias entre las variables metabólicas por efecto del tratamiento fueron más evidentes. Al parecer, el efecto de la aplicación de oxitocina en partos eutócicos muestra diferencias estadísticas sólo sobre las variables de calcio y glucosa; por ejemplo, los niveles de glucosa en partos eutócicos con oxitocina se encuentran 9.12 mg/dL por debajo de los valores de partos eutócicos sin oxitocina. En el grupo de cerdas con distocia materno-fetal sin oxitocina se observa lo contrario, los niveles de glucosa son 4.64 mg/dL menores comparados con los niveles de glucosa en cerdas con distocia materno-fetal tratadas con oxitocina. Los niveles de calcio en el grupo de cerdas eutócicas sin oxitocina, son diferentes casi 0.15



between metabolic variables by treatment were more evident (Table 4). For instance, dystocic sows treated with oxytocin, pH stayed almost 0.4 unites above the dystocic farrowing levels without oxytocin. Similarly, pO<sub>2</sub> values were almost two units more favorable and hypercapnia was 7 mm/Hg lower, causing less severe adverse metabolic effects.

Less than 7.0 (> 100 mmol/L of H<sup>+</sup>) or higher than pH 7.7 (> 100 mmol/L of H<sup>+</sup>) can cause death, that is why blood pH is strictly regulated.<sup>21</sup> According to DeRouchey *et al.*,<sup>21</sup> blood gasometry basal values in pregnant sows are: pH, 7.33; pCO<sub>2</sub>, 46.3 mm/Hg; pO<sub>2</sub>, 43.6 mm/Hg; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 19.0 mmol/L; Na, 145.0 mmol/L and K, 5.0 mmol/L. According to Fowden *et al.*,<sup>22</sup> blood gasometry values in sows and fetus during the last pregnancy stage, corresponded to pH 7.45 ± 0.01, pO<sub>2</sub> 53.0 ± 2.5 mm/Hg and pCO<sub>2</sub> 44.2 ± 1.3 mm/Hg for maternal vein; pH 7.45 ± 0.01, pO<sub>2</sub> 47.6 ± 1.0 mm/Hg and pCO<sub>2</sub> 44.3 ± 2.3 mm/Hg for umbilical vein, and in fetal arterial pH 7.43 ± 0.01, pO<sub>2</sub> 24.9 ± 0.6 and pCO<sub>2</sub> 51.7 ± 0.6, important differences in regard to the fetus. Comline and Silver<sup>23</sup> report that the conditions in relation to gas in this species are stable during the last stage of gestation; nevertheless, changes in blood gasometry during parturition process are evident in the present study.

Decrease of pH can cause pCO<sub>2</sub> increase<sup>24</sup> or oxygen-hemoglobin saturation increment, which reduces the availability of oxyhemoglobin as a hydrogen receptor ion, increasing the proportion of carbon dioxide transported as H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> instead of HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, considered as an important factor that contributes for piglet's asphyxia at parturition time. Decrease in O<sub>2</sub> affinity occurs at the immediate postnatal period, caused by increase in red cell 2,3-diphosphoglycerate concentration.

Randall<sup>25</sup> mentions that insufficient quantities of O<sub>2</sub> in piglet's blood at parturition, cause viability decrease. Nevertheless, O<sub>2</sub> blood affinity of the newborn piglet is higher than in the sow.<sup>23</sup> Although maternal hyperoxemia with administration of 100% oxygen has limited effects on fetal oxygenation.<sup>26</sup> Zaleski and Hacker<sup>17</sup> observed that the administration of oxygen in sows increased pO<sub>2</sub> (P = 0.0002), pCO<sub>2</sub> (P = 0.02), and pH (P = 0.02) decreased 21% in venous blood; therefore, pO<sub>2</sub> should have increased in the sow's arterial blood, including the one that supplies the placenta. Nevertheless, oxygen did not have effects on fetal pig venous blood gas values; therefore, oxygen inhalation was not effective in stillbirth reduction rate or viability improvement (viability grading scale or venous blood gases).<sup>17</sup>

Here, important changes were observed in the parturient sow, such as hypercapnia and changes on glucose basal values that can have consequences

mmol/L y 0.12 mmol/L en comparación con su respectivo grupo testigo y el grupo con distocia materno-fetal tratado con oxitocina, respectivamente. Aunque en todos los tipos de parto el lactato estuvo elevado, éste es casi 9 mg/dL mayor en los partos con distocia materno-fetal, al margen de la aplicación de oxitocina (Cuadro 4).

## Discusión

En este estudio la oxitocina administrada a cerdas distócicas al inicio de la segunda mitad del parto (después del nacimiento de quinto lechón) disminuyó en 50% el número de muertos intraparto, en comparación con las cerdas no tratadas. El efecto protector de la oxitocina también fue evidente con reducción de 50% en el número de lechones nacidos con asfixia. Las calificaciones más altas de vitalidad se observaron en lechones nacidos de cerdas eutócicas tratadas con oxitocina al principio de la segunda mitad del parto (Cuadro 4). De hecho, los lechones nacidos en los dos grupos tratados con oxitocina tuvieron mejores calificaciones de vitalidad que sus correspondientes grupos testigo. Estos resultados confirman observaciones previas de un estudio dosis-respuesta a la oxitocina en cerdas parturientas,<sup>14</sup> y otro estudio de administración de oxitocina a diferentes periodos del parto.<sup>12</sup> Estudios como los anteriores y este trabajo comprueban que la oxitocina en dosis bajas (0.083 UI/kg) disminuye la tasa de mortalidad de lechones al momento del nacimiento y obtiene mejores resultados neonatales cuando se administra después de la primera mitad de lechones nacidos. Los hallazgos de este estudio coinciden con el trabajo de Loghis *et al.*,<sup>20</sup> quienes señalan que el uso de oxitocina en mujeres durante el parto con protocolos adecuados no tiene efectos adversos sobre la condición neonatal.

El efecto de la evolución y etapa de parto, afectó en forma similar los indicadores metabólicos y de gasometría sanguínea en cerdas eutócicas y distócicas después de la expulsión del quinto lechón. Los valores de pH fueron casi 0.10 unidades menores en partos eutócicos sin oxitocina comparados con los demás tratamientos a la mitad del parto, para entonces las cerdas de partos distócicos presentaron menor tendencia a la acidosis. Sin embargo, al finalizar el parto las diferencias entre las variables metabólicas por efecto del tratamiento fueron más evidentes (Cuadro 4). Por ejemplo, en cerdas distócicas tratadas con oxitocina el pH permaneció casi 0.4 unidades por encima del valor de partos distócicos sin oxitocina. De forma similar, los valores de pO<sub>2</sub> fueron casi dos unidades más favorables y la hipercapnia fue 7 mm/Hg menor, causando que los efectos metabólicos adversos fueran menos severos.

**Cuadro 3**

EFFECTO DEL TIPO DE PARTO SOBRE VARIABLES CRÍTICAS SANGUÍNEAS EN CERDAS PARTURIENTAS DESPUÉS DE LA EXPULSIÓN DEL QUINTO LECHÓN  
EFFECT OF PARTURITION TYPE ON CRITICAL BLOOD VARIABLES IN FARROWING SOWS AFTER THE FIFTH PIGLET EXPULSION

	<i>Eutocic</i> ( <i>n</i> = 15)	<i>Eutocic</i> + <i>Oxytocin</i> ( <i>n</i> = 15)	<i>Dystocic</i> ( <i>n</i> = 15)	<i>Dystocic</i> + <i>Oxytocin</i> ( <i>n</i> = 15)	<i>P value to</i> <i>ANOVA</i> <i>statistical</i> <i>method</i>
	<i>Mean ± MEE</i>	<i>Mean ± MEE</i>	<i>Mean ± MEE</i>	<i>Mean ± MEE</i>	
pH	7.27 ± 0.01	7.35 ± 0.01 <sup>a</sup>	7.38 ± 0.01 <sup>b</sup>	7.38 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.0001
pCO <sub>2</sub> (mm/Hg)	61.21 ± 3.53 <sup>a</sup>	57.6 ± 2.21 <sup>a</sup>	58.07 ± 1.07 <sup>a</sup>	58.28 ± 0.86 <sup>a</sup>	0.6539
pO <sub>2</sub> (mm/Hg)	24.42 ± 1.40 <sup>a</sup>	27.26 ± 0.92 <sup>a</sup>	27.23 ± 0.92 <sup>a</sup>	27.07 ± 0.75 <sup>a</sup>	0.1575
Na <sup>+</sup> (mmol/L)	133.42 ± 0.73 <sup>a</sup>	133.46 ± 0.63 <sup>a</sup>	132.84 ± 0.86 <sup>a</sup>	130.92 ± 0.47 <sup>a</sup>	0.0345
K <sup>+</sup> (mmol/L)	6.57 ± 0.10 <sup>ab</sup>	6.46 ± 0.08 <sup>a</sup>	6.30 ± 0.06 <sup>b</sup>	6.23 ± 0.06 <sup>ab</sup>	0.0208
Ca <sup>++</sup> (mmol/L)	1.55 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.58 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.54 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.44 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.0001
Glucose (mg/dL)	64.78 ± 1.25 <sup>bc</sup>	67.33 ± 0.97 <sup>c</sup>	71.61 ± 1.57 <sup>a</sup>	74.42 ± 1.35 <sup>ab</sup>	0.0001
Lactate (mg/dL)	39.28 ± 1.50 <sup>a</sup>	39.53 ± 0.71 <sup>a</sup>	42.15 ± 0.63 <sup>a</sup>	41 ± 0.71 <sup>a</sup>	0.1426
Hematocrit (%)	40.78 ± 0.62 <sup>c</sup>	35.6 ± 0.36 <sup>a</sup>	36.92 ± 0.30 <sup>b</sup>	37.78 ± 0.43 <sup>bc</sup>	0.0001
Temperature (°C)	38.88 ± 0.08 <sup>ab</sup>	39.14 ± 0.08 <sup>b</sup>	39.35 ± 0.08 <sup>ab</sup>	39.09 ± 0.10 <sup>a</sup>	0.0102
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol/L)	21.30 ± 0.67 <sup>a</sup>	21.48 ± 0.37 <sup>a</sup>	20.94 ± 0.32 <sup>a</sup>	20.3 ± 0.15 <sup>a</sup>	0.2178

Means in a row with different letters are different ( $P < 0.05$ ), to ANOVA, followed by Tukey's test. pH values were analyzed by orthogonal contrasts and were significant ( $P < 0.05$ ) between:

<sup>a</sup>Eutocic vs eutocic with oxytocin

<sup>b</sup>Eutocic vs dystocic

<sup>c</sup>Eutocic vs dystocic with oxytocin

<sup>d</sup>Eutocic with oxytocin vs dystocic

<sup>e</sup>Eutocic with oxytocin vs dystocic with oxytocin

<sup>f</sup>Dystocic vs dystocic with oxytocin

on newborns. Studies of Hanka *et al.*<sup>26</sup> on sows with oxygen ventilation and slight hypercapnia induction (oxygen plus 5% CO<sub>2</sub> at 80-90 days of gestation), oxygen partial pressure (pO<sub>2</sub>) in maternal vein and carbon dioxide (pCO<sub>2</sub>), slightly increase but without pH significant changes (7.37 ± 0.01). Besides, air ventilation plus 5% of carbon dioxide modified pO<sub>2</sub> (82.8 ± 3.6 mm/Hg), pCO<sub>2</sub> (78.5 ± 5.3 mm/Hg) and pH (7.24 ± 0.03) values. These changes were accompanied by systemic blood pressure and uterine blood flow

El pH de la sangre menor de 7.0 (> 100 mmol/L de H+) o mayor a 7.7 (> 100 mmol/L de H+) pueden causar muerte, como consecuencia de ello el pH de la sangre es regulado estrechamente.<sup>21</sup> Según DeRouchey *et al.*,<sup>21</sup> los valores basales de gasometría sanguínea en cerdas gestantes son: pH, 7.33; pCO<sub>2</sub>, 46.3 mm/Hg; pO<sub>2</sub>, 43.6 mm/Hg; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 19.0 mmol/L; Na, 145.0 mmol/L; y K, 5.0 mmol/L. De acuerdo con Fowden *et al.*,<sup>22</sup> los valores de gasometría sanguínea en la cerda y en el feto durante la última fase de gestación, corres-

increase, combined with uterine vascular resistance decrease, with possible adverse effects on fetuses and birth complications.

Uterine and abdominal contractions help fetal expulsion.<sup>27</sup> It seems that there is temporal decrease in abdominal tension in oxygen-treated sows after treatment, coinciding with increase in the first birth interval duration.<sup>17</sup> It is possible that evolution in pCO<sub>2</sub> increase and pH decrease observed in venous blood of parturient sows, is important in farrowing progress renewal before it ends, besides the respiration increase because of the carbon dioxide increase effect on the central nervous system.

Chiang and Rodway<sup>28</sup> mention that pig fetal death main cause is hypoxia due to asphyxia, increase in farrowing duration and expulsion intervals between piglets. Also, they mention that the most cranial pig (next to the ovaric pole) in each uterine horn, gets born last and has low survival possibilities. Likewise, Mota-Rojas *et al.*<sup>11</sup> observed that uterine contractions caused by the administration of oxytocin at the beginning of parturition in farrowing sows are higher in frequency and intensity and are associated with fetal cardiac deceleration (dips II), that indicate acute fetal stress, with asphyxia and meconium staining on skin, compromising neonatal viability.

Glucose values during the second phase of parturition remained 7 mg/dL in dystocic farrowings compared to their respective eutocics. After placenta expulsion, eutocic delivery treated with oxytocin showed significant differences in regard to the rest of the groups, although the dystocic group not treated with oxytocin showed lower numeric differences in relation to the rest of the groups. Nevertheless, there were no statistical differences in lactate values after the first half of parturition. Although in all types of deliveries, lactate kept high and was almost 9 mg/dL higher in dystocic farrowings, regardless of oxytocin administration. Lichtblau *et al.*<sup>29</sup> observed metabolic acidosis during normal but difficult births, and severe changes in regard to lactate concentration and acid-base equilibrium in parturient sows, specially in dystocic sow groups. Maybe, lactate increase origin in fetal swine umbilical circulation is the uteroplacental tissue. It is known that in other domestic species, these tissues produce lactate and they release it in the umbilical and uterine circulation; it has been observed that a lactate positive venous-arterial concentration crosses the uterine circulation of gestating sows chronically catheterized.<sup>30</sup>

Several factors must be involved in oxygen transference through the placenta during maternal hypercapnia. Hanka *et al.*<sup>26</sup> previously mentioned that during hypercapnia there is increase in uterine blood flow. Increase in systemic blood pressure during hyper-

ponden a pH  $7.45 \pm 0.01$ ; pO<sub>2</sub>,  $53.0 \pm 2.5$  mm/Hg; y pCO<sub>2</sub>,  $44.2 \pm 1.3$  mm/Hg para la vena materna; pH  $7.45 \pm 0.01$ ; pO<sub>2</sub>,  $47.6 \pm 1.0$  mm/Hg; y pCO<sub>2</sub>,  $44.3 \pm 2.3$  mm/Hg para la vena umbilical; y en arteria fetal, pH  $7.43 \pm 0.01$ ,  $24.9 \pm 0.6$  en pO<sub>2</sub>; y pCO<sub>2</sub> de  $51.7 \pm 0.6$ , diferencias importantes con respecto al feto. Comline y Silver<sup>23</sup> señalan que las condiciones en cuanto a gases en esta especie son estables durante la última etapa de la gestación; sin embargo, los cambios en la gasometría sanguínea durante el proceso de parto son evidentes en el presente estudio.

La disminución del pH puede provocar incremento en pCO<sub>2</sub><sup>24</sup> o aumento en la saturación de oxígeno-hemoglobina, que reduce la disponibilidad de oxihemoglobina como un ion receptor hidrógeno, además de que incrementa la proporción de dióxido de carbono transportado como H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> en vez de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, siendo un factor importante que contribuye a la asfixia del lechón durante el parto. La disminución en la afinidad de O<sub>2</sub> ocurre en el periodo posnatal inmediato, provocada por incremento en la concentración de células rojas 2,3-difosfoglicerato.

Randall<sup>25</sup> señala que insuficientes cantidades de O<sub>2</sub> en sangre de lechones al parto, provocan vitalidad disminuida. No obstante, la afinidad de O<sub>2</sub> en sangre del lechón recién nacido es más alta que en la cerda.<sup>23</sup> Aunque la hiperoxemia materna con administración de oxígeno al 100% tiene efectos limitados en la oxigenación fetal.<sup>26</sup> Zaleski y Hacker<sup>17</sup> observaron que la administración de oxígeno en cerdas incrementó la pO<sub>2</sub> (P = 0.0002), pCO<sub>2</sub> (P = 0.02), y disminuyó el pH (P = 0.02) en sangre venosa en 21%; por tanto, la pO<sub>2</sub> debió incrementarse en la sangre arterial de la cerda, incluyendo la que suministra a la placenta. Sin embargo, el oxígeno no tuvo efectos en los valores de gases en sangre venosa del lechón feto, por ello la inhalación de oxígeno no fue efectiva en la reducción de la tasa de mortinatos o mejoramiento en la vitalidad (calificación en la escala de vitalidad o los gases sanguíneos de vena).<sup>17</sup>

Aquí se observaron cambios importantes en la cerda al momento del parto, como la hipercapnia y cambios sobre los valores basales de glucosa que pueden tener consecuencias sobre los recién nacidos. Estudios de Hanka *et al.*,<sup>26</sup> en cerdas con ventilación de oxígeno e inducción de hipercapnia leve (oxígeno más 5% CO<sub>2</sub> en los días 80-90 de gestación), la presión parcial de oxígeno (pO<sub>2</sub>) en vena materna y la presión parcial de dióxido de carbono (pCO<sub>2</sub>), aumentaron levemente pero sin cambios significativos en pH ( $7.37 \pm 0.01$ ). Además, la ventilación con aire, más 5% de dióxido de carbono, modificó los valores de pO<sub>2</sub> ( $82.8 \pm 3.6$  mm/Hg), pCO<sub>2</sub> ( $78.5 \pm 5.3$  mm/Hg) y pH ( $7.24 \pm 0.03$ ). Estos cambios se acompañaron de incremento en la presión sistémica sanguínea y flujo sanguíneo

Cuadro 4

EFFECTO DEL TIPO DE PARTO SOBRE VARIABLES CRÍTICAS SANGUÍNEAS  
EN CERDAS PARTURIENTAS A LA EXPULSIÓN DE LA PLACENTA  
O NACIMIENTO DEL ÚLTIMO LECHÓN  
EFFECT ON PARTURITION TYPE ON CRITICAL BLOOD VARIABLES IN FARROWING  
SOWS AT MEMBRANE EXPULSION OR FIFTH PIGLET EXPULSION

	<i>Eutocic</i> ( <i>n</i> = 15)	<i>Eutocic</i> with oxytocin ( <i>n</i> = 15)	<i>Dystocic</i> ( <i>n</i> = 15)	<i>Dystocic</i> with oxytocin ( <i>n</i> = 15)	<i>P</i> value to ANOVA statistical method
	Mean ± MEE	Mean ± MEE	Mean ± MEE	Mean ± MEE	
pH	7.22 ± 0.009	7.18 ± 0.01	7.16 ± 0.01 <sup>b</sup>	7.20 ± 0.01 <sup>f</sup>	0.0091
pCO <sub>2</sub> (mm/Hg)	61.66 ± 1.25 <sup>c</sup>	64.78 ± 1.16 <sup>c</sup>	77.14 ± 1.31 <sup>b</sup>	70.5 ± 0.88 <sup>a</sup>	0.0001
pO <sub>2</sub> (mm/Hg)	20.86 ± 0.54 <sup>ab</sup>	20 ± 0.45 <sup>a</sup>	17.85 ± 0.29 <sup>bc</sup>	19.14 ± 0.31 <sup>c</sup>	0.0001
Na <sup>+</sup> (mmol/L)	134 ± 0.87 <sup>a</sup>	133.92 ± 0.71 <sup>a</sup>	131.35 ± 0.95 <sup>b</sup>	129.92 ± 0.51 <sup>ab</sup>	0.0008
K <sup>+</sup> (mmol/L)	6.75 ± 0.31 <sup>a</sup>	6.79 ± 0.21 <sup>a</sup>	6.7 ± 0.11 <sup>a</sup>	6.62 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.9500
Ca <sup>++</sup> (mmol/L)	1.61 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.75 ± 0.02 <sup>c</sup>	1.73 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.66 ± 0.01 <sup>ab</sup>	0.0001
Glucose (mg/dL)	55.4 ± 2.48 <sup>b</sup>	46.28 ± 1.37 <sup>a</sup>	44.57 ± 0.91 <sup>b</sup>	49.21 ± 0.62 <sup>b</sup>	0.0001
Lactate (mg/dL)	56.8 ± 2.20 <sup>b</sup>	57.07 ± 1.42 <sup>b</sup>	65.07 ± 2.09 <sup>a</sup>	65.85 ± 1.17 <sup>a</sup>	0.0003
Hematocrit (%)	47.33 ± 1.00 <sup>a</sup>	48.21 ± 0.77 <sup>a</sup>	49.14 ± 0.93 <sup>a</sup>	49.92 ± 0.96 <sup>a</sup>	0.2297
Temperature (°C)	38.49 ± 0.22 <sup>b</sup>	39.06 ± 0.11 <sup>c</sup>	39.70 ± 0.08 <sup>a</sup>	39.67 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.0001
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol/L)	20.92 ± 0.98 <sup>ab</sup>	18.88 ± 0.69 <sup>a</sup>	17.92 ± 0.48 <sup>b</sup>	18.01 ± 0.27 <sup>b</sup>	0.0083

Means in a row with different letters are different ( $P < 0.05$ ), to ANOVA, followed by Tukey's test. pH values were analyzed by orthogonal contrasts and were significant ( $P < 0.05$ ) between:

<sup>a</sup>Eutocic vs eutocic with oxytocin

<sup>b</sup>Eutocic vs dystocic

<sup>c</sup>Eutocic vs dystocic with oxytocin

<sup>d</sup>Eutocic con oxytocin vs dystocic

<sup>e</sup>Eutocic with oxytocin vs dystocic with oxytocin

<sup>f</sup>Dystocic vs dystocic with oxytocin

capnia is a factor that contributes for flow, but it also decreases uterine vascular resistance. When oxygen requirements in placental tissues have exceeded, increase in oxygen liberation rate rises the gradient at the point of gas transference to the fetus.

In the pig, diffuse placental microcirculation pattern is associated with an inefficient exchange mechanism and great quantity of gradient in transplacental pO<sub>2</sub>.<sup>23</sup> Hanka *et al.*<sup>26</sup> report that the increase in fetal oxygen tension during maternal hypercapnia results from the increase of uterine blood flow and the great quantity of oxygen liberated by the placenta; therefore, when placental tissue oxygen requirements

uterino, aunados a disminución en la resistencia vascular uterina, con posibles efectos adversos sobre los fetos y complicaciones durante el nacimiento.

Las contracciones uterinas y abdominales ayudan en la expulsión de los fetos.<sup>27</sup> En cerdas tratadas con oxígeno<sup>17</sup> pareciera observarse disminución temporal en la tensión abdominal después de iniciado el tratamiento, coincidiendo con incremento en la duración del primer intervalo de nacimiento. Es posible que la evolución en el incremento de pCO<sub>2</sub> y la disminución del pH observado en sangre venosa de cerdas al final del parto, sea importante en la reanudación del progreso de parto antes de que éste finalice, además del incremento en la respiración por el efecto del incre-

exceed, there is an increase in oxygen gradient to the site of gas exchange.

Elimination of CO<sub>2</sub> (and, therefore, carbonic acid) and lactate from fetal blood, depends almost completely on the placenta, and it compensates fetal oxygen deficit.<sup>31</sup> Perinatal asphyxia occurs when there is inadequate gas exchange between the placenta and the fetal tissue, necessary for oxygen consumption and carbon dioxide elimination.<sup>9</sup>

Although there are metabolic profile references of the sow, the effect of a low dose of oxytocin during farrowing (0.083 IU/kg or 1 IU/12 kg per live weight), on clinical and laboratory variables in sows with or without dystocia had not been evaluated. The results of this experiment are clear evidence that oxytocin should not be administered in parturitions with normal evolution without stillbirths, since it has adverse effects on the performance of a farrowing sow. Nevertheless, the administration of only one low dose of oxytocin (0.083 IU/kg equivalent to 1 IU/12 kg) after the delivery of the fifth piglet in sows with maternal-fetal dystocia, had favorable effects on neonatal and metabolic indicators of the farrowing sow compared to the results obtained from dystocic parturitions without oxytocin and eutocic with oxytocin administration. This study also shows that, if necessary, oxytocin should be administered at low doses in farrowing sows, for instance: 0.08 IU/kg (1 IU/12 kg) after the fifth piglet. This programmed dose, could not only help to reduce secondary adverse perinatal effects of oxytocin administration, but also decrease the number of stillbirths in eutocic and dystocic parturitions in sows.

## Acknowledgements

Special thanks to the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Mexico for scholarships and financial support to carry out this research: Miguel Gonzalez-Lozano is a student of the PhD program in Ciencias de la Producción y de la Salud Animal, FMVZ-UNAM, and had a scholarship from Conacyt, Mexico, in Master number 193000, currently he has the registry 168246 in PhD. Also, thanks to M.E. Trujillo, M. Alonso-Spilsbury, R. Hernandez-Gonzalez, Ramirez-Necochea and D. Mota-Rojas, members of the Sistema Nacional de Investigadores, in Mexico.

## Referencias

1. MOTA D, RAMÍREZ R, CISNEROS M. ¿Cuándo realizar la manipulación obstétrica en la cerda parturienta? Memorias de VII Congreso Latinoamericano de Veterinarios Especialistas en Cerdos y V Congreso Nacional de Producción Porcina; 1997 oct 5 - 8; Río Cuarto (Córdoba) Argentina. Río Cuarto (Córdoba) Argentina:

mento de dióxido de carbono en el sistema nervioso central.

En este contexto, Chiang y Rodway,<sup>28</sup> mencionan que la principal causa de muerte fetal en lechones es hipoxia como consecuencia de la asfixia, incremento en la duración del parto y en los intervalos de expulsión entre lechones. Además, mencionan que el lechón más craneal (cercano al polo ovárico) en cada cuerno uterino nace al último y tiene bajas posibilidades de supervivencia. Asimismo, Mota-Rojas *et al.*<sup>11</sup> observaron que las contracciones uterinas provocadas por la oxitocina aplicada al principio del parto en cerdas durante el parto, son mayores en frecuencia e intensidad y están asociadas con desaceleración cardíaca fetal (dips II), que indican estrés fetal agudo con asfixia y tinción de meconio en piel, comprometiendo la vitalidad neonatal.

Los valores de glucosa durante la segunda fase del parto permanecieron 7 mg/dL más elevados en partos distócicos comparados con sus respectivos eutócicos. Después de la expulsión de la placenta, los partos eutócicos con oxitocina mostraron diferencias significativas con respecto a los demás grupos, a pesar de que el grupo con distocia sin oxitocina mostró diferencias numéricas menores con respecto a los demás grupos. Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticas en los valores de lactato después de la primera mitad del parto. Aunque en todos los tipos de parto el lactato estuvo elevado y fue casi 9 mg/dL mayor en los partos distócicos, independientemente de la aplicación de oxitocina. Lichtblau *et al.*<sup>29</sup> observaron acidosis metabólica durante nacimientos normales pero difíciles, y cambios severos en cuanto a concentraciones de lactato y equilibrio ácido-base en cerdas al parto, en especial en grupos de cerdas con distocia. Quizá el origen de la elevación de lactato en la circulación umbilical del feto porcino sea el tejido uteroplacentario. Se sabe que estos tejidos producen lactato y lo liberan dentro de la circulación umbilical y uterina en otras especies domésticas; se ha observado que una concentración venoso-arterial positiva en el lactato cruza la circulación uterina de cerdas gestantes cateterizadas crónicamente.<sup>30</sup>

Varios factores deben estar involucrados en la transferencia de oxígeno a través de la placenta durante la hipercapnia materna. Previamente Hanka *et al.*<sup>26</sup> señalan que durante la hipercapnia existe incremento en el flujo de sangre uterino. El incremento en la presión sanguínea sistémica durante la hipercapnia constituye un factor que contribuye al flujo, pero también disminuye la resistencia vascular uterina. Cuando los requerimientos de oxígeno en tejidos placentarios han sido excedidos, el incremento en la tasa de liberación de oxígeno incrementa el gradiente al punto de que ocasiona transferencia de gas al feto.

- Departamento de imprenta y publicaciones de la Universidad Nacional de Río Cuarto, 1997:245-246.
2. MOTA D, RAMÍREZ R. Observaciones clínicas sobre lechones nacidos muertos intra-parto (Según tiempo de expulsión, Orden de nacimiento y número de parto de la cerda). Memorias de VII Congreso Latinoamericano de Veterinarios Especialistas en Cerdos y V Congreso Nacional de Producción Porcina; 1997 oct 5-8; Río Cuarto (Córdoba) Argentina. Río Cuarto (Córdoba) Argentina: Departamento de imprenta y publicaciones de la Universidad Nacional de Río Cuarto, 1997:139.
  3. SPRECHER DJ, LEMAN AD, DZIUK PD, CROPPER M, DEDRECKER M. Causes and control of swine stillbirths. *J Am Vet Med Assoc* 1974;165:698-701.
  4. PEJSAK Z. Some pharmacological methods to reduce intrapartum death of piglets. *Pig News Info* 1984;5:35-37.
  5. PERNOLL ML, BENSON RC. *Current Obstetric and Gynecological Diagnosis and Treatment*. 6th ed. Norwalk CT, USA: Appleton & Lange, 1988.
  6. TUCKER JM, HAUTH JC. Intrapartum assessment of fetal well-being. *Clin Obstet Gynecol* 1990;33:515.
  7. GILBERT CL. Oxytocin secretion and management of parturition in the pig. *Reprod Domest Anim* 1999;34:193-200.
  8. MOTA-ROJAS D, MARTINEZ-BURNES J, ALONSO-SPILSBURY M, LOPEZ A, RAMIREZ-NECOECHEA R, TRUJILLO-ORTEGA ME *et al.* Meconium staining of the skin and meconium aspiration in porcine intrapartum stillbirths. *Livestock Sci* 2006;102:155-162.
  9. BROUILLETTE RT, WAXMAN DH. Evaluation of the newborn's blood gas status. *Clin Chem* 1997;43:215-221.
  10. ALONSO-SPILSBURY M, MOTA-ROJAS D, MARTINEZ-BURNES J, ARCH TE, LOPEZ-MAYAGOITIA A, RAMIREZ-NECOECHEA R *et al.* Use of oxytocin in penned sows and its effect on fetal intra-partum asphyxia. *Anim Reprod Sci* 2004;84:157-167.
  11. MOTA-ROJAS D, MARTINEZ-BURNES J, TRUJILLO ME, LOPEZ A, ROSALES AM, RAMIREZ R *et al.* Uterine and fetal asphyxia monitoring in parturient sows treated with oxytocin. *Anim Reprod Sci* 2005;86:131-141.
  12. MOTA-ROJAS D, NAVA-OCAMPO A, TRUJILLO-ORTEGA ME, VELAZQUEZ-ARMENTAY, RAMIREZ-NECOECHEA R, ALONSO-SPILSBURY M. Influence of time at which oxytocin is administered during labor on uterine activity and perinatal death in pigs. *Biol Res* 2007;40:55-63.
  13. SHERWIN CM, CHRISTIANSEN SB, DUNCAN IJ, ERHARD HW, LAY DC, MENCH JA *et al.* Guidelines for the ethical use of animals in applied ethology studies. *Appl Anim Behavior Sci* 2003;81:291-305.
  14. MOTA-ROJAS D, NAVA-OCAMPO AA, TRUJILLO ME, VELAZQUEZ-ARMENTA Y, RAMIREZ-NECOECHEA R, MARTINEZ-BURNES J *et al.* Dose minimization study of oxytocin in early labor in sows: uterine activity and fetal outcome. *Reprod Toxicol* 2005;20:255-259.

En el cerdo, el patrón de la microcirculación placentaria difusa se asocia con un mecanismo de intercambio poco eficiente y gran cantidad de gradiente en la pO<sub>2</sub> transplacentaria.<sup>23</sup> Hanka *et al.*<sup>26</sup> señalan que el incremento en la tensión de oxígeno fetal durante la hipercapnia materna resulta del incremento de flujo sanguíneo uterino y de la mayor cantidad de oxígeno liberado por la placenta, de forma que cuando se exceden los requerimientos de oxígeno del tejido placentario, se presenta incremento en el gradiente de oxígeno al sitio de intercambio de gases.

La eliminación de CO<sub>2</sub> (y, por tanto, de ácido carbónico) y lactato de la sangre fetal, depende casi por completo de la placenta, y recompensa el déficit de oxígeno fetal.<sup>31</sup> La asfixia perinatal ocurre cuando existe intercambio inadecuado de gases entre la placenta y el tejido fetal, que es necesario para el consumo de oxígeno y la eliminación de dióxido de carbono.<sup>9</sup>

Aunque hasta el momento hay referencia de perfiles metabólicos de la cerda, no había sido evaluado el efecto de una dosis baja de oxitocina durante el parto (0.083 UI/kg o 1 UI/12 kg de PV), sobre variables clínicas y de laboratorio en cerdas con y sin distocia. Los resultados de este experimento son evidencia clara de que la oxitocina no debe ser aplicada en partos con evolución normal sin nacidos muertos, ya que posee efectos adversos sobre el desempeño en la cerda parturienta. Sin embargo, la aplicación de una sola dosis baja de oxitocina (0.083 UI/kg equivalente a 1 UI/12 kg) después del nacimiento del quinto lechón en cerdas con distocia materno-fetal, resultó con los efectos más favorables en los indicadores neonatales y metabólicos de la cerda al parto comparados con los resultados de partos distócicos sin oxitocina y eutócico con oxitocina. Este estudio también demuestra que, si fuere requerida, la oxitocina debería ser administrada a dosis bajas en cerdas parturientas, por ejemplo: 0.08 UI/kg (1 UI/12 kg) después del quinto lechón. Esta dosis programada podría no sólo ayudar a reducir los efectos perinatales adversos secundarios a la administración de oxitocina, sino también a disminuir el número de mortinatos en partos eutócicos y distócicos en cerdas.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo económico y becas otorgadas para la realización del estudio a Miguel González-Lozano, estudiante del programa de Doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal, de la FMVZ-UNAM, quien fue becario del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, de México, en la maestría, con número 193000, actualmente tiene el registro 168246 en el Doctorado. Va también nuestra gratitud para M. E. Trujillo, M. Alonso-Spilsbury, R.

15. MOTA RD, MARTINEZ-BURNES J, TRUJILLO OME, ALONSO-SPILSBURY M, RAMIREZ-NECOECHEA R, LOPEZ-MAYAGOITIA A. Effects of oxytocin treatment in sows on umbilical cord morphology, meconium staining and neonatal mortality of piglets. *Am J Vet Res* 2002;63:1571-1574.
16. RANDALL GC. Observations on parturition in the sow. II. Factors influencing stillbirth and perinatal mortality. *Vet Rec* 1972;90:183-186.
17. ZALESKI HM, HACKER RR. Effect of oxygen and neostigmine on stillbirth and pig viability. *J Anim Sci* 1993;71:298-305.
18. MOTA-ROJAS D. Aplicación de oxitocina en diferentes esquemas de tratamiento en cerdas al parto y su efecto sobre la dinámica uterina, grado de asfixia, mortalidad fetal y vitalidad neonatal (tesis doctoral). México DF: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa/Xochimilco. México DF, 2005.
19. SAS. INSTITUTE, INC. SAS/STAT User's Guide, version 6.12. 4<sup>th</sup> ed. Cary, North Carolina, USA: SAS Institute Inc., 1997.
20. LOGHIS C, SALAMALEKIS E, VITORATOS N, PANAYOTOPOULOS N, KASSANOS D. Umbilical cord blood gas analysis in augmented labour. *J Obstet Gynaecol* 1999;19:38-40.
21. DEROUCHÉY JM, HANCOCK JD, HINES RH, CUMMINGS KR, LEE DJ, MALONEY CA *et al.* Effects of dietary electrolyte balance on the chemistry of blood and urine in lactating sows and sow litter performance. *J Anim Sci* 2003;81:3067-3074.
22. FOWDEN AL, FORHEAD AJ, SILVER M, MACDONALD AA. Glucose, lactate and oxygen metabolism in the fetal pig during late gestation. *Exp Physiol* 1997;82:171-182.
- Hernández-González, R. Ramírez-Necoechea y D. Mota-Rojas, quienes son miembros del Sistema Nacional de Investigadores, de México.
23. COMLINE RS, SILVER M. A comparative study of blood gas tensions, oxygen affinity and red cell 2,3 DPG concentrations in foetal and maternal blood in the mare, cow and sow. *J Physiol* 1974;242:805-826.
24. CURTIS S. Responses of the piglet to perinatal stressors. *J Anim Sci* 1974;38:1031-1036.
25. RANDALL GC. The relationship of arterial blood pH and pCO<sub>2</sub> to the viability of the newborn piglet. *Can J Comp Med Vet Sci* 1971;35:141-146.
26. HANKA R, LAWN L, MILLS IH, PRIOR DC, TWEEDDALE PM. The effects of maternal hypercapnia on foetal oxygenation and uterine blood flow in the pig. *J Physiol* 1975;247:447-460.
27. RANDALL GC. Observations on parturition in the sow. I. Factors associated with the delivery of the piglets and their subsequent behavior. *Vet Rec* 1972;90:178-182.
28. CHIANG FE, RODWAY RG. Determinations of umbilical cord Beta-endorphin concentration and blood gas parameters in newborn piglets. *Res Vet Sci* 1997;63:107-111.
29. LICHTBLAU K, BOSTEDT H, SOBIRAJ A. Plasma enzyme activities and acid-base equilibrium in sows in relation to the progress of labor. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr* 1990;103:182-188.
30. RANDALL GCB. Daily changes in the blood of conscious pig with catheters in foetal and uterine vessels during late gestation. *J Physiol* 1977;270:719-731.
31. BOBROW CS, SOOTHILL PW. Causes and consequences of fetal acidosis. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 1999;80:246-249.