



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN
MATEMÁTICAS APLICADAS Y EN SISTEMAS
ESPECIALIDAD EN ESTADÍSTICA APLICADA**

**APLICACIÓN DE UN MODELO FACTORIAL 2×3 CON DISEÑO
COMPLETAMENTE AL AZAR PARA DETERMINAR EL EFECTO
DEL SEXO Y LA VITALIDAD EN LECHONES AL NACER.**

T E S I N A

**PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA EN
ESTADÍSTICA APLICADA**

P R E S E N T A

Juárez López Noe Orlando

ASESORA DE TESINA

M en E. Patricia Romero Mares

México D.F.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO DE EXAMEN

El jurado aprobado por el Comité Académico del Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Matemáticas y de la Especialización en Estadística Aplicada:

Honorable Jurado de Examen

Presidente: **Dr. Ignacio Méndez Ramírez**

Secretario: **M en C. Leticia Eugenia Gracia-Medrano Valdelamar**

Vocal: **M en C. Patricia Isabel Romero Mares**

Suplente: **Dra. Silvia Ruiz-Velasco Acosta**

Suplente: **Act. Miguel Ángel Chong Rodríguez**

ASESOR DE TESIS

M. en E. Patricia Romero Mares

Técnico Académico Titular "B"

Departamento de Probabilidad y Estadística

Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas

Universidad Nacional Autónoma de México

**.....Dedicado para mi Querida Familia
y Amiga Incondicional que camina
Junto a mí.**

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial, sincero y con admiración para la Profesora Patricia Romero Mares (IIMAS) por su colaboración, conocimientos, opiniones detalladas y tiempo brindado para el desarrollo de este documento.

De ante mano, se agradece por la revisión de este documento a todos los miembros que conforman el jurado de examen.

Agradezco al Dr. Daniel Mota Rojas (UAM-X) y a la Dra. María Elena Trujillo Ortega (FMVZ-UNAM) por su colaboración en la recolección de los datos.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.	Pág.1
1. INTRODUCCIÓN	Pág.2
2. MARCO TEÓRICO	Pág.4
2.1. <i>Problemática en la producción porcina.</i>	Pág.4
2.2. <i>Calificación de Vitalidad.</i>	Pág.4
2.3. <i>El Sexo como Factor de Supervivencia en la especie Porcina.</i>	Pág.5
3. OBJETIVO	Pág.6
4. HIPÓTESIS	Pág.6
5. MATERIAL Y MÉTODOS	Pág.6
5.1. <i>Establecimiento de datos.</i>	Pág.6
5.2. <i>Evaluación de los neonatos porcinos a través de la escala de vitalidad modificada</i>	Pág.7
5.3. <i>Latencia a conectar la teta</i>	Pág.8
5.4. <i>Temperatura corporal</i>	Pág.8
5.5. <i>pH, PCO₂, PO₂, , glucosa, lactato, HCO₃⁻.</i>	Pág.8
6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	Pág.9
6.1. <i>Análisis Descriptivo.</i>	Pág.9
6.2. <i>Diseño Experimental</i>	Pág.15
7. RESULTADOS	Pág.16
7.1. <i>Peso (g)</i>	Pág.16
7.2. <i>Temperatura (°C)</i>	Pág.18
7.3. <i>pCO₂ (mmHg)</i>	Pág.20
7.4. <i>pO₂ (mmHg)</i>	Pág.23
7.5. <i>HCO₃⁻ (mmol/L)</i>	Pág.25

7.6. <i>Lactato (mg/dl)</i>	Pág.26
7.7. <i>Glucosa (mg/dl)</i>	Pág.28
7.8. <i>Latencia a la teta materna (minutos)</i>	Pág.30
7.9. <i>pH transformado</i>	Pág.32
8. DISCUSIÓN	Pág.35
9. CONCLUSIÓN	Pág.37
10. BIBLIOGRAFÍA	Pág.38
Anexo 1. Prueba de Kruskal-Wallis.	Pág.40
Anexo 2. Transformación de y .	Pág.43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.	Peso	Pág.10
Gráfico 2.	Temperatura	Pág.10
Gráfico 3.	pH	Pág.11
Gráfico 4.	pCO ₂	Pág.11
Gráfico 5.	pO ₂	Pág.12
Gráfico 6.	HCO ₃ ⁻	Pág.12
Gráfico 7.	Lactato	Pág.13
Gráfico 8.	Glucosa	Pág.13
Gráfico 9.	Latencia a la teta materna	Pág.14
Gráfico 10.	Comportamiento de las medias del peso respecto a la calif. de vitalidad.	Pág.17
Gráfico 11.	Comportamiento de las medias del peso respecto al sexo.	Pág.17
Gráfico 12.	Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable peso.	Pág.18
Gráfico 13.	Interacción entre los distintos niveles de los factores en la variable temperatura	Pág.18
Gráfico 14.	Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable temperatura.	Pág.20
Gráfico 15.	Interacción entre los distintos niveles de los factores en la variable pCO ₂ .	Pág.21
Gráfico 16.	Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable pCO ₂ .	Pág.22
Gráfico 17.	Interacción entre los distintos niveles de los factores en la variable pO ₂ .	Pág.23
Gráfico 18.	Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable pO ₂ .	Pág.24
Gráfico 19.	Comportamiento de las medias de bicarbonato respecto a la calif. de vitalidad.	Pág.25
Gráfico 20.	Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable HCO ₃ ⁻ .	Pág.26
Gráfico 21.	Comportamiento de las medias de lactato respecto a la calif. de vitalidad.	Pág.26
Gráfico 22.	Comportamiento de las medias de lactato con respecto al sexo	Pág.27
Gráfico 23.	Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable lactato.	Pág.27
Gráfico 24.	Comportamiento de las medias de glucosa respecto a la calif. de vitalidad	Pág.29

Gráfico 25.	Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable Glucosa.	Pág.29
Gráfico 26.	Comportamiento de las medias de la latencia a la teta materna respecto a la calif. de vitalidad.	Pág.31
Gráfico 27.	Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable latencia a la teta materna.	Pág.31
Gráfico 28.	Comportamiento de las medias del pH <i>transformado</i> respecto a la calif. de vitalidad.	Pág.32
Gráfico 29.	Comportamiento de las medias del pH <i>transformado</i> respecto al sexo	Pág.33
Gráfico 30.	Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable pH <i>transformado</i> .	Pág.33

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Número total de individuos por grupo de acuerdo a la calificación de vitalidad y Sexo, así como el porcentaje correspondiente	Pág.9
Cuadro 2.	Efecto de la Calificación de Vitalidad y Sexo	Pág.16
Cuadro 3.	Media de Mínimos cuadrados del peso en los distintos niveles de la calif. de vitalidad.	Pág.17
Cuadro 4.	Interacción entre sexo y calif. de vitalidad, en la variable dependiente Temperatura	Pág.19
Cuadro 5.	Interacción entre sexo y calif. de vitalidad, en la variable dependiente pCO ₂	Pág.21
Cuadro 6.	Prueba de Kruskal-Wallis para pCO ₂ .	Pág.22
Cuadro 7.	Interacción entre sexo y calif. de vitalidad, en la variable dependiente pO ₂ .	Pág.23
Cuadro 8.	Media de Mínimos Cuadrados de HCO ₃ ⁻ en los distintos niveles de la calif. de vitalidad.	Pág.25
Cuadro 9.	Media de Mínimos Cuadrados de lactato en los distintos niveles de la calif. de vitalidad.	Pág.27
Cuadro 10.	Prueba de Kruskal-Wallis para lactato.	Pág.28
Cuadro 11.	Media de Mínimos Cuadrados de glucosa en los distintos niveles de la calif. de vitalidad.	Pág.29
Cuadro 12.	Prueba de Kruskal-Wallis para Glucosa.	Pág.30
Cuadro 13.	Media de Mínimos Cuadrados de la latencia al contacto con la teta materna en los distintos niveles en la calif. de vitalidad.	Pág.31
Cuadro 14.	Media de Mínimos Cuadrados del pH <i>transformado</i> en los distintos niveles de la calif. de vitalidad.	Pág.32
Cuadro 15.	Prueba de Kruskal-Wallis para pH.	Pág.34

RESUMEN.

Es en particular en la especie porcina (*Suus scrofa domestica*), la dificultad que tienen los lechones para sobrevivir, al parto y al entorno ambiental después de haber nacido; existen estudios recientes enfocados a estudiar los factores que influyen e interactúan en la supervivencia de los neonatos porcinos, con el propósito de disminuir la tasa de mortalidad en las granjas de producción porcina intensiva. Por esta razón el objetivo de este estudio fue buscar el efecto que tiene la calificación de vitalidad y el sexo sobre las variables peso, temperatura, pH, pCO₂, pO₂, latencia a la teta materna, HCO₃⁻, lactato y glucosa, que fueron medidas durante el nacimiento. Se utilizó un modelo factorial 2x3 con diseño completamente al azar para determinar el efecto de la calificación de vitalidad y el sexo sobre las variables (peso, temperatura, pH, pCO₂, pO₂, latencia a la teta materna, HCO₃⁻, lactato y glucosa), los valores con probabilidad < 0.05 se consideraron significativos. El modelo resultó ser significativo para todas las variables (*p-value* <.0001). Se encontró que la calificación de vitalidad tiene un efecto en todas las variables (*p-value* <.0001). Sin embargo, el sexo resultó significativo (*p-value* <.0001) sólo en las variables: peso, temperatura, pH, pCO₂ y lactato (*p-value*= .0016). En las variables: temperatura (*p-value*=.0461), pCO₂ (*p-value*=.0106) y pO₂ (*p-value*=.0282) se encontró interacción entre los dos factores (calificación de vitalidad y sexo). Por lo tanto se concluye que el análisis estadístico aplicado a esta base de datos fue importante por encontrar que la evaluación de la vitalidad en los lechones es una prueba útil y que se debe considerar su uso, en las granjas porcinas, para identificar, valorar y aplicar medidas especiales a los lechones recién nacidos con problemas para adaptarse al medio ambiente.

1. INTRODUCCIÓN

Son diversos los factores que influyen en la supervivencia neonatal de la especie porcina y que repercuten directamente en la estabilidad económica de las explotaciones porcinas. Recientemente se han publicado diversos estudios en los que se describe la influencia de estos factores, que son: factores maternos, factores ambientales y factores propios del neonato porcino. La variabilidad del peso al nacer dentro de la camada es un factor esencial para la supervivencia de los lechones, Wittenburg *et al.*, (2010). La vitalidad del neonato porcino ha sido estudiada como factor que puede determinar su supervivencia en el momento del parto, Baxter *et al.*, (2008; 2009). Es por este motivo que la utilización de la escala de Apgar modificada es útil, porque a través de ella se evalúan cinco signos clínicos que se ven afectados por un proceso de hipoxia intra-parto, y proporciona una noción de la condición clínica-fisiológica del lechón en el nacimiento. Al respecto, mencionan los autores que la puntuación de la escala de Apgar modificada para lechones en el parto, ha probado ser útil para evaluar la vitalidad del neonato en las granjas comerciales. En estudios de diversas especies también se ha considerado que el sexo puede ser un factor más que determine la supervivencia y, recientemente se ha observado un efecto en el neonato porcino durante el parto. Ampliar los conocimientos de las diferencias en el sexo, en cuanto al comportamiento de las variables críticas sanguíneas, cuando atraviesan por algún grado de hipoxia, nos permitirá utilizar medidas adecuadas para restablecer el vigor de los lechones. Se han realizado muchas investigaciones sobre las diferencias que existen entre hembras y machos en lo que respecta a la maduración pulmonar y producción de surfactante (sustancia producida por las células alveolares que contiene fosfolípidos y apoproteínas) por efecto hormonal, en especies como conejo y borrego entre otras. (Torday and Nielsen., 1987; McMillan *et al.*, 1989; Kovar *et al.*, 2001; Carey *et al.*, 2007). La demora en la síntesis de surfactante aumenta el riesgo para presentar el síndrome de diestrés respiratorio (SDR) en el feto de sexo masculino, estos datos son bien conocidos en la perinatología humana; los andrógenos han estado implicados en el mecanismo de retraso en la maduración pulmonar (Torday and Nielsen, 1987; Dammann *et al.*, 2000). Sin embargo, existe poca información del comportamiento de las variables fisio-metabólicas, peso y temperatura. Las mediciones de gases en sangre y estimaciones no invasivas de variables fisiológicas del neonato porcino, proporcionan información crucial sobre la oxigenación al parto, importante también en la sobrevivencia subsecuente. Según estudios

reportados con anterioridad, estos tres factores peso, vitalidad y sexo, juegan un papel determinante en la supervivencia del neonato porcino durante el parto, pues de ellos depende en gran medida el equilibrio ácido-base del organismo propio del neonato porcino.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Problemática en la producción porcina.

La mortalidad neonatal precoz de cerdos, es una preocupación constante para los productores de porcino. Las pérdidas han oscilado entre el 10 y el 29% (Stanton y Carroll, 1974). En las explotaciones porcinas se encuentran lechones que nacen muertos y otros mueren por aplastamiento, por desnutrición y por frío (hipotermia), estas causas se atribuyen a la baja vitalidad del lechón. La especie porcina se caracteriza por presentar un porcentaje de mortalidad neonatal muy elevado en comparación con otras especies como la bovina, ovina y equina, constituyendo aproximadamente del 10 al 15% de los lechones nacidos vivos. Esto es debido a la naturaleza del lechón, lo que le va a dificultar su adaptación al nuevo medio en las primeras 24-72 horas de vida. Dentro de los factores que podemos considerar para la reducción de la vitalidad se encuentran el bajo peso al nacimiento y la desnutrición. Además, los lechones nacen sin una capa protectora de pelo, con una cubierta de grasa subcutánea muy fina y con bajas reservas energéticas corporales, todo ello provoca un bajo aislamiento térmico del lechón frente a la temperatura del ambiente. El bajo peso del lechón al nacer, implica un alto riesgo de muerte temprana en la primer semana o en los primeros días de vida, lo cual repercute en la economía de la granja. Es por esto que se pretende lograr que estos lechones puedan pasar por esa etapa crítica y así lograr una mayor producción en la granja porcina.

2.2. Calificación de Vitalidad.

Desde 1953, Virginia Apgar estableció un protocolo para evaluar la vitalidad del recién nacido en humanos (Apgar V., 1953); el test de Apgar se utiliza ampliamente para identificar a los recién nacidos que requieren reanimación y sirve para evaluar la condición del recién nacido durante los primeros minutos de vida según Patel and Piotrowski, (2002); Patel *et al.*, (2001). El examen de vitalidad creado por Apgar es retomado por Randall en 1971 para su uso en lechones; en su investigación propone un sistema para evaluar la viabilidad del lechón al momento del parto. Randall (1971), evalúa cinco signos clínicos: frecuencia respiratoria, frecuencia cardíaca, tono muscular, intento al ponerse en pie y color; cero uno o dos puntos fueron asignados a cada parámetro. La escala de vitalidad modificada para lechones es retomada por De Roth y Downie, (1976), Zaleski y Hacker (1993), Mota *et al.*, (2005), Trujillo *et al.*, (2007), Baxter *et al.*, (2008, 2009). El uso de la

escala de vitalidad también es utilizada en otras especies como terneros (Schulz *et al.*, 1997), y recientemente en cachorros de perro doméstico (Veronesi *et al.*, 2009). A través del tiempo la escala de vitalidad modificada para lechones, ha sufrido distintos cambios en la evaluación de los signos clínicos, por ejemplo, Baxter *et al.*, (2008, 2009) utilizan una escala de vitalidad en donde sólo se emplea el signo clínico del intento de respiración, antes, durante y después de quince segundos.

2.3. El Sexo como Factor de Supervivencia en la especie Porcina.

Hasta el momento no se han reportado las ventajas de supervivencia que tienen las hembras de la especie porcina sobre los machos, al momento del parto. Existen investigaciones que se basan en la maduración pulmonar y producción de surfactante por efecto hormonal, en especies como conejo y borrego entre otras, de acuerdo al sexo. (Torday y Nielsen., 1987; McMillan *et al.*, 1989; Kovar *et al.*, 2001; Carey *et al.*, 2007). Los machos presentan excesivas complicaciones médicas durante el periodo perinatal, aunque el origen de esta vulnerabilidad, relacionada con el sexo, no es totalmente comprendido; la vulnerabilidad en los neonatos de sexo masculino, no es exclusivo de los seres humanos, pero, parece ser en general, que se da entre los mamíferos, incluyendo los porcinos. En las crías de ratas, los machos suelen tener las peores tasas de supervivencia, después de la asfixia perinatal, que las hembras (Loidl *et al.*, 2000). En humanos, los puntajes de Apgar (escala de vitalidad) que se utiliza para indicar "la adaptación a la vida extra-uterina de los recién nacidos", también muestran diferencias por motivos de sexo.

3. OBJETIVO

El objetivo es analizar una base de datos proveniente de lechones recién nacidos mediante un modelo factorial 2x3 con diseño completamente al azar, para buscar el efecto que tiene la calificación de vitalidad y el sexo sobre las variables peso, temperatura, pH, pCO₂, pO₂, latencia a la teta materna, HCO₃⁻, lactato y glucosa, que fueron medidas durante el nacimiento.

4. HIPÓTESIS

Existe un efecto de la calificación de vitalidad y sexo en las variables peso, pH, pCO₂, pO₂, latencia a la teta materna, temperatura, HCO₃⁻, lactato y glucosa; mismas que condicionan las probabilidades de supervivencia del neonato porcino, en las granjas intensivas de producción porcina.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Establecimiento de datos.

Los datos fueron obtenidos de un estudio, que se llevó a cabo en una granja porcina de producción intensiva, ubicada en la región central de México. Se evaluaron al nacimiento, todos los neonatos porcinos que fueron expulsados (1,121 lechones) de 100 cerdas multíparas (1er a 5to parto) híbridas Yorkshire × Landrace, a lo largo del año 2008. Los edificios de la maternidad donde se alojaron los animales, tenían sistemas de ventilación electrónica, contaban con luz natural y eléctrica fijado en 39,8 candelas, la temperatura ambiente promedio fue de 26 ° C con una humedad relativa de 60%. Es importante mencionar que no es un experimento, si no un estudio observacional.

5.2. Evaluación de los neonatos porcinos a través de la escala de vitalidad modificada

Los lechones fueron evaluados al nacimiento a través de la escala de vitalidad reportada previamente por Mota *et al.*, (2005), midiendo las siguientes variables:

1) Frecuencia cardiaca (latidos por min): $\left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ si es } < 110. \\ 1 \text{ si es entre } 121 \text{ y } 160. \\ 2 \text{ si es } > 161 \end{array} \right.$

2) Latencia al intento de inspiración, que es el intervalo entre el nacimiento y la primera respiración (min): $\left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ si es } > 1 \text{ min} \\ 1 \text{ si es entre } 16 \text{ seg. y } 1 \text{ min.} \\ 2 \text{ si es } < 15 \text{ seg.} \end{array} \right.$

3) Color de la piel del hocico: $\left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ si es cianótico.} \\ 1 \text{ si es pálido.} \\ 2 \text{ si es rosado.} \end{array} \right.$

4) Latencia para ponerse de pie, es el intervalo entre el nacimiento y la primera vez que el lechón logra sostenerse sobre sus cuatro extremidades.

Se clasificó en: $\left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ si es } > 5 \text{ min.} \\ 1 \text{ si es entre } 1 \text{ y } 5 \text{ min.} \\ 2 \text{ si es } < 1 \text{ min.} \end{array} \right.$

5) Tono muscular (Este punto es evaluado en los miembros posteriores del lechón, el puntaje que obtiene es a partir de la fuerza que ejerce el lechón al extender dicha extremidad por el operario).

Se divide en: $\left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ si es flácido.} \\ 1 \text{ si es pobre.} \\ 2 \text{ si es bueno.} \end{array} \right.$

Cada variable se calificó del 0 (el peor) al 2 (el mejor) y se obtuvo una calificación global con un rango de 1 a 10 para cada lechón. Desde luego, un valor menor a 6, indica reprobación en la escala de vitalidad. El ritmo cardiaco se obtuvo a través de un estetoscopio. El primer respiro fue considerado cuando se observaron movimientos torácicos del lechón acompañados por exhalación de aire. El tiempo transcurrido para

ponerse de pie se cronometró hasta que el lechón logró levantarse sobre sus cuatro extremidades.

5.3. Latencia a conectar la teta

Se registró el tiempo que requirió cada lechón para hacer contacto con la teta materna, éste es el intervalo que transcurre entre el nacimiento y el momento en que el cerdo logra por primera vez hacer contacto con la teta materna. El tiempo para el registro de esta variable comenzó a partir de que el lechón era reubicado cerca de la zona vulvar de la madre, inmediatamente después del primer muestreo sanguíneo al momento del nacimiento.

5.4. Temperatura corporal

La temperatura corporal se registró en el primer minuto y a los cinco minutos de vida del neonato, y fue evaluada de forma instantánea (1 segundo) a través del termómetro otal ThermoScan Braun® (GMBH, Kronberg, Germany).

5.5. pH, PCO₂, PO₂, , glucosa, lactato, HCO₃⁻.

Las muestras sanguíneas de los neonatos porcinos se tomaron inmediatamente después de su nacimiento. El muestreo se realizó mediante sangrado retro-orbital con un tubo microcapilar, de 100 µl empujándolo lateralmente (la parte externa) hasta la pared posterior de la órbita ocular a través de la conjuntiva, incidiendo el seno venoso. El pH, PCO₂, PO₂, glucosa, lactato y HCO₃⁻, se analizaron simultáneamente a través de un analizador de gases de tercera generación (gasómetro GEM Premier 3000 de IL Diagnostics. Italy).

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

6.1. Análisis Descriptivo.

La siguiente sección describe el número total de elementos por cada grupo formado de acuerdo a la calificación de vitalidad y al sexo. Podemos notar que los grupos están desbalanceados. Así mismo se observa que existe un mayor número de hembras en el estudio. Es importante mencionar que en la calificación de vitalidad reprobatoria existe un mayor número de machos reprobados, mientras que en los dos grupos aprobados, se presenta una mayor incidencia de hembras (Cuadro 1).

Cuadro 1. Número total de individuos por grupo de acuerdo a la calificación de vitalidad y Sexo, así como el porcentaje correspondiente

Calificación Vitalidad	N	N(Hembras)	N(Machos)	% Total Hembras	% Total Machos
≤5	218	87	131	7.76%	11.69%
6-7	438	250	188	22.30%	16.77%
≥8	465	269	196	24.00%	17.48%
Total	1121	606	515	54.06%	45.94%

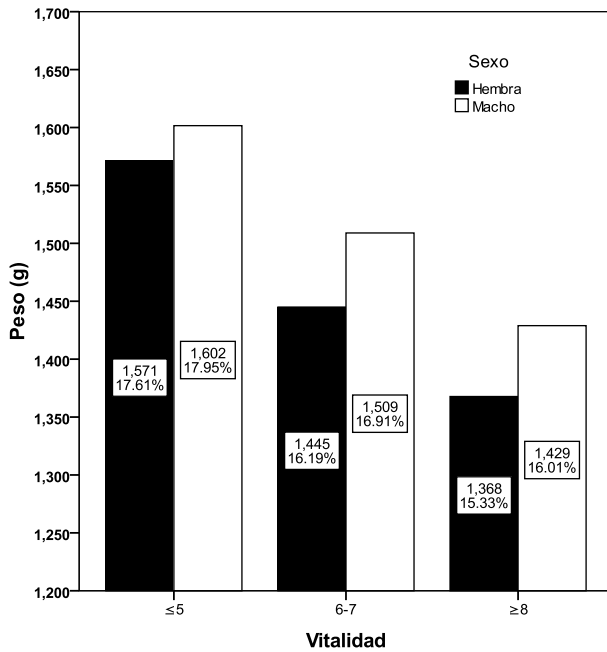
Con los datos sombreados del cuadro 1, se realizó una prueba de χ^2 para determinar si existe relación entre la calificación de vitalidad y el sexo con una significancia de 0.05, para esta prueba se utilizó el paquete estadístico R 2.11.1. La hipótesis estadística es:

H_0 : La calificación de vitalidad y el sexo son independientes.

El resultado de la prueba es el siguiente: $\chi^2 = 21.8742$, $df = 2$, $p\text{-value} = 1.779e-05$. Con este valor del $p\text{-value}$ podemos concluir que existe evidencia suficiente para rechazar la H_0 , por lo tanto concluimos que la calificación de vitalidad y el sexo no son independientes.

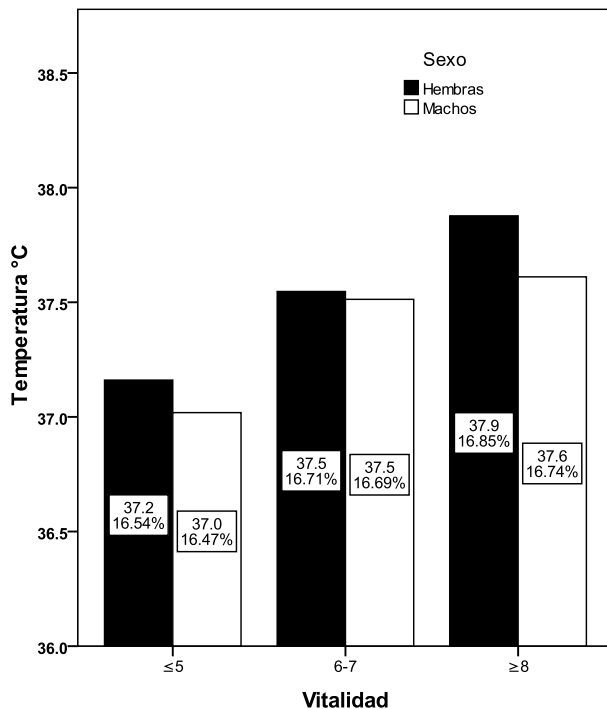
La forma en la que se comportan las variables medidas en el momento del nacimiento de acuerdo a la calificación de vitalidad y sexo están representadas en los gráficos siguientes:

Gráfico 1. Peso



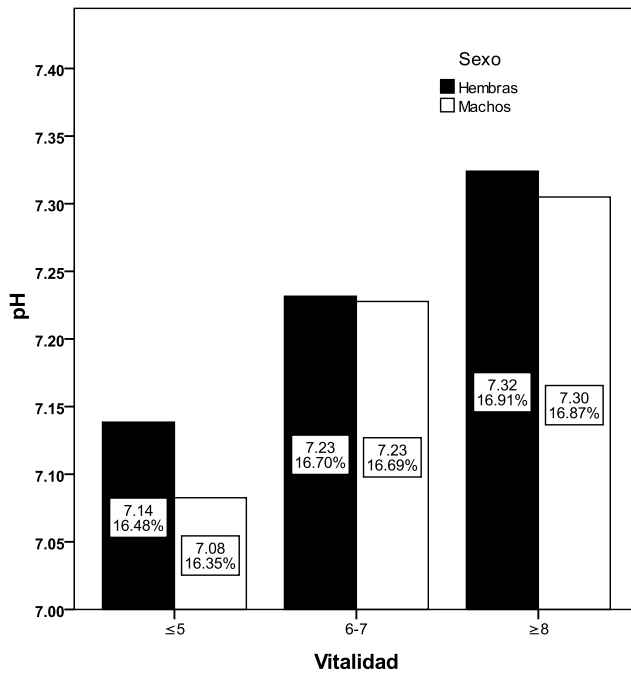
El gráfico 1 representa la media y la frecuencia acumulada representada en % de la variable peso dependiendo de la calificación de vitalidad de acuerdo al sexo, podemos notar que los lechones más pesados son lo que reprobaron la escala de vitalidad.

Gráfico 2. Temperatura



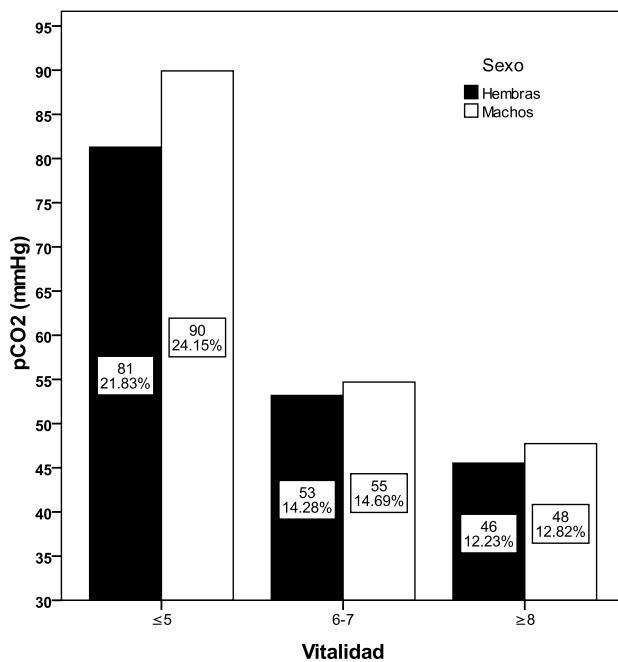
El gráfico 2 representa la variable temperatura. La media y la frecuencia acumulada representada en %, de acuerdo a la calificación de vitalidad dependiendo del sexo. Se observa que los lechones aprobados con ≥ 8 son los que tienen una temperatura más alta. Son los machos quienes presentan temperaturas más bajas en todas las categorías de la calificación de vitalidad.

Gráfico 3. pH



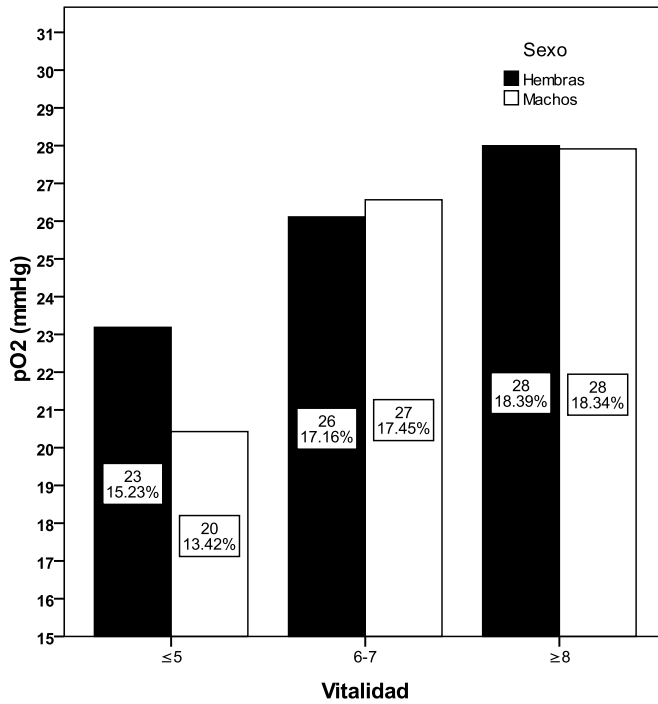
En el gráfico 3, es representada la variable pH; es la media y la frecuencia acumulada representada en % de acuerdo a la calificación de vitalidad dependiendo del sexo, se observa claramente que los lechones reprobados en la escala de vitalidad tienen el pH más bajo que el resto de las categorías de vitalidad.

Gráfico 4. pCO₂



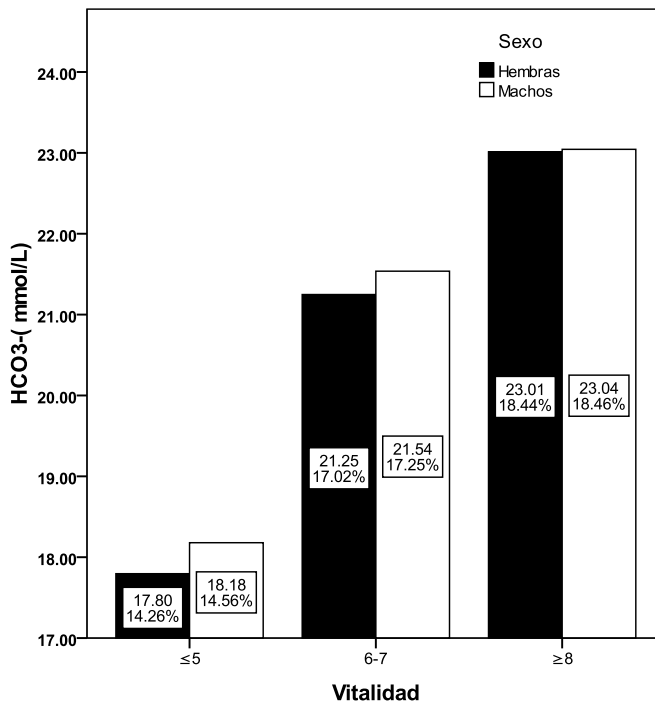
El gráfico 4 representa la frecuencia acumulada representada en % y la media de la variable pCO₂ de acuerdo al sexo y dependiendo de la calificación de vitalidad. Es notorio que los lechones reprobados tienen una considerable elevación de dióxido de carbono, donde los machos superan a las hembras.

Gráfico 5. pO₂



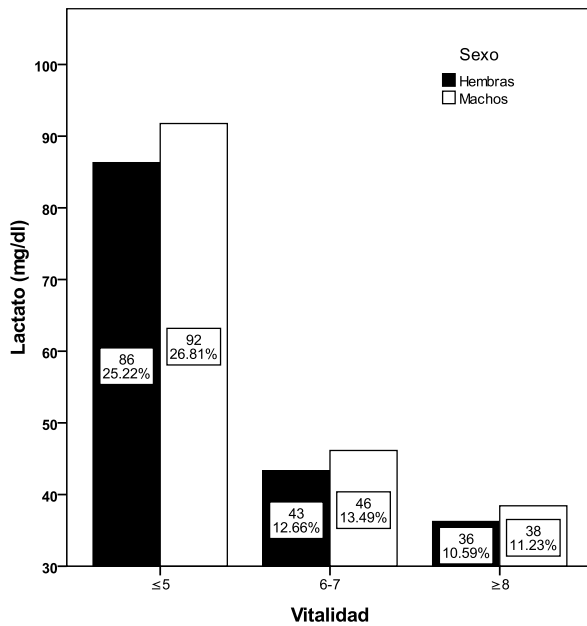
El gráfico 5, representa el grado de oxigenación que tienen los lechones respecto a la clasificación de vitalidad de acuerdo al sexo, es la media y la frecuencia acumulada en % las que se presenta. Son los lechones reprobados ≤ 5 quienes están menos oxigenados pero destacan más los machos por la falta de oxigenación.

Gráfico 6. HCO₃⁻



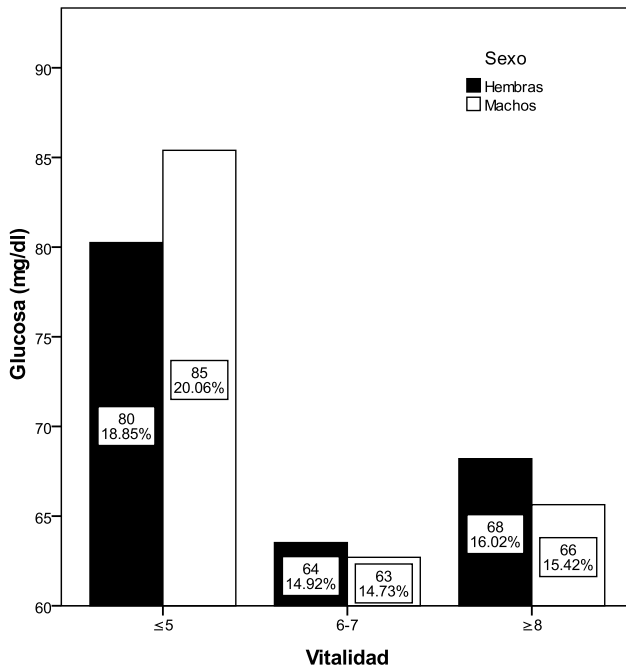
En el gráfico 6 está representada la variable bicarbonato (HCO₃⁻), la media y la frecuencia acumulada en % se presentan, es notorio que los lechones reprobados en la escala de vitalidad poseen un nivel muy bajo de bicarbonato en comparación.

Gráfico 7.Lactato



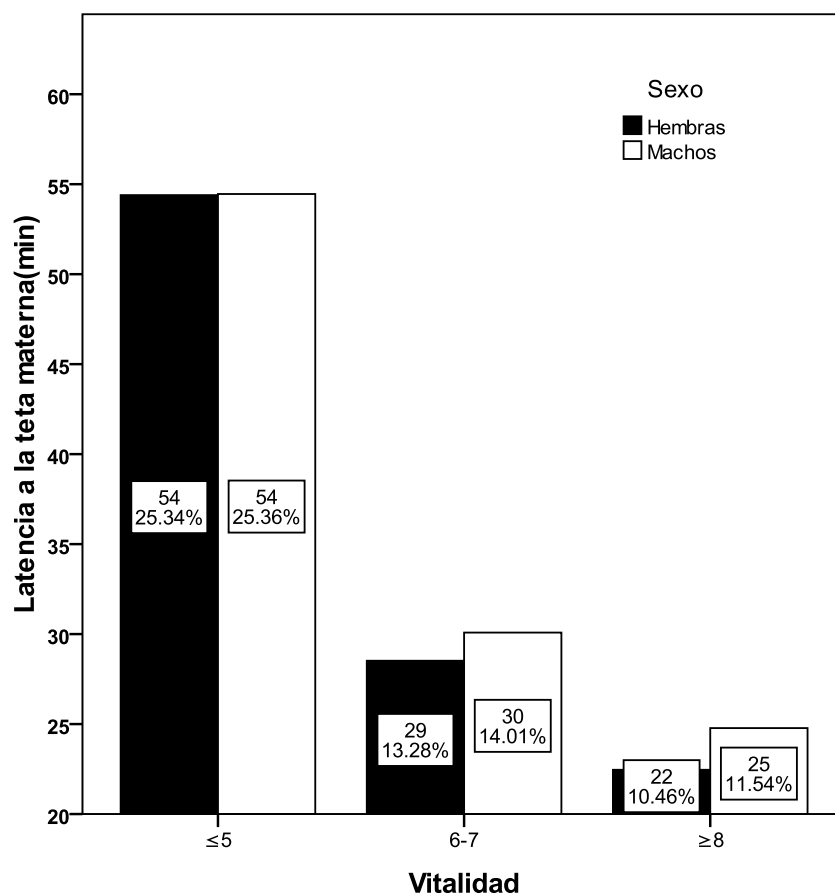
El gráfico 7 representa la variable lactato, media y frecuencia acumulada en % de acuerdo al sexo y dependiendo de la calificación de vitalidad, son los lechones que aprobaron la escala de vitalidad quienes poseen los niveles de lactato más estables en comparación de los lechones reprobados.

Gráfico 8.Glucosa



En el gráfico 8, está representada la variable glucosa, media y frecuencia acumulada en % de acuerdo al sexo y calificación de vitalidad; podemos notar que los lechones reprobados tienen una considerable elevación del nivel de glucosa que es más notable en los machos de dicho grupo.

Gráfico 9. Latencia



En el gráfico 9 se observa el tiempo que tardaron los lechones en conectar la teta materna de acuerdo al sexo y a la calificación de vitalidad obtenida. Se presenta la media y la frecuencia acumulada en %. Se distingue a simple vista que los lechones reprobados en la escala de vitalidad tardaron el doble de tiempo en conectar la teta materna en comparación de los lechones aprobados.

6.2. Diseño Experimental

Se analizó un modelo factorial 2x3 con diseño completamente al azar, en el cual el factor sexo tiene dos niveles (hembra y macho) y el factor calificación de vitalidad cuenta con tres niveles (calificación: ≤ 5 , 6-7, ≥ 8). El modelo estocástico propuesto para este conjunto de datos es:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : variable respuesta observada del k -ésimo lechón en el nivel i del factor sexo y en el nivel j del factor calificación de vitalidad.

μ : media general

α_i : efecto del sexo. $i= 1, 2$.

β_j : efecto del nivel j calificación de vitalidad. $j= 1, 2, 3$.

γ_{ij} : interacción entre los factores sexo*calificación de vitalidad

ε_{ijk} : error experimental del k -ésimo lechón con el nivel i del factor sexo y del nivel j del factor calificación de vitalidad.

El análisis se realizó con el programa estadístico JMP 8, con una significancia < 0.05 . Para encontrar diferencias entre el sexo, así como en la calificación de vitalidad, se realizó una prueba de Tukey con una significancia < 0.05 . Para el caso de la variable pH, por no tener una distribución normal, se realizó una transformación mediante el método Box & Cox, utilizando la mejor transformación según el paquete estadístico. Para todas las variables se comprobó el supuesto de normalidad y homoscedasticidad de los errores gráficamente en el paquete estadístico SPSS 17. Se observó en algunos modelos que no hay un ajuste de normalidad sin embargo, la prueba F de análisis de varianza es robusta ante la falta de normalidad. En algunas variables por falta de normalidad de los errores se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, como resultó significativa se realizó la comparación entre grupos con la técnica descrita por Siegel and Castellan (1988) y Conover, (1980) (ver anexo), para esta prueba se utilizó el paquete estadístico R 2.11.1.

7. RESULTADOS

El cuadro 2, contiene el *p-value* de cada variable respuesta con respecto al modelo propuesto; así como también el efecto de cada factor y la interacción de ambos factores en las variables.

Cuadro 2. Efecto de la Calificación de Vitalidad y Sexo

Variable	Modelo	Vitalidad	Sexo	Vitalidad * Sexo
Peso (g)	<.0001*	<.0001*	.0002*	.6202
Temperatura (°C)	<.0001*	<.0001*	.0010*	.0461*
pH	<.0001*	<.0001*	<.0001*	.2282
pCO ₂ (mmHg)	<.0001*	<.0001*	<.0001*	.0106*
pO ₂ (mmHg)	<.0001*	<.0001*	.0906	.0282*
HCO ₃ ⁻ (mmol/L)	<.0001*	<.0001*	.1911	.6728
Lactato(mg/dl)	<.0001*	<.0001*	.0016*	.5138
Glucosa(mg/dl)	<.0001*	<.0001*	.6810	.1115
Latencia a la teta(minutos)	<.0001*	<.0001*	.0571	.4633

*Estadísticamente significativo $p < 0.05$.

7.1. Peso (g)

Variable	Modelo	Vitalidad	Sexo	Vitalidad * Sexo
Peso (g)	<.0001*	<.0001*	.0002*	.6202

*Estadísticamente significativo $p < 0.05$.

En el peso de los lechones recién nacidos no hay interacción significativa, se encontró que la calificación de vitalidad así como el sexo tiene efecto en el peso. Se encontró que son significativamente diferentes las medias del peso de acuerdo a la calificación de vitalidad (Cuadro 3, Gráfico10); los lechones que obtuvieron una calificación menor que cinco, tienen un peso de 1589.59 gramos, mientras que los que obtuvieron una calificación entre 6-7 tienen un peso promedio de 1472.34 gramos. Por últimos los lechones menos pesados son los que tienen una calificación ≥ 8 y la media del peso es de 1393.52 gramos.

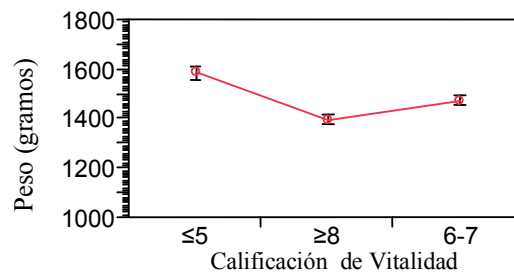
Cuadro 3. Media de Mínimos cuadrados del peso en los distintos niveles de la calif. de vitalidad.

Nivel	M.M.C
--------------	--------------

≤5	A	1586.44
≥8	B	1476.95
6-7	C	1398.32

Niveles no conectados por la misma letra son significativamente diferentes $p < 0.05$. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey.

Gráfico 10. Comportamiento de las medias del peso respecto a la calif. de vitalidad.



Se encontró que es estadísticamente diferente las medias del peso de acuerdo al sexo; los machos con una media de 1502.05 g. superior a la media de las hembras de 1428.58g (Gráfico 11).

Gráfico 11. Comportamiento de las medias del peso respecto al sexo.

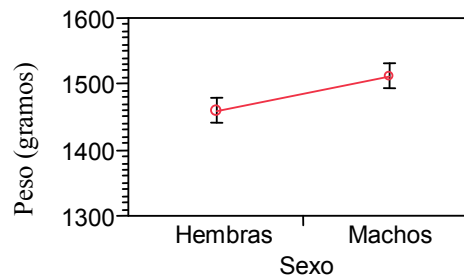
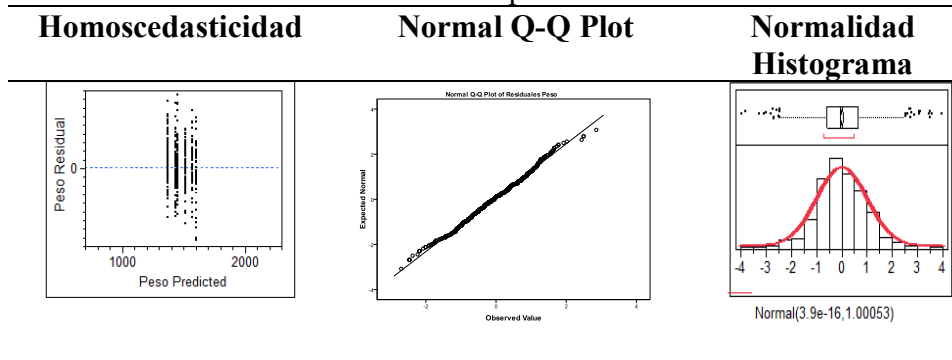


Gráfico 12. Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable peso.



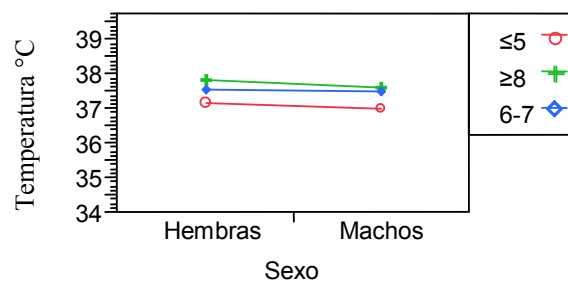
7.2. Temperatura (°C)

Variable	Modelo	Vitalidad	Sexo	Vitalidad * Sexo
Temperatura (°C)	<.0001*	<.0001*	.0010*	.0461*

*Estadísticamente significativo $p < 0.05$.

En el gráfico 13, se ilustra la interacción que se encontró entre sexo y calificación de vitalidad. Mientras que en el cuadro 4, podemos observar las distintas interacciones de acuerdo al sexo con la calificación de vitalidad de acuerdo a la variable dependiente (Temperatura); en dicho cuadro observamos que es la interacción entre hembras con la calificación de vitalidad ≥ 8 la que tienen mayor temperatura y es significativamente diferente al resto de las interacciones. Otra observación importante es que al disminuir la calificación de vitalidad en hembras como en machos su temperatura desciende.

Gráfico 13. Interacción entre los distintos niveles de los factores en la variable temperatura.



Cuadro 4. Interacción entre sexo y calif. de vitalidad, en la variable dependiente Temperatura

Nivel		M.M.C
≥8,Hembra	A	37.87
≥8,Machos	B	37.61
6-7,Hembra	B	37.54
6-7,Machos	B	37.51
≤5,Hembra	C	37.16
≤5,Machos	C	37.01

Niveles no conectados por la misma letra son significativamente diferentes $p < 0.05$. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey.

Fijando los niveles del factor sexo y calificación de vitalidad, encontramos lo siguiente:

Sexo Calificación de Vitalidad

Hembras: $(\geq 8) \neq (6-7) \neq (\leq 5)$

Machos: $(\geq 8 = 6-7) (\geq 8 \neq \leq 5) (6-7 \neq \leq 5)$

Calif. de vitalidad Sexo

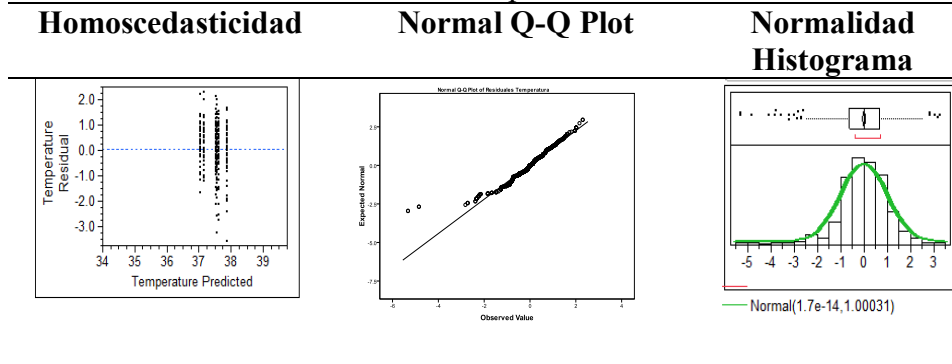
≤5: Hembras = Machos

6-7: Hembras = Machos

≥8: Hembras ≠ Machos

Una vez fijados los factores para la variable respuesta temperatura, se observa que las hembras son diferentes respecto a la calificación de vitalidad; mientras que los machos reprobados ≤5 son diferentes al resto de los grupos. Fijando el factor calificación de vitalidad podemos observar que sólo son diferentes los sexos en la calificación ≥8. Por lo tanto podemos deducir que los machos reprobados con una calificación ≤5 son los que tienen una temperatura más baja que el resto de los grupos. Mientras que las hembras aprobadas con ≥8 son quienes tienen una temperatura más alta.

Gráfico 14. Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable temperatura.



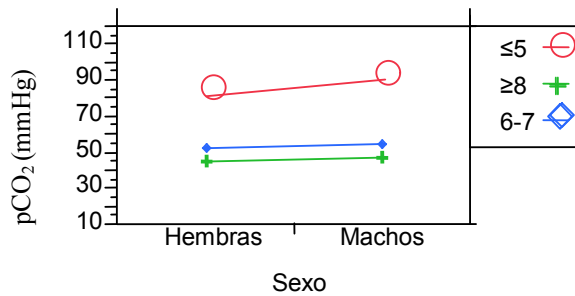
7.3. pCO_2 (mmHg)

Variable	Modelo	Vitalidad	Sexo	Vitalidad * Sexo
pCO_2 (mmHg)	<.0001*	<.0001*	<.0001*	.0106*

*Estadísticamente significativo $p < 0.05$.

En lo que respecta a la presión parcial de dióxido de carbono (pCO_2), se halló interacción significativa entre el sexo y la calificación de vitalidad, el comportamiento de las diferencias de medias están representadas en la gráfico 15. Son los machos con calif. ≤ 5 quienes tienen mayor índice de pCO_2 que resultan ser significativamente diferentes al resto de las diferentes combinaciones de niveles de los dos factores. Así mismo el nivel de la pCO_2 de las hembras con calif. ≤ 5 también reflejó ser significativamente diferente al resto de las interacciones, en las cuales no se encontró diferencias entre sexo de acuerdo a la calificación de vitalidad obtenida (Cuadro 5).

Gráfico 15. Interacción entre los distintos niveles de los factores en la variable pCO₂



Cuadro 5. Interacción entre sexo y calif. de vitalidad, en la variable dependiente pCO₂

Nivel		M.M.C
≤5,Machos	A	89.91
≤5,Hembra	B	81.28
6-7,Machos	C	54.69
6-7,Hembra	C	53.18
≥8,Machos	D	47.73
≥8,Hembra	D	45.52

Niveles no conectados por la misma letra son significativamente diferentes $p < 0.05$. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey.

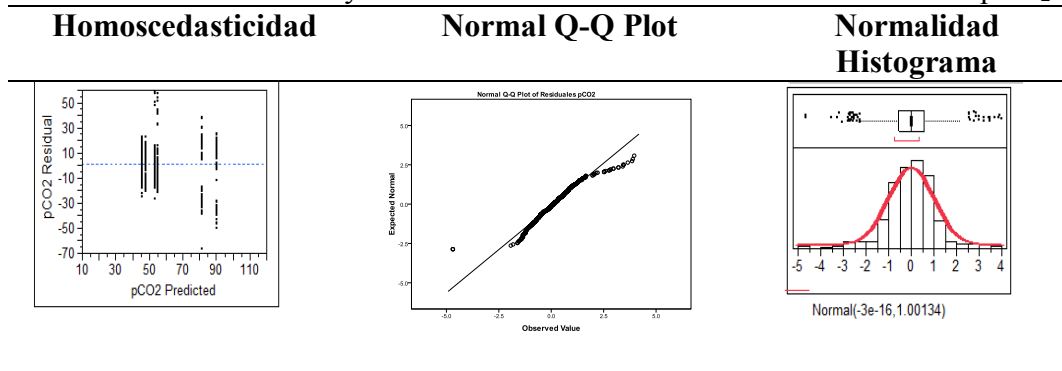
Fijando los niveles del factor sexo y calificación de vitalidad, encontramos lo siguiente:

Sexo	Calificación de Vitalidad
Hembras:	(≤5) ≠ (6-7) ≠ (≥8)
Machos:	(≤5) ≠ (6-7) ≠ (≥8)

Calif. de vitalidad	Sexo
≤5:	Machos ≠ Hembras
6-7:	Machos = Hembras
≥8:	Machos = Hembras

Fijado el factor sexo en la variable respuesta pCO₂, observamos que son diferentes las calificaciones de vitalidad en ambos sexos. Cuando se fija el factor calificación de vitalidad podemos apreciar que son diferentes los sexos en la calificación de vitalidad ≤5, son estos dos grupos quienes tienen incrementado los niveles de dióxido de carbono, más aún en los machos reprobados.

Gráfico 16. Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable pCO₂.



Debido a la falta de normalidad en los errores, se tomó la decisión de realizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Si el valor obtenido de la prueba de Kruskal-Wallis es significativo, se realizará la prueba de comparaciones múltiples entre los tratamientos.

Cuadro 6. Prueba de Kruskal-Wallis para pCO₂.

pCO ₂	$\chi^2 = 355.75, df = 5$	$p\text{-value} < 2.2e-16$	
Grupos	Dif. Observada	Dif. Crítica	Diferencia
I-II	274.784	118.285	TRUE
I-III	451.174	117.202	TRUE
I-IV	109.516	131.425	FALSE
I-V	267.302	123.217	TRUE
I-VI	398.008	122.419	TRUE
II-III	176.389	83.480	TRUE
II-IV	384.301	102.495	TRUE
II-V	7.482	91.734	FALSE
II-VI	123.223	90.659	TRUE
III-IV	560.690	101.242	TRUE
III-V	183.871	90.333	TRUE
III-VI	53.165	89.241	FALSE
IV-V	376.818	108.150	TRUE
IV-VI	507.525	107.239	TRUE
V-VI	130.706	97.007	TRUE

Grupos:

- I:** HEMBRAS ≤ 5
- II:** HEMBRAS 6-7
- III:** HEMBRAS ≥ 8
- IV:** MACHOS ≤ 5
- V:** MACHOS 6-7
- VI:** MACHOS ≥ 8

De acuerdo con los resultados del cuadro 6, y después de la prueba de Kruskal-Wallis, observamos que son diferentes las hembras entre sí, con respecto a la calificación de vitalidad obtenida, de la misma forma para los machos, son diferentes entre sí, de acuerdo a la calificación de vitalidad obtenida. Sin embargo comparando los sexos con la misma calificación de vitalidad resultaron ser diferentes.

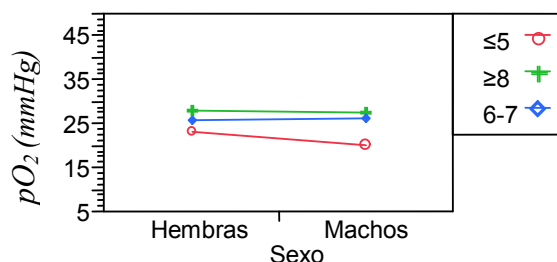
7.4. pO_2 (mmHg)

Variable	Modelo	Vitalidad	Sexo	Vitalidad * Sexo
pO_2 (mmHg)	<.0001*	<.0001*	.0906	.0282*

*Estadísticamente significativo $p < 0.05$.

La interacción que resultó significativa $p < .0001$ en la variable dependiente pO_2 es representada en el gráfico 17; así mismo en el cuadro 7 podemos observar las diferencias entre medias. En esta caso observamos que las hembras con calif. ≥ 8 , son las que mejor están oxigenadas y son diferentes con un p -value < 0.05 al resto de los niveles. Además se observa que tanto los machos como las hembras con una calificación < 0.05 , son quienes menos están oxigenados y son diferentes al resto de los niveles. Es necesario resaltar que los machos reprobados en la calificación de vitalidad son los menos oxigenados, dicho comportamiento se puede apreciar en la gráfico 17.

Gráfico 17. Interacción entre los distintos niveles de los factores en la variable pO_2 .



Cuadro 7. Interacción entre sexo y calif. de vitalidad, en la variable dependiente pO_2

Nivel			M.M.C
≥ 8 , Hembra	A		27.99
≥ 8 , Machos	A	B	27.91
6-7, Machos	A	B	26.56
6-7, Hembra		B	26.11
≤ 5 , Hembra		C	23.19
≤ 5 , Machos		C	20.44

Niveles no conectados por la misma letra son significativamente diferentes $p < 0.05$. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey.

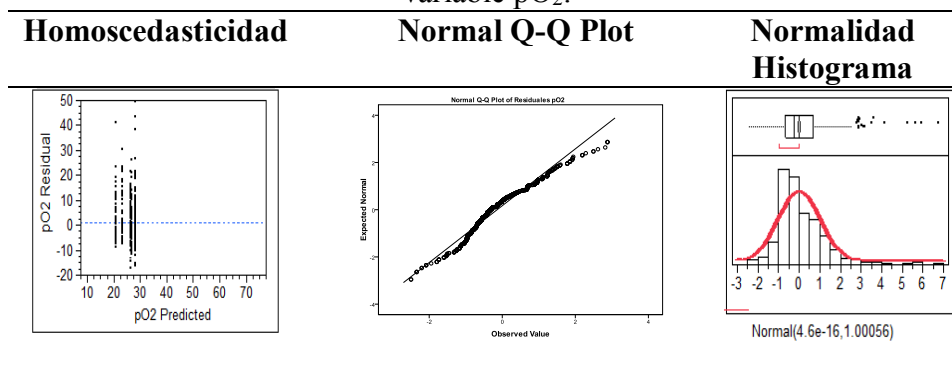
Fijando los niveles del factor sexo y calificación de vitalidad, observamos lo siguiente:

Sexo	Calificación de Vitalidad
Hembras:	$(\geq 8) \neq (6-7) \neq (\leq 5)$
Machos:	$(\geq 8 = 6-7) (\geq 8 \neq \leq 5) (6-7 \neq \leq 5)$

Calif. de vitalidad	Sexo
≤ 5 :	Hembras = Machos
6-7:	Hembras = Machos
≥ 8 :	Hembras = Machos

Cuando fijamos el factor sexo en la variable respuesta pO_2 , encontramos que son diferentes las calificaciones en las hembras; mientras que los machos con calificación menor a ≤ 5 son diferentes al resto de los grupos. Cuando se fija el factor calificación de vitalidad encontramos que ambos sexos son iguales en todos los niveles de dicho factor. Son las hembras y machos aprobados con ≥ 8 quienes tienen un nivel superior de pO_2 .

Gráfico 18. Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable pO_2 .



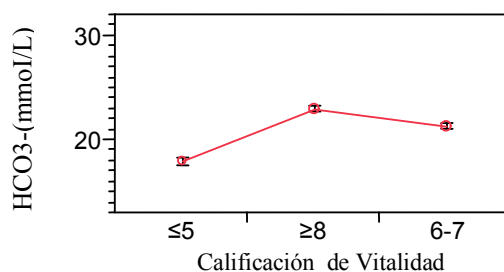
7.5. HCO_3^- (mmol/L)

Variable	Modelo	Vitalidad	Sexo	Vitalidad * Sexo
HCO_3^- (mmol/L)	<.0001*	<.0001*	.1911	.6728

*Estadísticamente significativo $p < 0.05$.

No se encontró evidencias estadística alguna para la interacción entre sexo y vitalidad en la variable dependiente bicarbonato (HCO_3^-); tampoco para el factor sexo se presentó diferencia estadística. Únicamente la calificación de vitalidad resultó ser significativa con $p\text{-value} < .0001$; en el cuadro 8, están representadas las diferencias entre niveles, en los que se halló diferencias con un $p\text{-value} < 0.05$. Son los lechones aprobados con una calif. ≥ 8 en la vitalidad los que tienen mayor índice de bicarbonato en sangre en el nacimiento.

Gráfico 19. Comportamiento de las medias de bicarbonato respecto a la calif. de vitalidad.

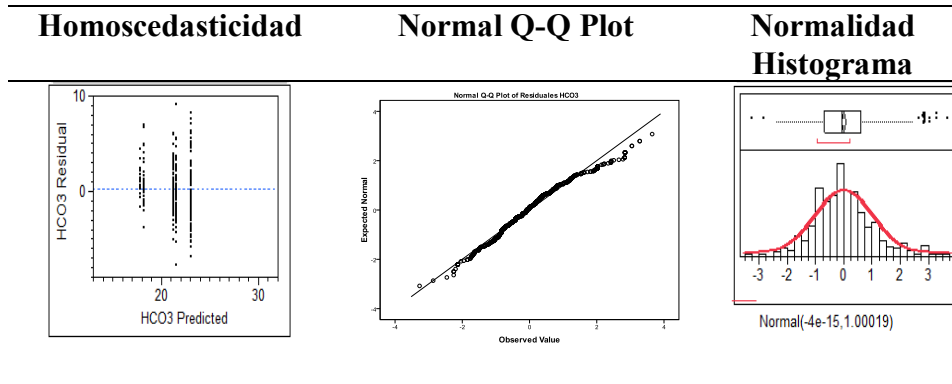


Cuadro 8. Media de Mínimos Cuadrados de HCO_3^- en los distintos niveles de la calif. de vitalidad.

Nivel		M.M.C
≥ 8	A	23.027981
6-7	B	21.392547
≤ 5	C	17.987627

Niveles no conectados por la misma letra son significativamente diferentes $p < 0.05$. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey.

Gráfico 20. Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable HCO₃⁻.



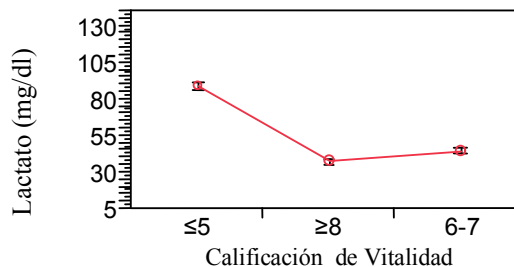
7.6. Lactato (mg/dl)

Variable	Modelo	Vitalidad	Sexo	Vitalidad * Sexo
Lactato(mg/dl)	<.0001*	<.0001*	.0016*	.5138

*Estadísticamente significativo $p < 0.05$.

No se encontró evidencia estadística para decir que existe interacción entre el sexo y la calificación de vitalidad sobre el lactato, sin embargo, la calificación de vitalidad obtuvo un p -value $< .0001$ y las medias de cada nivel reflejaron ser diferentes con un p -value $< .05$. Los lechones con calificación de vitalidad ≤ 5 son quienes presentan incrementado el nivel de lactato en sangre que está representados en la gráfico 21 y en el cuadro 9.

Gráfico 21. Comportamiento de las medias de lactato respecto a la calif. de vitalidad



Cuadro 9. Media de Mínimos Cuadrados de lactato en los distintos niveles de la calif. de vitalidad.

Nivel		M.M.C
≤5	A	89.03
6-7	B	44.73
≥8	C	37.33

Niveles no conectados por la misma letra son significativamente diferentes $p < 0.05$. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey.

En lo que concierne al efecto del sexo obtuvo un p -value de 0.0016, además se presentó evidencia estadística $p < 0.05$ para decir que son diferentes las medias; las hembras obtuvieron una media de 46.24mg/dl. y los machos de 54.84 mg/dl.

Gráfico 22. Comportamiento de las medias de lactato con respecto al sexo.

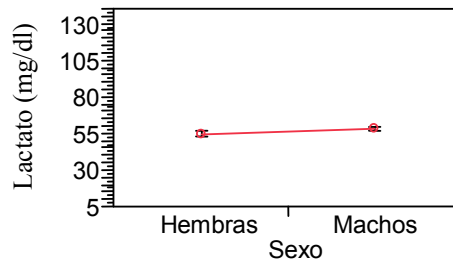
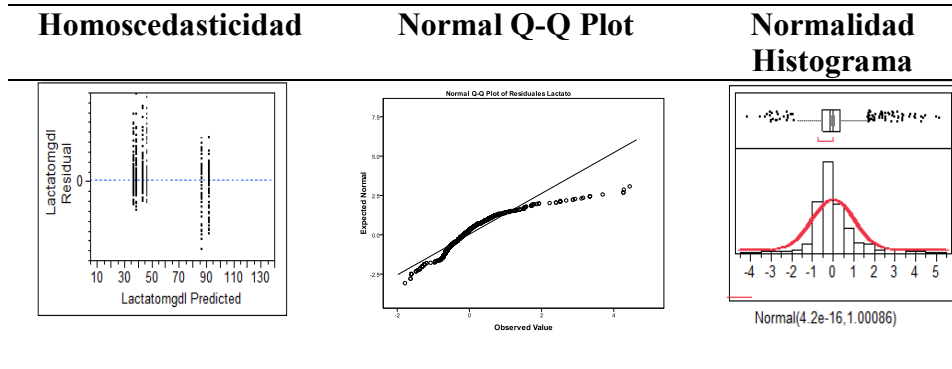


Gráfico 23. Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable lactato.



Como podemos apreciar en el Q-Q Plot, los errores no se distribuyen normales, por lo tanto se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para los grupos.

Cuadro 10. Prueba de Kruskal-Wallis para lactato.

Lactato	$\chi^2 = 439.6358, df = 5 \quad p\text{-value} < 2.2e-16$		
Grupos	Dif. Observada	Dif. Crítica	Diferencia
I-II	406.531	118.796	TRUE
I-III	517.405	117.659	TRUE
I-IV	59.318	131.643	FALSE
I-V	359.450	123.540	TRUE
I-VI	508.134	122.848	TRUE
II-III	110.875	83.281	TRUE
II-IV	465.848	102.087	TRUE
II-V	47.079	91.401	FALSE
II-VI	101.604	90.463	TRUE
III-IV	576.724	100.762	TRUE
III-V	157.955	89.919	TRUE
III-VI	9.271	88.965	FALSE
IV-V	418.769	107.571	TRUE
IV-VI	567.453	106.775	TRUE
V-VI	148.683	96.609	TRUE

Grupos:
I: HEMBRAS ≤ 5
II: HEMBRAS 6-7
III: HEMBRAS ≥ 8
IV: MACHOS ≤ 5
V: MACHOS 6-7
VI: MACHOS ≥ 8

Después de la prueba de Kruskal-Wallis que resultó significativa, se realizaron las comparaciones múltiples entre grupos, en las que podemos observar que no se presentaron diferencias entre sexos con la misma calificación de vitalidad. Sin embargo se presentaron diferencias entre grupos del mismo sexo con diferente calificación de vitalidad.

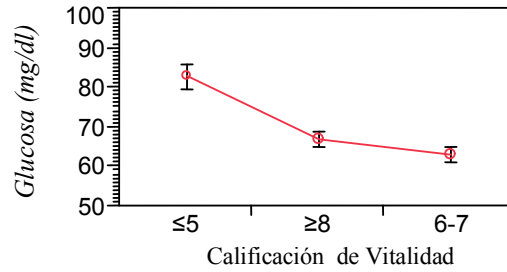
7.7. Glucosa (mg/dl)

Variable	Modelo	Vitalidad	Sexo	Vitalidad * Sexo
Glucosa(mg/dl)	<.0001*	<.0001*	.6810	.1115

*Estadísticamente significativo $p < 0.05$.

Sólo se encontró efecto de la calificación de vitalidad sobre la variable dependiente glucosa con un $p\text{-value} < .0001$, el comportamiento de las medias para cada nivel se ilustra en el gráfico 24; mientras que en el cuadro 11, observamos que los lechones con calificación ≤ 5 son quienes tienen un incremento en el nivel de glucosa en el parto.

Gráfico 24. Comportamiento de las medias de glucosa respecto a la calif. de vitalidad

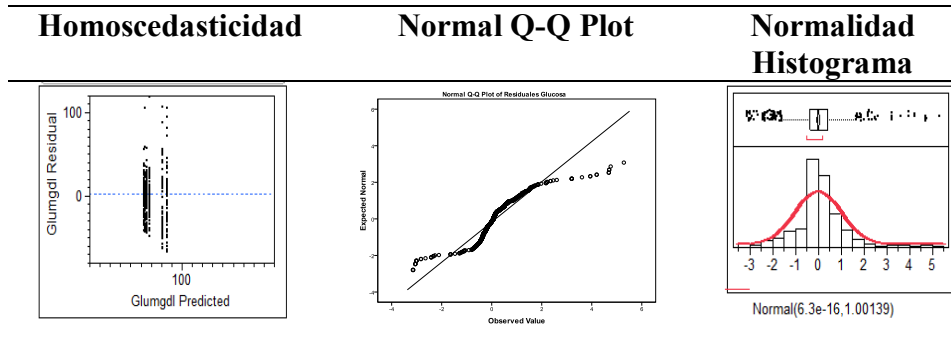


Cuadro 11. Media de Mínimos Cuadrados de glucosa en los distintos niveles de la calif. de vitalidad.

Nivel		M.M.C
≤5	A	82.82
≥8	B	66.91
6-7	C	63.11

Niveles no conectados por la misma letra son significativamente diferentes $p < 0.05$. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey.

Gráfico 25. Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable Glucosa.



Por la falta de normalidad de los errores en esta variable y que se aprecia en el gráfico Q-Q Plot se decidió aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Cuadro 12. Prueba de Kruskal-Wallis para Glucosa.

Glucosa	$\chi^2 = 71.9096, df = 5 \quad p\text{-value} = 4.102e-14$		
Grupos	Dif. Observada	Dif. Critica	Diferencia
I-II	143.419	118.180	TRUE
I-III	60.872	117.150	FALSE
I-IV	91.702	131.308	FALSE
I-V	180.333	123.108	TRUE
I-VI	105.270	122.310	FALSE
II-III	82.547	83.480	FALSE
II-IV	235.122	102.40	TRUE
II-V	36.913	91.653	FALSE
II-VI	38.149	90.579	FALSE
III-IV	152.574	101.214	TRUE
III-V	119.460	90.322	TRUE
III-VI	44.398	89.232	FALSE
IV-V	272.035	108.053	TRUE
IV-VI	196.972	107.144	TRUE
V-VI	75.062	96.920	FALSE

Grupos:
I: HEMBRAS ≤ 5
II: HEMBRAS 6-7
III: HEMBRAS ≥ 8
IV: MACHOS ≤ 5
V: MACHOS 6-7
VI: MACHOS ≥ 8

Como se aprecia en las comparaciones múltiples y después de la prueba que resultó significativa de Kruskal-Wallis, se observa que en las hembras sólo son diferentes los grupos con calificación ≤ 5 y 6-7. Mientras que para los machos no son diferentes los grupos con calificación de 6-7 y ≥ 8 . Si comparamos los sexos con la misma calificación de vitalidad encontramos que machos y hembras con calificación ≤ 5 nos son diferentes los mismo para hembras y machos con calificación ≥ 8 , pero machos y hembras con calificación de vitalidad de 6-7 son diferentes.

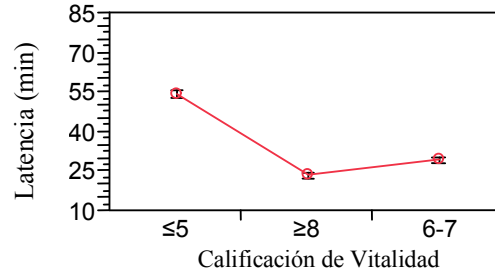
7.8. Latencia a la teta materna (minutos)

Variable	Modelo	Vitalidad	Sexo	Vitalidad * Sexo
Latencia a la teta _(minutos)	<.0001*	<.0001*	.0571	.4633

*Estadísticamente significativo $p < 0.05$.

Es la calificación de vitalidad la única que resultó significativa $p\text{-value} < .0001$ en la latencia a conectar la teta materna; podemos apreciar en el gráfico 26, que los lechones con calificación ≤ 5 tardaron más en conectar la teta materna con 54.42 minutos en promedio, que resultó ser diferente a los dos niveles restantes que están representados en el cuadro 13.

Gráfico 26. Comportamiento de las medias de la latencia a la teta materna respecto a la calif. de vitalidad.

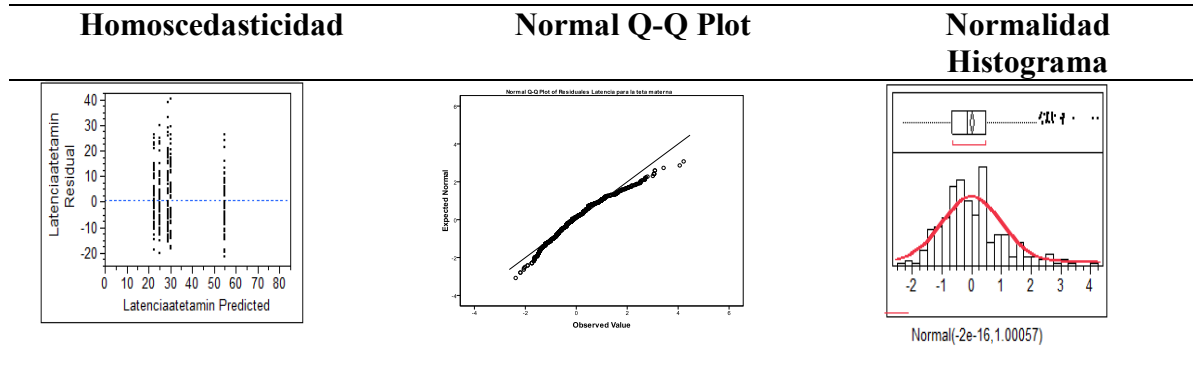


Cuadro 13. Media de Mínimos Cuadrados de la latencia al contacto con la teta materna en los distintos niveles en la calif. de vitalidad.

Nivel		M.M.C
≤5	A	54.42
6-7	B	29.30
≥8	C	23.61

Niveles no conectados por la misma letra son significativamente diferentes $p < 0.05$. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey.

Gráfico 27. Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable latencia a la teta materna.



7.9. pH transformado

Variable	Modelo	Vitalidad	Sexo	Vitalidad * Sexo
pH transformado	<.0001*	<.0001*	<.0001*	.2282

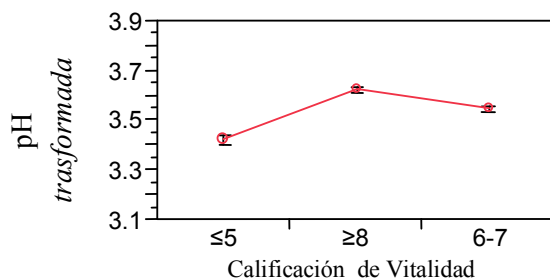
*Estadísticamente significativo $p < 0.05$.

La variable pH fue transformada por el método de Box & Cox por no cumplir con los supuestos de normalidad y homoscedasticidad, la formula fue la siguiente:

$$\frac{(pH^2 - 1)}{14.4881}$$

La calif. de vitalidad resulto significativo $p\text{-value} < .0001$ en la variable dependiente pH transformada mediante la técnica de Box & Cox; en el gráfico 28, podemos apreciar que los lechones reprobados en la calificación de vitalidad obtuvieron un pH transformado más bajo, mientras que los lechones que tienen una calificación superior a 8 el pH transformado es más alto, estas diferencias resultaron ser diferentes estadísticamente con un $p\text{-value} < 0.05$; estas diferencias la podemos observar en el cuadro 14.

Gráfico 28. Comportamiento de las medias del pH transformado respecto a la calif. de vitalidad.



Cuadro 14. Media de Mínimos Cuadrados del pH transformado en los distintos niveles de la calif. de vitalidad.

Nivel		M.M.C
≥8	A	3.65
6-7	B	3.54
≤5	C	3.42

Niveles no conectados por la misma letra son significativamente diferentes $p < 0.05$. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey.

Así mismo el sexo resulto con un $p\text{-value} < .0001$, por lo que dio pauta para examinar el comportamiento de los diferentes sexos. Se puede apreciar en el gráfico 29, que las hembras tienen un pH transformado de 3.57, mientras que los machos tienen un pH de 3.53.

Gráfico 29. Comportamiento de las medias del pH transformado respecto al sexo.

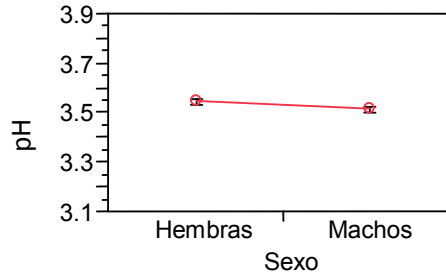
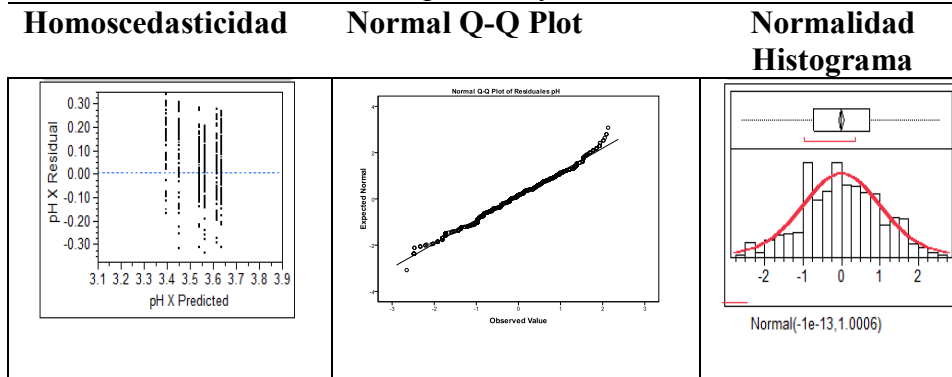


Gráfico 30. Normalidad y homoscedasticidad de los errores de la variable pH transformado.



Además de la transformación de la variable pH, también se decidió aplicar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para encontrar diferencias entre los grupos.

Cuadro 15. Prueba de Kruskal-Wallis para pH.

Ph	$\chi^2 = 262.31, df = 5$		$p\text{-value} < 2.2e-16$
Grupos	Dif. Observada	Dif. Critica	Diferencia
I-II	205.023	118.074	TRUE
I-III	354.036	116.993	TRUE
I-IV	133.193	131.190	TRUE
I-V	149.550	122.998	TRUE
I-VI	311.357	122.395	TRUE
II-III	149.013	83.331	TRUE
II-IV	338.216	102.312	TRUE
II-V	55.473	91.571	FALSE
II-VI	106.332	90.759	TRUE
III-IV	487.229	101.062	TRUE
III-V	204.486	90.172	TRUE
III-VI	42.681	89.347	FALSE
IV-V	282.743	107.957	TRUE
IV-VI	444.548	107.269	TRUE
V-VI	161.805	97.078	TRUE

Grupos:

I: HEMBRAS ≤ 5
II: HEMBRAS 6-7
III: HEMBRAS ≥ 8
IV: MACHOS ≤ 5
V: MACHOS 6-7
VI: MACHOS ≥ 8

Después de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis que resultó significativa, podemos valorar, que no hay diferencia entre los grupos de hembras y machos con calificación de 6-7, de la misma forma para los grupos de hembras y machos con calificación ≥ 8 . El resto de los grupos resultaron ser diferentes.

8. DISCUSIÓN

Un hecho importante que sobresalió, gracias al análisis estadístico, es que la vitalidad fijada como factor con tres niveles, resultó ser significativa en todas las variables dependientes, esta es una manera más de demostrar que la escala de vitalidad modificada para lechones es una herramienta útil para detectar aquellos lechones deprimidos en el momento del parto, basta observar que la variable dependiente peso se comporta de la misma forma que en estudios reportados previamente por Juárez *et al.*, 2010, la calificación de vitalidad es reprobatoria para lechones que superan los 1500 gramos. Mientras que la calificación de vitalidad aumenta siempre y cuando los lechones tengan un peso promedio de 1472.34 gramos. Por otra parte observamos que los machos en la especie porcina tiende a ser más pesados, es muy factible entonces que los machos por tener un peso promedio de 1502.05 gramos tiendan a obtener una calificación reprobatoria en la escala de vitalidad; mientras que las hembras con un peso promedio de 1428.58 gramos obtengan un calificación de vitalidad más satisfactoria; este hecho viene a confirmar lo que se reporta en diversos estudios de la perinatología humana, y en diversas especies, que son los machos quienes tienden a reprobador la escala de vitalidad.

En lo que concierne a la temperatura en el momento del nacimiento es notorio que las hembras con calificación de vitalidad superior a ocho tienen más elevada la temperatura. Este hallazgo puede ser atribuido al hecho de que las hembras maduran más rápido fisiológicamente, este hecho se comprueba dado que se repite el mismo patrón para cada calificación obtenida por las hembras, ya sea un calificación reprobatoria las hembras siguen teniendo más elevada la temperatura, aunque en algunos casos no se presentan diferencias en las medias de los distintos niveles.

Evaluar el perfil gasométrico de los lechones recién nacidos permite tener un panorama del grado de oxigenación que tiene cada lechón. Estos modelos de análisis de varianza nos permiten visualizar que los lechones machos reprobados en la escala de vitalidad son los que tienen un nivel superior de dióxido de carbono en sangre, indicador tajante del grado de acidosis respiratoria que poseen los lechones machos (89.91 mmHg) y las hembras (81.28 mmHg) reprobados en la escala de vitalidad, diferentes estadísticamente entre sí; los grupos restantes son iguales de acuerdo a la calificación obtenida, sin embargo los lechones machos y hembras aprobados con una calificación superior a 8 tienen menor grado de

saturación de dióxido de carbono en sangre; esto coincide clínicamente con el cuadro 4, donde observamos que los machos y hembras reprobados en la escala de vitalidad tienen menor grado de oxigenación en sangre además de ser diferentes estadísticamente al resto. Así mismo el pH *transformado* viene a corroborar lo mencionado antes sobre la acidosis respiratoria ya que en el cuadro 8 observamos que los lechones reprobados en la escala de vitalidad son los que tienen menor pH *transformado*, en comparación con el resto de los niveles los cuales tienen un pH *transformado* mejor, incluso son los machos quienes tienen un pH inferior con respecto al pH *transformado* de las hembras.

En lo que concierne a la respuesta del organismo de los lechones para enfrentar dicha acidosis, observamos que el bicarbonato (HCO_3^-) sustancia buffer, en los lechones reprobados en la escala de vitalidad es menor la concentración. Esto daría respuesta al descenso del pH *transformado*, debido a que no hay una sustancia que amortigüe la concentración de hidrogeniones producido por la acumulación de dióxido de carbono (pCO_2) y la disminución de (pO_2).

Un indicador de la presencia de acidosis metabólica es el lactato; con este indicador podemos decir que los lechones reprobados en la escala de vitalidad no sólo padecen de acidosis respiratoria sino también de una acidosis metabólica que juntas finalizan en una acidosis generalizada; el nivel de lactato en los lechones con una calificación de vitalidad menor a cinco es de 89.03mg/dl, que es lo doble del contenido de lactato en los lechones que aprobaron la escala de vitalidad. Son los machos con un incremento del 10% en el índice de lactato, lo que da pauta a sospechar del trastorno metabólico en el que se ven involucrados los machos por la falta de madurez de su organismo.

Medir el aporte energético a través de la glucosa, es necesario para poder obtener una referencia de la capacidad que tiene el lechón para hacer frente a cualquier obstáculo que se presente durante su adaptación a la vida extrauterina. Por estudios reportados previamente se sabe que los lechones que pasan por un proceso de asfixia tienden a liberar catecolaminas las que estimulan la liberación de glucógeno que finaliza en glucosa que aportará la energía necesaria para hacer frente a cualquier insulto contra el organismo, es por este motivo que los lechones que reprobaron la escala de vitalidad al tener que enfrentarse a la privación de oxígeno, tienen elevado el índice de glucosa en comparación a los lechones aprobados. El tiempo en el que tardan los lechones en conectar la teta materna

ha resultado ser un factor que determina las posibilidades de supervivencia del lechón, por lo tanto los lechones que tarden más en conectar la teta materna tardaran más en abastecerse de la energía e inmunidad que aporta el calostro, por lo tanto en este estudio son los lechones reprobados en la escala de vitalidad quienes tardaron más en conectar la teta materna, que es el doble del tiempo que tardan en conectar la teta materna un lechón aprobado en la escala de vitalidad.

9. CONCLUSIÓN

El análisis descriptivo de los datos, proporcionó una idea general de su comportamiento y saber cómo se conformaban los grupos de acuerdo a los dos factores (sexo, calificación de vitalidad), y también cada variable; así mismo nos permitió identificar que se trataba de un estudio desbalanceado. A partir de esa visión general se concluyó analizar los datos mediante un modelo factorial 2x3 con diseño completamente al azar, el cual nos permitió encontrar interacción entre el sexo y la calificación de vitalidad en cada variable respuesta. El modelo factorial permitió identificar que la vitalidad como factor, tiene efecto en todas las variables respuesta, mientras que el sexo como factor tiene efecto en la mitad de las variables respuesta; es importante mencionar que sólo resultaron tres interacciones significativas. Por otra parte, cabe destacar que la variable pH no cumplía con los supuestos de normalidad y homoscedasticidad de los errores por lo que se aplicó una transformación con el método Box & Cox con la cual se acercó a la forma normal y homoscedasticidad de los errores. La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis resultó ser una opción para identificar cuál grupo es diferente de acuerdo al sexo y calificación de vitalidad, al faltar la normalidad en las variables. Por lo tanto se concluye que el análisis estadístico aplicado a esta base de datos fue importante por encontrar que la evaluación de la vitalidad en los lechones es una prueba útil y que se debe considerar su uso, en las granjas porcinas.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Apgar V. 1953. A proposal for a new method of evaluation of newborn infant. *Anesth Analg.*; 32: 260-8.
2. Baxter, E.M., Jarvis, S., D'Eath, R.B., Ross, D.W., Robson, S.K., Farish, M., Nevison, I.M., Lawrence, A.B., Edwards, S.A., 2008. Investigating the behavioural and physiological indicators of neonatal survival in pigs. *Theriogenology*. 69 (6), 773-783.
3. Baxter Emma M., Susan Jarvis, Lorna Sherwood, Sheena K. Robson, Elisabeth Ormandy, Marianne Farish, Kathleen M. Smurthwaite, Rainer Roehe, Alistair B. Lawrence and Sandra A. Edwards. 2009. Indicators of piglet survival in an outdoor farrowing system. Indicators of piglet survival in an outdoor farrowing system. *Livestock Science*. 124 (1-3), 266-276.
4. Carey M.A., Card J.W., Voltz J.W., Germolec D.R., Korach K.S., Zeldin DC. 2007. The impact of sex and sex hormones on lung physiology and disease: lessons from animal studies. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. 293(2):L272-L278.
5. Conover, W. J. (1980), "*Practical Nonparametric Statistics*", New York: John Wiley & Sons. Second Edition. pp 123.
6. Dammann CE, Ramadurai SM, McCants DD, Pham LD, Nielsen HC. 2000. Androgen regulation of signaling pathways in late fetal mouse lung development. *Endocrinology*. 141(8):2923-2929.
7. De Roth L, Downie HG. 1976. Evaluation of viability of neonatal swine. *Can Vet J*. 17: 275-279.
8. Kovar J., Waddell B.J., Sly PD., Willet K.E. 2001. Sex differences in response to steroids in preterm sheep lungs are not explained by glucocorticoid receptor number or binding affinity. *Pediatr Pulmonol*. 32(1):8-13.
9. Kuehl, R. O. 2001. "*Diseño de Experimentos: Principios Estadísticos de Diseño y Análisis de Investigación*". 2ª ed. Thomson Learning. México.
10. Loidl CF, Gavilanes AW, Van Dijk EH, Vreuls W, Blokland A, Vles JS, et al. 2000. Effects of hypothermia and gender on survival and behavior after perinatal asphyxia in rats. *Physiol Behav.*; 68: 263-269.
11. McMillan EM, King GM, Adamson IY. 1989. Sex hormones influence growth and surfactant production in fetal lung explants. *Exp Lung Res*. 15(2):167-179.
12. Montgomery, D, C. 2002. "*Diseño y Análisis de Experimentos*". 3a ed. Limusa. México.
13. Montgomery, DC, Peck, EA and Vining, GG. 2002. "Introduction to Linear Regression Analysis", New Jersey: John Wiley & Sons.
14. Mota-Rojas, D., Martínez-Burnes, J., Trujillo, O.M.E., López, M.A., Rosales, T.A.M., Ramírez, N.R., Orozco, G.H., Merino, P.A., Alonso-Spilsbury, M., 2005. Uterine and fetal

- asphyxia monitoring in parturient sows treated with oxytocin. *Anim. Reprod. Sci.* 86 (1-2), 131-141.
15. Patel Daksha, Zdzislaw H. Piotrowski, Merwyn R. Nelson and Robert Sabich. 2001. Effect of a Statewide Neonatal Resuscitation Training Program on Apgar Scores Among High-Risk Neonates in Illinois. *Pediatrics*. 107(4); 648-655
 16. Patel Daksha, Zdzislaw H. Piotrowski, 2002. Positive Changes Among Very Low Birth Weight Infant Apgar Scores That are Associated With the Neonatal Resuscitation Program in Illinois. *Journal of Perinatology*. 22:386 – 390.
 17. Randall G. C. B. 1971. The Relationship of Arterial Blood pH and PCO₂ to the Viability of the Newborn Piglet. *Can J Comp Med*. 35(2): 141–146.
 18. Schulz J, Plischke B, Braun H. 1997. Suckling and drinking behaviour as criteria of vitality in newborn calves. *Tierarztl Prax*. 25(2): 116–122.
 19. Siegel and Castellan (1988) “*Non parametric statistics for the behavioural sciences*”. MacGraw Hill Int., New York. pp 213-214
 20. Stanton, H. C., and J. K. Carroll. 1974. Potential mechanisms responsible for prenatal and perinatal mortality or low viability of swine. *J. Anim. Sci.* 38: 1037-1044.
 21. Torday JS, Nielsen HC. 1987. The sex difference in fetal lung surfactant production. *Exp Lung Res*. 12 (1):1-19.
 22. Trujillo-Ortega, M.E., Mota-Rojas, D., Olmos-Hernández, A., Alonso-Spilsbury, M., González, M., Orozco, H., Ramírez-Necoechea, R. and Nava-Ocampo, A., 2007. A study of piglets born by spontaneous parturition under uncontrolled conditions: could this be a naturalistic model for the study of intrapartum asphyxia? *Acta Biomed*. 78 (1), 29-35.
 23. Wittenburg D. , V. Guiard , Teuscher F. , N. Reinsch .2010. Analysis of birth weight variability in pigs with respect to liveborn and total born offspring. *J Anim Breed Genet*. 128(1):35-43.
 24. Veronesi M.C., S. Panzani, M. Faustini and A. Rota. 2009. An Apgar scoring system for routine assessment of newborn puppy viability and short-term survival prognosis. *Theriogenology*. 72(3), 401-407.
 25. Zaleski, H.M., Hacker, R.R., 1993. Comparison of viability scoring and blood gas analysis as measures of piglet viability. *Can. J. Anim. Sci.* 73, 649–653.

Anexo 1.

Prueba de Kruskal-Wallis.

(Siegel and Castellan, 1988)

La prueba de Kruskal-Wallis es una extensión de la prueba de Mann-Whitney para más de dos muestras independientes. Esta prueba es una alternativa para el análisis de varianza de una vía. Además es una herramienta extremadamente útil para decidir si k muestras independientes provienen de diferentes poblaciones. Los valores de la muestra a menudo difieren un poco, entonces la pregunta es si las diferencias entre las muestras signifiquen diferencias genuinas de población o simples variaciones aleatorias, semejantes a las esperadas entre distintas muestras aleatorias de la misma población. En la técnica de Kruskal-Wallis se examina la hipótesis de nulidad que supone que las k muestras proceden de la misma población o de poblaciones idénticas con respecto a los promedios. Para especificar la hipótesis de nulidad y la alternativa explícitamente, θ_j es el promedio de la población para el j ésimo grupo o muestra. Entonces escribiríamos la hipótesis nula mencionando que los promedios son iguales como $H_0: \theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_k$ y la hipótesis alternativa puede ser escrita como $H_1: \theta_i \neq \theta_j$ para cada grupo i y j . Si resulta la hipótesis alternativa verdadera, entonces al menos un par de grupos son diferentes.

Fundamento y método.

Al calcular la prueba de Kruskal-Wallis, cada una de las N observaciones es reemplazada por rangos. Estos es, todos los puntajes de las k muestras combinadas se ordenan en una sola serie. El puntaje más pequeño es reemplazado por el rango 1, el siguiente en tamaño por el rango 2 y el más grande por el rango N . N es el número total de observaciones independientes en las k muestras.

Cuando se ha hecho esto, se encuentra la suma de los rangos de cada muestra (columna). La prueba de Kruskal-Wallis determina si la desigualdad entre las sumas de rango es tan grande que probablemente no proceden de muestras tomadas de la misma población.

Puede demostrarse que si las k muestras efectivamente proceden de la misma población o de poblaciones idénticas, es decir, si H_0 es verdadera, H (la estadística usada en la prueba de Kruskal-Wallis y definida por la formula [1.1] que se da enseguida) está distribuida

como chi cuadrada con $g^l=k-1$, siempre que los tamaños de las diferentes k muestras no sean demasiado pequeñas.

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1) \quad 1.1$$

Donde:

k = número de muestras

n_j = número de casos en la muestra de orden j

$N = \sum n_j$, el número de casos de todas las muestras combinadas

R_j = suma de rangos en la muestra de orden j

$\sum_{j=1}^k$ = indica sumar la k muestras (columnas)

Esta distribución se distribuye aproximadamente como chi cuadrada con $g^l=k-1$, para tamaños muestrales (n_j) suficientemente grande. Cuando hay más de 5 casos en los diversos grupos, esto es, $n_j > 5$, la probabilidad asociada con la ocurrencia conforme a H_0 de valores tan grandes como el de una H observada, puede determinarse en la tabla de valores críticos de chi cuadrada. Si el valor observado de H es igual o mayor que el valor de chi cuadrada dado en la tabla de valores críticos de chi cuadrada en el nivel de significación fijado previamente y para el valor observado de $g^l=k-1$, H_0 puede rechazarse en ese nivel de significación.

Múltiple comparación entre tratamientos.

Cuando el valor obtenido de la prueba de Kruskal-Wallis es significativo, esto indica que al menos uno de los grupos es diferente de uno de los otros grupos restantes. La prueba de hipótesis es $H_0: \theta_u = \theta_v$ contra la hipótesis $H_1: \theta_u \neq \theta_v$ para algún grupo u y v . Esto es un procedimiento para determinar cuál par de grupos es diferente. Empezamos por obtener la diferencia: $|\bar{R}_u - \bar{R}_v|$ para todos los pares de grupos. Cuando el tamaño de la muestra es grande esas diferencias son aproximadamente normalmente distribuidas. Supongamos que la hipótesis de no diferencia entre k grupos fue probado y rechazado al nivel de significancia α . Podemos comprobar las diferencias mediante el uso de la siguiente desigualdad. Si

$$|\bar{R}_u - \bar{R}_v| \geq Z_{\alpha/k(k-1)} \sqrt{\frac{N(N+1)}{12} \left(\frac{1}{nu} + \frac{1}{nv} \right)}$$

entonces rechazamos la hipótesis $H_0: \theta_u = \theta_v$ y concluimos que $\theta_u \neq \theta_v$.

Anexo 2.

Transformación de y . (Montgomery *et al.*, 2002)

Si bien en muchos casos las transformaciones se seleccionan en forma empírica, se pueden aplicar técnicas más formales y objetivas para ayudar a especificar una transformación adecuada.

Transformación de y : el método de Box-Cox. Supóngase que se debe transformar y para corregir la no normalidad y/o la varianza constante. Una clase útil de transformaciones es la **transformación de potencia** y^λ , donde λ es un parámetro que se debe determinar. Por ejemplo $\lambda=1/2$ quiere decir usar y como respuesta. Box and Cox (1964) indican, cómo se pueden estimar en forma simultánea los parámetros del modelo de regresión y λ , con el método de máxima verosimilitud.

Al imaginarse la transformación de potencia y^λ surge una dificultad cuando $\lambda=0$: cuando λ tiende a cero, y^λ tiende a la unidad. Es obvio que es un problema, porque no tiene sentido tener todos los valores de respuesta iguales a uno. Un método para resolver esta dificultad (lo llamaremos discontinuidad en $\lambda=0$) es usar $(y^\lambda-1)/\lambda$ como variables de respuesta. Con esto se resuelve el problema de discontinuidad, porque cuando λ tiende a cero $(y^\lambda-1)/\lambda$ tiende al límite $\ln y$. Sin embargo, sigue habiendo un problema, porque cuando cambia λ , los valores de $(y^\lambda-1)/\lambda$ cambian en forma dramática, por lo que sería difícil comparar los estadísticos de resumen de modelos con distintos valores de λ .

El procedimiento consiste en realizar un ajuste estándar de mínimos cuadrados utilizando:

$$y^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{y^\lambda - 1}{\lambda y^{\lambda-1}}, & \lambda \neq 0 \\ \dot{y} \ln y, & \lambda = 0 \end{cases} \quad (1)$$

en las que $\dot{y} = \ln^{-1}[(1/n) \sum_{i=1}^n \ln y_i]$ es el promedio geométrico de las observaciones, y ajustar el modelo

$$y^{(\lambda)} = \mathbf{X}\beta + \varepsilon$$

por mínimos cuadrados (o por máxima verosimilitud). Sucede que el divisor $\dot{y}^{\lambda-1}$ se relaciona con el jacobiano de la transformación que convierte la variable de respuesta y en

$y^{(\lambda)}$. Es de hecho, un factor de escala que asegura que las sumas de cuadrados de residuales sean comparables para modelos con distintos valores de λ .

El estimado de λ por máxima verosimilitud corresponde al valor de λ para el cual es mínima la suma de cuadrados de residuales del modelo ajustado, $SS_{Res}(\lambda)$. Este valor de λ se suele determinar ajustando un modelo a $y^{(\lambda)}$ para diversos valores de λ , graficando la suma de cuadrados de residuales $SS_{Res}(\lambda)$ en función de λ y viendo el valor de λ que minimiza $SS_{Res}(\lambda)$ en la gráfica. En general, son suficientes de 10 a 20 valores de λ para estimar el valor óptimo. Se puede hacer una segunda iteración con una malla más fina si se desea. Como se vio arriba no se puede seleccionar λ sólo comparando en forma directa las sumas de cuadrados de residuales de las regresiones de y^λ respecto a x , porque cada λ , la suma de cuadrados de residuales se mide en una escala distinta. La ecuación (1) escala las respuestas de tal modo que las sumas de cuadrados de residuales se pueden comparar en forma directa. Se recomienda al analista usar valores sencillos de λ , porque es probable que la diferencia práctica en los ajustes para $\lambda=0.5$ y $\lambda=0.596$ sea pequeña, pero es más fácil interpretar el primer valor. Una vez seleccionado el valor de λ , el analista queda libre para ajustar el modelo usando a y^λ como variable de respuesta. Es totalmente admisible usar $y^{(\lambda)}$ como respuesta para todo el modelo final; este modelo tendrá una escala diferente y un origen trasladado en comparación del que usa y^λ (o que usa $\ln y$). La mayor parte de los científicos prefieren usar $y^{(\lambda)}$. También se puede determinar un intervalo de confianza aproximado para el parámetro de transformación λ . Este intervalo de confianza puede servir para seleccionar el valor definitivo de λ que puede ser encontrado por computadora.

$$SS^* = SS_{Res}(\lambda) \left(1 + \frac{t^2}{v} \right)$$

donde v es la cantidad de grados de libertad de los residuales ($v=n-2$ por regresión lineal simple) y viendo los correspondientes límites de confianza sobre λ de la gráfica. Si estos intervalos de confianza incluyen el valor $\lambda=1$, esto sugiere que la transformación no es necesaria.