

Revisión cuantitativa preliminar de la bibliografía sobre el aturrido eléctrico en el sacrificio del pollo de carne

Blasco, F.¹; Averós, X.²; Gosálvez, L.F.¹

¹Dpto Producció Animal. Av. Rovira Roure 198. 25198-Lleida, España

²Dpto Producción Animal. Neiker-Tecnalia, Campus Agroalimentario Arkaute s/n. 01080-Vitoria-Gasteiz, España

Resumen:

Las condiciones de aturdimiento del pollo de carne son importantes económicamente para el Sector. Creemos de interés ofrecer información al debate aparecido a partir del Reglamento (CE) N° 1099/09 relativo a la protección de los animales en el momento de la matanza. Para ello hemos realizado un primer análisis cuantitativo de la bibliografía existente al respecto, realizando para ello una búsqueda exhaustiva mediante las bases de datos *Scopus* e *ISI Web of Knowledge*. Hemos seleccionado 41 relacionadas con el aturdimiento eléctrico, y hemos construido una base de datos, codificando detalladamente la información de cada uno de los tratamientos experimentales de cada estudio. Con dicha información hemos calculado regresiones entre las variables de la corriente eléctrica y sus distintos efectos sobre los pollos. Hemos observado que la desconexión del sistema nervioso central, base del aturdimiento, está más relacionada con la frecuencia que con la intensidad y voltaje de la corriente aplicada. En cambio, la intensidad y el voltaje guardan cierta relación directa con las lesiones producidas, principalmente vasculares. Como conclusión de esta primera aproximación, parece resultar plausible profundizar en el análisis cuantitativo de los sistemas de aturrido en pollo de carne mediante el estudio conjunto del efecto de las características de la corriente y sus interacciones sobre distintos indicadores de bienestar en el sacrificio, análisis que resultaría sin duda del máximo interés desde el punto de vista técnico.

Summary:

Stunning conditions of broilers are basic for the industry from an economic point of view. Therefore, we believe that any information contributing to the debate around the Council Regulation (EC) No 1099/09 on the protection of animals at killing is relevant. We have carried out a preliminary, quantitative analysis of the existing literature on this issue. We have performed a thorough bibliography search by means of *Scopus* and *ISI Web of Knowledge* databases. We have selected 41 scientific publications related to the electrical stunning, and we have built a database carefully codifying the information for each experimental treatment from each study. With the obtained information we have calculated regressions between the electric current variables and their effects on broilers. We have observed that disconnection of the central nervous system is more related to the frequency of the current than to intensity and voltage. Intensity and voltage are nevertheless related to lesions, mainly vascular lesions. To conclude this first approach, a deeper quantitative analysis of the broiler stunning methods, through the joint analysis of current characteristics and their interactions on different welfare indicators at slaughter, seems plausible. This analysis would undoubtedly be a highly significant contribution from the technical perspective.

Introducción:

En la mentalidad de la sociedad, según avanzaba el siglo XX, han ido creciendo y arraigando de manera gradual una serie de compromisos con cuestiones éticas relacionadas con la actitud humana hacia los animales. Un ejemplo singular de esta evolución social lo vemos en el compromiso de la sociedad en la búsqueda de la forma de dar una muerte lo más indolora y digna posible a los animales que se sacrifican.

En España, antes del ingreso en la U.E., ya existía esta inquietud social, como se observa en el R.D. 3262/1976. Desde dicho ingreso, y ya derivada de nuestra pertenencia a la U.E., ha sido diversa la legislación que complementa y limita los procesos de sacrificio del animal. La última, el Reglamento (CE) N° 1099/09, hoy en día en vigor. Este Reglamento marca en su Anexo I, Capítulo I, los diferentes métodos de aturdimiento permitidos para las aves de corral:

- Métodos mecánicos: trituración (polluelo de hasta 72 h y huevos embrionados), dislocación cervical y golpe contundente en la cabeza.
- Métodos eléctricos: aturdimiento eléctrico limitado a la cabeza, aturdimiento por electrocución de cabeza-tronco y baño de agua eléctrico.
- Métodos de gas: dióxido de carbono en concentraciones altas (excepto patos y gansos), dióxido de carbono en dos fases, dióxido de carbono asociado con gases inertes, gases inertes, monóxido de carbono (fuente pura) y monóxido de carbono asociado a otros gases.

El aturdimiento busca la inconsciencia del animal, consiguiendo su inmovilización e insensibilización, en el momento de su muerte por desangrado. De todos los métodos permitidos, aquellos empleados de manera generalizada en el sacrificio de pollo de engorde son el aturdimiento por gases y el eléctrico, este último plenamente generalizado en España.

El equipo de aturdimiento eléctrico, que es bastante sencillo de manejo, adaptable a la cadena y barato, se basa en hacer pasar por el sistema nervioso central (SNC) de los pollos una corriente eléctrica, cuyas características ocasionen el fallo cerebral (estado epiléptico), pero nunca una fibrilación ventricular en el corazón, lo que supondría la muerte por electrocución, y la indeseada pérdida económica asociada.

A la hora de elegir las características de la corriente eléctrica para el aturdimiento es necesario tener en cuenta varias cuestiones, desde la inmovilización de los pollos sin inducirles insensibilidad hasta la posibilidad de inducción de lesiones físicas de todo tipo e incluso, como se ha mencionado anteriormente, la electrocución. Por ello es muy importante seleccionar adecuadamente las características de la corriente eléctrica empleada para el aturdimiento de pollos, cuyos valores oscilan en unos intervalos, según el tipo de corriente (Continua; Alterna) para el voltaje (100v; 40-220v); para la intensidad (120mA; 20-400mA); para el tiempo (4s; 1-12s); y en corriente alterna, además, para la frecuencia (400Hz; 50-1500Hz).

Al elegir las características de la corriente más adecuadas en cada caso, si es por aplicación directa en cabeza, el Reglamento marca que deberán aplicarse más de 240mA; si el aturdimiento es en baño de agua deberá seguirse, durante más de 4 segundos, una relación de la corriente eléctrica entre frecuencia e intensidad, como sigue: > 200Hz - 100mA; 200 a 400Hz - 150mA; 400 a 1500Hz - 200mA. Paralelamente, es necesario considerar la adecuación a los parámetros biológicos del animal (tamaño, peso, sexo, plumas, conductividad, etc.).

Un asunto bien distinto es la discusión sobre los parámetros más adecuados para precisar el nivel correcto de aturdimiento, que realizado en correctas condiciones no debería permitir volver al pollo a su capacidad normal hasta pasados 60-90 segundos. Para su determinación se utilizan variables muy básicas, tales como el electroencefalograma (EEG) como medida de la actividad cerebral, o bien sus inmediatas consecuencias sobre la postura del pollo (no defecar, ojos abiertos, plumas erizadas en

uropigio, cuello arqueado, piernas extendidas y rígidas), el porcentaje de aleteo o tiempo de recuperación de la respiración, la aparición de lesiones, o incluso la muerte. Problemas derivados de la utilización de una corriente no correcta en el aturdimiento son: lesiones vasculares (acumulación de sangre, hematomas, hemorragias, lento desangrado) y lesiones óseas. La experiencia de los operadores marca que la intensidad y la frecuencia tienen una relación inversa y directa, respectivamente, con el buen resultado del aturdimiento (evaluado subjetivamente en canal). Estando la legislación un poco apartada de esta evidencia, al tiempo que no plantea la posibilidad de situaciones intermedias en las características frecuencia/intensidad de la corriente.

La obtención de información que analice de manera integrada la influencia de las características de la corriente eléctrica sobre indicadores de bienestar durante el aturdimiento de los pollos resultaría especialmente relevante. Para ello, la integración de la información científica existente mediante técnicas meta-analíticas puede resultar una aproximación interesante a la problemática que permitiría la inferencia de la información obtenida a un amplio campo de aplicabilidad (Sauvant et al., 2008). Estudios previos han evaluado de manera cuantitativa el efecto de las características de los sistemas de producción sobre distintos indicadores de comportamiento y productividad de los cerdos de engorde (Averós et al., 2010a, b; 2012), por lo que la aplicación de dichas técnicas de análisis a la problemática que nos ocupa resulta del todo pertinente.

Por todo ello, y dado que el mismo Reglamento 1099/09 presupone discutir sobre aportaciones que permitan adaptar la norma a los avances de la ciencia, nos ha parecido de interés, y dado que las condiciones de aturdimiento son de crucial importancia para los resultados técnico-económicos del sacrificio del pollo, proceder al análisis cuantitativo conjunto de toda la bibliografía disponible al respecto. Este es el ánimo del trabajo que aquí presentamos, primero de nuestro grupo en esta área.

Material / Métodos:

Para conseguir nuestro objetivo general, como primer paso, hemos construido una base de datos utilizando la bibliografía científica relacionada con el aturdimiento industrial del pollo de carne. Así, hemos efectuado una búsqueda exhaustiva, mediante las bases de datos *Scopus* e *ISI Web of Knowledge*, que ha resultado en la selección de 41 referencias relacionadas con el aturdimiento eléctrico y 28 con el aturdimiento por gas. En el presente estudio únicamente se ha utilizado la información relativa al aturdimiento eléctrico. Dadas las características de este documento hemos decidido no referenciar ninguna de ellas en el texto, limitándonos a presentarlas ordenadas, en el apartado de Referencias Bibliográficas.

La construcción de la base de datos se ha realizado mediante la codificación, grabado y filtrado de toda la información presentada en los documentos en una hoja Excel, de manera que cada fila de la hoja recogiera información detallada relativa a cada uno de los tratamientos descritos para cada uno de los estudios utilizados. Posteriormente, hemos analizado la información en distintas fases, y de forma separada para el aturdimiento por gas y por electricidad. En primer lugar hemos comenzado a trabajar con los artículos de aturdimiento eléctrico buscando, en esta primera fase aproximativa del análisis, determinar la posibilidad de realizar un análisis cuantitativo en profundidad de toda la información disponible, descartando problemas debidos a vacíos o poca solidez de la información. Para esta primera aproximación, hemos utilizado regresiones entre las variables de la corriente eléctrica y sus efectos.

Las variables independientes que se han considerado para la creación de la base de datos han sido las siguientes:

Del animal:

- Peso medio (kg).

- Edad media (días).
- Tamaño de muestra del tratamiento.
- Sexo (macho, hembra o mixtos).

De la corriente eléctrica:

- Tipo de corriente (alterna / continua).
- Frecuencia (Hz).
- Intensidad (mA).
- Tensión (V).
- Conductividad (mS/cm).
- Temperatura del agua (°C).
- Concentración de NaCl (%).
- Resistencia (Ω).
- Tiempo de aplicación (s).
- Campo eléctrico (V/cm) rms.

Las variables dependientes que se han considerado para la creación de la base de datos han sido las siguientes:

- Aturdimiento (%).
- Aleteo (%).
- Tiempo de retorno a la respiración (s).
- Tiempo de retorno de la tensión del cuello (s).
- Tiempo de retorno de la actividad cerebral EEG (2-30 Hz; s).
- Tiempo de retorno de la actividad cerebral EEG (13-30 Hz; s).
- Lesiones vasculares (%).
- Lesiones óseas (%).
- Lesiones de canal (%).
- Muerte (%).
- Tiempo de desangrado (s).

Hemos procesado la información utilizando el programa estadístico SAS regresionando, a través de diferentes líneas de tendencia, teniendo en cuenta cuál de ellas se ajusta mejor a cada caso. Las representaciones pueden ser lineales, logarítmicas o exponenciales.

Las variables independientes han sido transformadas para poder estandarizarlas y ser analizadas con la mayor fiabilidad posible. Por eso los valores presentados no son valores absolutos sino valores unitarios estandarizados por el peso (frecuencia/kg, intensidad/kg y tensión/kg). En esta ponderación se le ha dado, además, más importancia a la información obtenida en aquellos artículos cuyo tamaño de muestra fue mayor.

Resultados / Discusión:

En la tabla siguiente se presentan los estadísticos descriptivos que caracterizan la corriente eléctrica empleada en los estudios recogidos (en negro), así como los de las variables que reflejan el efecto causado en el aturdimiento (en rojo).

	n	media	SD	mediana	max	Min
Peso del pollo (kg)	180	2,27	0,36	2,2	3,49	1,46
Edad del pollo (días)	170	45,39	4,05	45	49	32
Número animales	180	44,76	74,30	16	500	1
Frecuencia Aturrido (Hz)	180	405,44	564,62	70	3.900	50
Voltaje (v)	84	98,71	43,16	98	300	40
Intensidad (mA)	170	106,22	57,97	105	400	4
Tiempo (s)	115	3,58	2,27	4	10	1
Aturdimiento (%)	80	68,81	23,12	78	100	0
Aleteo (%)	57	41,95	26,54	38	100	0
T.R.Respiración (s)	105	17,36	9,37	15	65	11,2
T.R.Tensión Cuello (s)	33	54,33	17,17	51	105	23
EEG (2-30Hz; s)	53	27,28	22,03	20	80	2
EEG (13-30Hz; s)	48	19,71	17,14	13,5	70	2
Lesión VASCULAR (%)	44	21,68	17,92	17	81,8	3
Lesión OSEA (%)	42	38,81	16,99	38,5	81,8	8
Muerte (%)	31	47,46	39,61	61	100	0

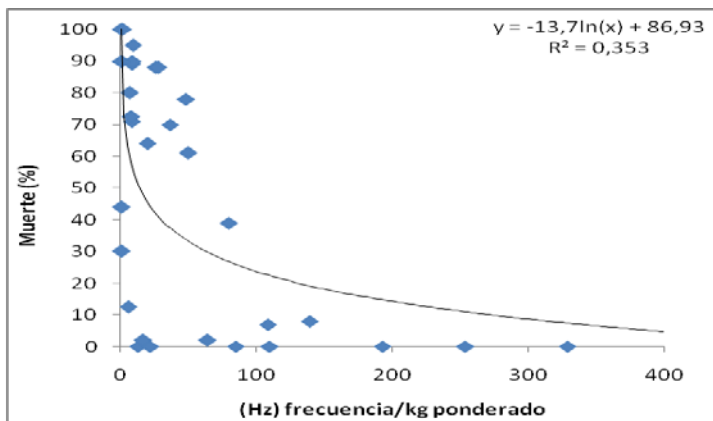
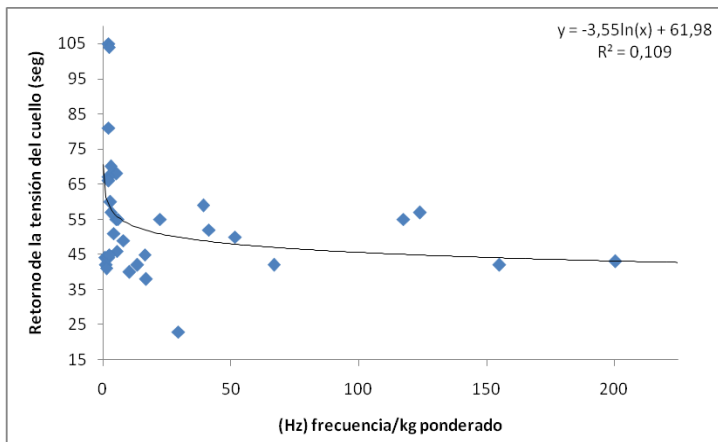
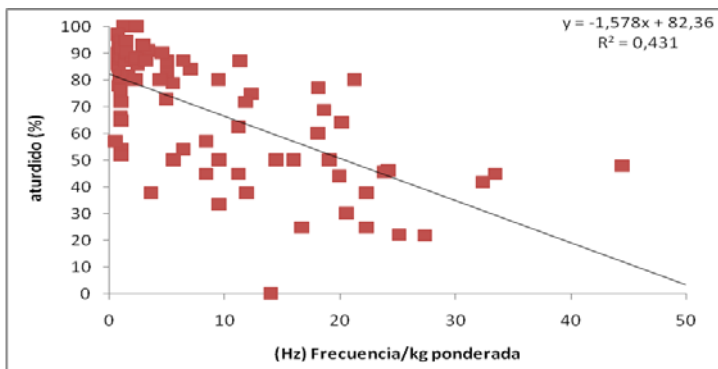
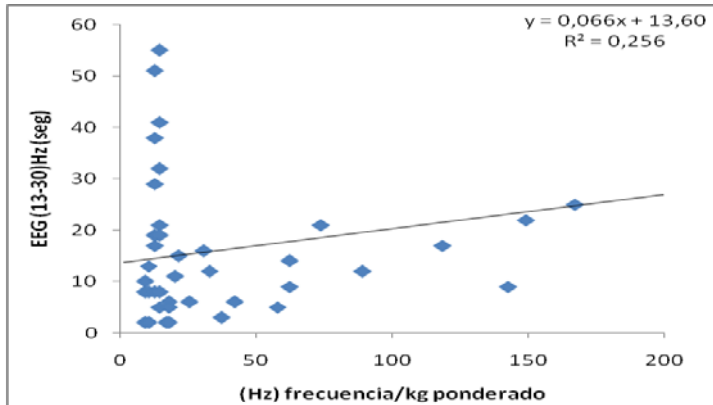
En la tabla siguiente se presentan los principales coeficientes de correlación encontrados entre las variables independientes de la corriente eléctrica estandarizadas y los efectos sobre el animal. Dado el carácter de aproximación al análisis que tiene este trabajo, y para simplificar la presentación de resultados, se ha optado por no ofrecer las ecuaciones de regresión. Se marcan en color verde las regresiones que nos han parecido de mayor interés presentar en el documento y cuyos resultados se ofrecen posteriormente en 10 graficas.

Y \ X	FRECUENCIA /Peso ponderado	INTENSIDAD /Peso ponderado	TENSIÓN /Peso ponderado
Aturdido (%)	R ² =0,4318	R ² =0,006	R ² =0,017
Aleteo (%)	R ² =0,058	R ² =0,0456	R ² =0,036
T. R. Respiración (s)	R ² =0,0941	R ² =0,0483	R ² =0,2968
T. R. Tensión Cuello (s)	R ² =0,1094	R ² =0,3745	R ² =0,4339
EEG (2-30Hz; s)	R ² =0,2821	R ² =0,0929	R ² =0,1747
EEG (13-30Hz; s)	R ² =0,2562	R ² =0,2305	R ² =0,1838
Lesión VASCULAR (%)	R ² =0,0846	R ² =0,1769	R ² =0,3395
Lesión OSEA (%)	R ² =0,2642	R ² =0,2259	R ² =0,3972
Lesiones de CANAL (%)	R ² =0,2961	R ² =0,0591	-----
Muerte (%)	R ² =0,3539	R ² =0,0197	R ² =0,0533

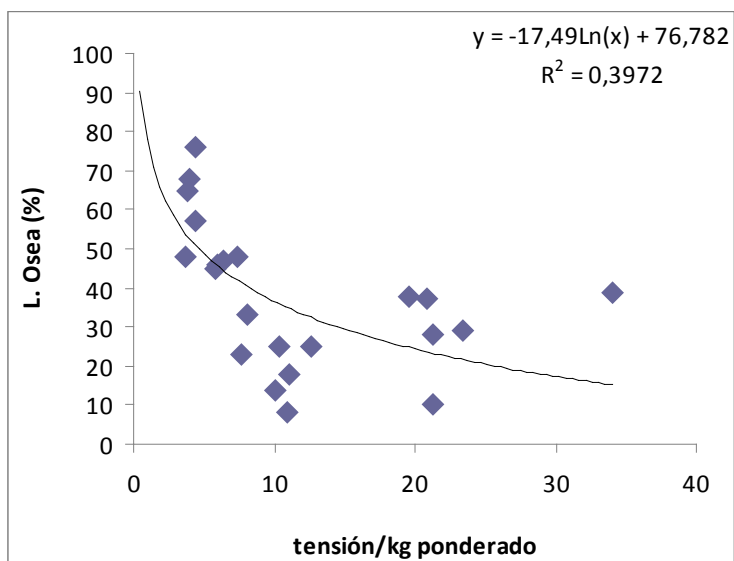
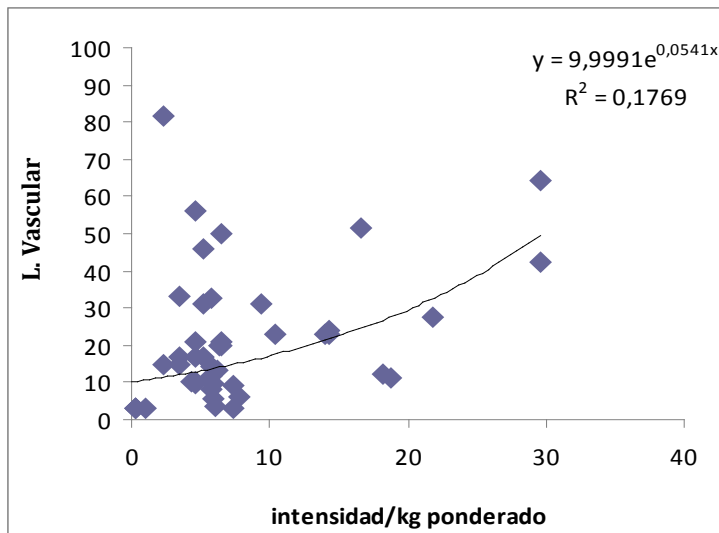
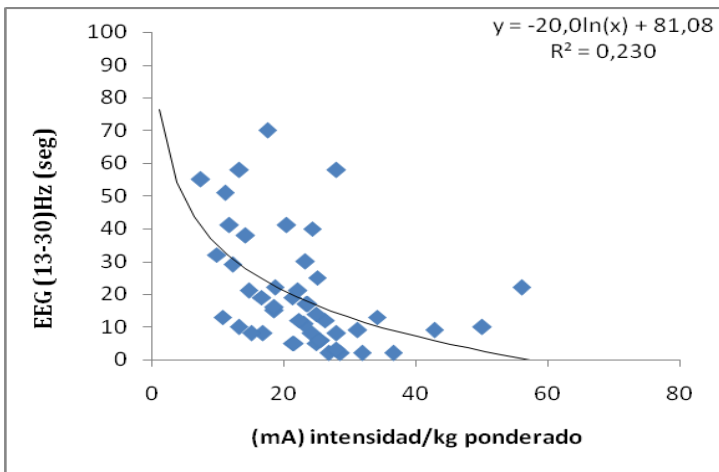
En las diez graficas siguientes se puede apreciar, respecto a la frecuencia, una relación directa de esta variable con el tiempo de retorno de la actividad cerebral. La información sugiere, para esta variable, un techo en su capacidad de incidencia respecto al % de aturdimiento y % de pollos con el tiempo de retorno de la tensión del cuello. También se sugiere un techo de frecuencia para la incidencia de muerte producida por la corriente.

En relación a la incidencia de la intensidad, se sugiere un techo para su incidencia sobre su el SNC, de forma que en mayores niveles de intensidad la información no sugiere un mayor efecto de aturdimiento. Por otra parte los datos sugieren una relación creciente entre la intensidad y las lesiones vasculares (de todo tipo). En el análisis de la incidencia de la intensidad sobre las lesiones óseas se ha podido observar un comportamiento inverso de carácter logarítmico.

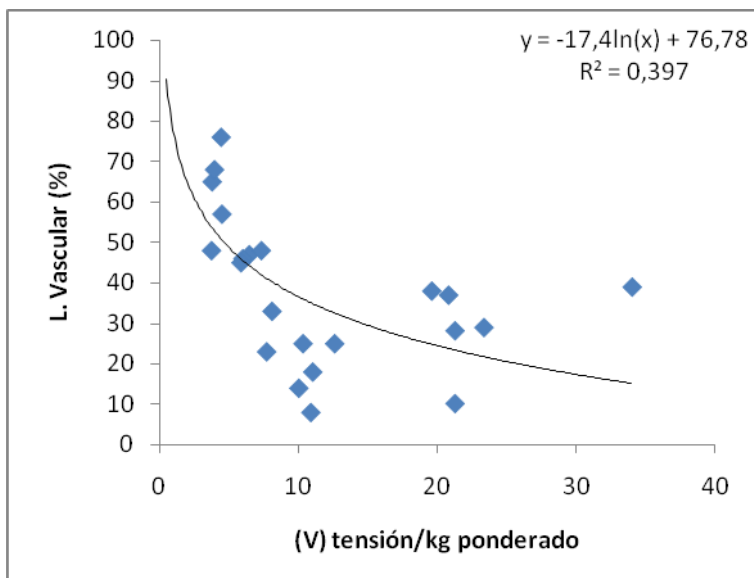
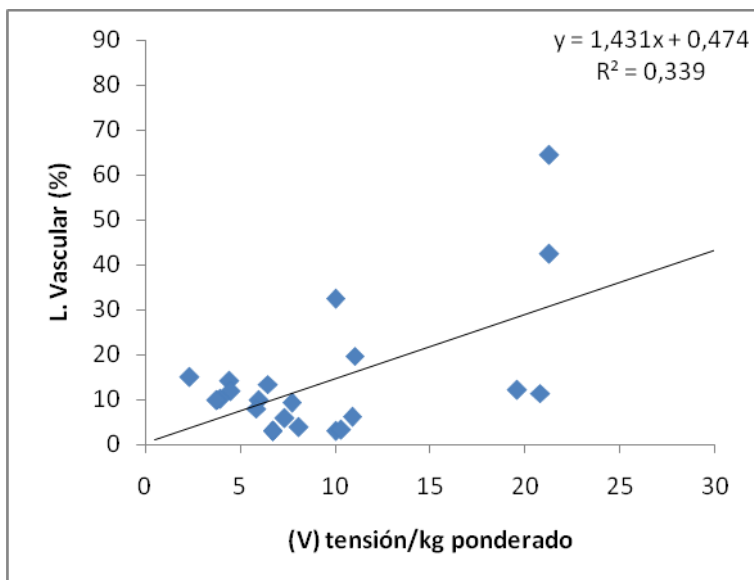
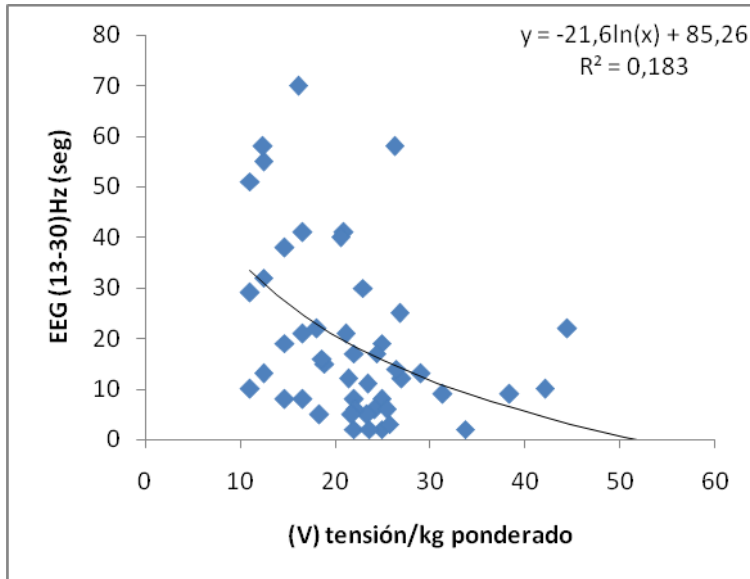
En cuanto a la tensión de la corriente eléctrica, los intervalos estudiados por los autores muestran un techo de su incidencia sobre la descoordinación del SNC. Paralelamente con lo hallado para la intensidad, se sugiere una relación directa con las lesiones vasculares producidas (de todo tipo). En este análisis con los intervalos de tensión estudiados se ha detectado un comportamiento relativamente uniforme sobre las lesiones óseas producidas.

Frecuencia:

Intensidad



Tensión



Conclusiones:

- La frecuencia de la corriente parece ser la variable más relevante a la hora de analizar la desconexión del SNC, base del aturdimiento.
- Tensión e Intensidad de la corriente de aturdimiento parecen mostrar un comportamiento similar, con un techo sobre su incidencia en la recuperación de actividad del SNC.
- Se sugiere una relación directa entre la Tensión e Intensidad, y las lesiones vasculares de todo tipo. Respecto a las lesiones óseas, se sugiere una relación negativa pero con un cierto límite en los intervalos estudiados.
- La frecuencia no tiene una clara incidencia con las lesiones, a los niveles estudiados por los distintos autores, y respecto a la muerte del animal, se observa un techo en su incidencia negativa.
- Conclusión resumen de este trabajo es que creemos posible y de interés profundizar en el análisis cuantitativo de los sistemas de aturdimiento del pollo de carne, valorando en detalle todas las influencias e interacciones, a la luz de las aportaciones de la bibliografía científica en el momento actual.

Referencias Bibliográficas:**Aturdimiento Eléctrico**

Anastasov, N.I. and Wotton, S.B. 2012. Survey of the incidence of poststun behavioural reflexes in electrically stunned broilers in commercial conditions and the relationship of their incidence with the applied water-bath electrical parameters. *Animal Welfare*. 21: 247-256.

Averós X.; Brossard, L.; Dourmad, J.Y.; de Greef, K.; Edge, H.L.; Edwards, S.A. and Meunier-Salaün, M.C. 2010a. Quantitative assessment of the effects of space allowance, group size and floor characteristics on the lying behaviour of growing-finishing pigs. *Animal*. 4: 777-783.

Averós, X.; Brossard, L.; Dourmad, J.Y.; de Greef, K.H.; Edge, H.L.; Edwards, S.A. and Meunier-Salaün, M.C. 2010b. A meta-analysis of the combined effect of housing and environmental enrichment characteristics on the behaviour and performance of pigs. *Applied Animal Behaviour Science*. 127: 73-85.

Averós, X.; Brossard, L.; Dourmad, J.Y.; de Greef, K.H.; Edwards, S.A. and Meunier-Salaün, M.C. 2012. Meta-analysis on the effects of the physical environment, animal traits, feeder and feed characteristics on the feeding behaviour and performance of growing-finishing pigs. *Animal*. 6: 1275-1289.

Craig, E.W.; Fletcher, D.L. and Papinaho, P.A. 1999. The effects of antemortem electrical stunning and postmortem electrical stimulation on biochemical and textural properties of broiler breast meat. *Poultry Science*. 78:490-494.

Fletcher, D.L. 1999. Slaughter technology. *Poultry Science*. 78:277-281.

Gregory, N.G. and Wilkins, L.J. 1990. Broken bones in chickens: effect of stunning and processing in broilers. *British Poultry Science*. 31:53-58.

- Gregory, N.G.; Wilkins, L.J and Wotton, S.B. 1991. Effect of electrical stunning frequency on ventricular fibrillation, downgrading and broken bones in broilers, hens and quails. *British Veterinary Journal*. 147:71-77.
- Gregory, N.G. and Wilkins, L.J. 1989. Effect of ventricular-fibrillation at stunning and ineffective bleeding on carcass quality defects in broiler-chickens. *British Poultry Science*. 30:825-829.
- Gregory, N.G. and Wotton, S.B. 1991(a). Effect of depth of immersion in the waterbath on the effectiveness of electrical stunning in chickens. *Research in Veterinary Science*. 51: 200-205.
- Gregory, N. G. and Wotton, S. B. 1991(b). Effect of a 350 Hz dc stunning current on evoked responses in the chicken's brain. *Research in Veterinary Science*. 50: 250-251.
- Gregory, N.G. and Wotton, S.B. 1990. Effect of stunning on spontaneous physical activity and evoked activity in the brain. *British Poultry Science*. 31:215-220.
- Joseph, P.; Schilling, M. W. and Williams, J. B. 2013. Broiler stunning methods and their effects on welfare, rigor mortis, and meat quality. *Worlds Poultry Science Journal*. 69:99-112.
- Kettlewell, P.J. and Hallworth, R.N. 1990. Electrical stunning of chickens. *Journal of Agricultural Engineering*. 47:139-151.
- Krupala, J.K. and Sams, A.R. 2000. Feather release force in minimally scalded broilers stunned with carbon dioxide or electricity. *Poultry Science*. 79:122-124.
- Lines, J.A.; Berry, P.; Cook, P.; Schofield, C.P. and Knowles, T.G. 2012. Improving the poultry shackle line. *Animal Welfare*. 21:69-74.
- Lines J.A; Raj A.B.M.; Wotton S.B.; O'Callaghan, M.; Knowles, T.G. 2011. Head-only electrical stunning of poultry using a waterbath: a feasibility study. *British Poultry Science*. 52 (4):432-438.
- Lines J.A; Wotton S.B. ; M.; Barker, R.; Spence, J.; Wilkins, I. and Knowles, T.G. 2011. Broiler carcass quality using head-only electrical stunning in a waterbath. *British Poultry Science*. 52 (4):439-445.
- McNeal, W.D.; fletcher, D.L. and Buhr, J. 2003. Effects of stunning and decapitation on broiler activity during bleeding, blood loss, carcass, and breast meat quality. *Poultry Science*. 82:163-168.
- Mouchoniere, M.; Le Pottier, G. and Fernandez X. 1999. The effect of current frequency during waterbath stunning on the physical recovery and rate and extent of bleed out in turkeys. *Poultry Science*. 77:485-489.
- Perez-Palacios, S and Wotton, S.B. 2006. Effects of salinity and the use of shackle/leg sprays on the electrical conductivity of a commercial waterbath stunner for broilers. *Veterinary Record*. 158:654-657.
- Prinz, S. 2010. Electrical stunning of broiler chickens. *Personal Com*. 8
- Prinz, S.; Van Oijen, G.; Hinger, E.F.; Bessei, W. and Coenen, A. 2012. Electrical waterbath stunning: Influence of different waveform and voltage settings on the induction of unconsciousness and death in male and female broiler chickens. *Poultry Science*. 91:998-1008.

- Prinz, S.; Van Oijen, G.; Hinger, E.F.; Bessei, W. and Coenen, A. 2009. Waterbath stunning of chicken (effects of electrical parameters on the electroencephalogram and physical reflexes of broilers). Doctoral thesis. pp 157.
- Prinz, S.; Van Oijen, G.; Hinger, E.F.; Coenen, A. and Bessei, W. 2010. Electroencephalograms and physical reflexes of broilers after electrical waterbath stunning using an alternating current. *Poultry Science*. 89:1265-1274.
- Prinz, S.; Van Oijen, G.; Hinger, E.F. and Coenen, A. 2009. The electroencephalogram of broilers before and after DC and AC electrical stunning. *European Poultry Science*. 73 (1):67-70.
- Raj, A.B.M. 2003. A critical appraisal of electrical stunning in chickens. *Worlds Poultry Science Journal*. 59:89-98.
- Raj, A.B.M. 1998. Welfare during stunning and slaughter of poultry. *Poultry Science*. 77:1815-1819.
- Raj, A.B.M. and Johnson, S.P. 1997. Effect of the method of killing, interval between killing and neck cutting and blood vessels cut on blood loss in broilers. *British Poultry Science*. 38:190-194.
- Raj, A.B.M.; O'Callaghan, M.; and Knowles, T.G. 2006(a). the effects of amount and frequency of alternating current used in water bath stunning and of slaughter methods on electroencephalograms in broilers. *Animal Welfare*. 15:7-18.
- Raj, A.B.M.; O'Callaghan, M. and Hughes, S.I. 2006(b). The effects of pulse width of direct current used in water bath stunning and of slaughter methods on spontaneous electroencephalograms in broilers. *Animal Welfare*. 15:25-30.
- Raj, A.B.M. and Tserveni-Gousi, A. 2000. Stunning methods for poultry. *Worlds Poultry Science Journal*. 56:291-304.
- Raj, A.B.M.; Wilkins, L.J.; O'Callaghan, M. and Phillips A.J. 2001. Effect of electrical stun/kill method, interval between killing and neck cutting and blood vessels cut on blood loss and meat quality in broilers. *British Poultry Science*. 42:51-56.
- Rao, M.A.; Knowles, T.G. and Wotton, S.B. 2013. The effect of pre-stun shocks in electrical water-bath stunners on carcass and meat quality in broilers. *Animal Welfare*. 22:79-84.
- Richards, S.A. and Sykes, A.H. 1967. Physiological effects of electrical stunning and venesection in fowl. *Research in Veterinary Science*. 8:361.
- Richards, S.A. and Sykes, A.H. 1967. Electrocortical activity in relation to stunning in poultry. *Veterinary Record*. 80:24.
- Sauvant, D.; Schmidely, P.; Daudin, J.J. and St-Pierre, N.R. 2008. Meta-analyses of experimental data in animal nutrition. *Animal*. 2: 1203–1214.
- Savenije, B.; Schreurs, F.J.G.; Winkelman-Goedhart, H.A.; Gerritzen, M.A.; Korf, J. and Lambooij, E. 2002. Effects of feed deprivation and electrical, gas, and captive needle stunning on early postmortem muscle metabolism and subsequent meat quality. *Poultry Science*. 81:561-571.
- Shields, S. J.; Park, S. and Raj, A.B.M. 2010. A critical review of electrical Water-bath stun systems for poultry slaughter and recent developments in alternative technologies. *Personal Com.*

Sparrey, J.M.; Paice, M.E.R. and Kettlewell, P.J. 1992. Model of current pathways in electrical water bath stunners used for poultry. *British Poultry Science*. 33:907-916.

Von Wenzlawowicz, M. and von Holleben, K. 2001. Assessment of stunning effectiveness according to the present scientific knowledge on electrical stunning of poultry in a waterbath. *European Poultry Science*. 65 (6): 193-198.

Walker, J.M.; Buhr, R.J. and Fletcher, D.L. 1993. Investigation of processing factors contributing to hemorrhagic leg syndrome in broilers. *Poultry Science*. 72:1592-1596.

Wilkins, L.J.; Gregory, N.G.; Wotton S.B. and Partman, I.D. 1998. Effectiveness of electrical stunning applied using a variety of waveform-frequency combinations and consequences for carcass quality in broiler chickens. *British Poultry Science*. 39:511-518.

Wilkins, L.J.; Wotton, S.B; Parkman, I.D.; Kettlewell, P.J. and Griffiths, P. 1999. Constant current stunning effects on bird welfare and carcass quality. *Journal of Applied Poultry Research*. 8:465-471.

Wotton, S.B. and Wilkins, L.J. 2004. Primary processing of poultry. In *Measuring and auditing broiler welfare*. Eds. C.A. Weeks, A. Butterworth, Wallingford.

Aturdimiento por Gas

Abeyesinghe, S.M.; McKeegan, D.E.F. and Mcleman, M.A. 2007. Controlled atmosphere stunning of broiler chickens. I. Effects on behaviour, physiology and meat quality in a pilot scale system at a processing plant. *British Poultry Science*. 48:406-423.

Buhr, R.J. 2009. Why poultry should be stunned at slaughter and the welfare advantages and challenges of electrical and gas stunning. *World Poultry Science Association*. 1-8.

Coenen, A.M.L.; Lankhaar, J. and Lowe, J.C. 2009. Remote monitoring of electroencephalogram, electrocardiogram, and behavior during controlled atmosphere stunning in broilers: Implications for welfare. *Poultry Science*. 88:10-19.

Gerritzen, M.A.; Lambooij, E. and Hillebrand, S.J.W. 2000. Behavioral responses of broilers to different gaseous atmospheres. *Poultry Science*. 79:928-933.

Gerritzen, M.A.; Reimert, H.G.M. and Hindle, V.A. 2013. Multistage carbon dioxide gas stunning of broilers. *Poultry Science*. 92:41-50.

Gerritzen, M.A.; Reimert, H.G. M. and Lourens, A. 2013. Killing wild geese with carbon dioxide or a mixture of carbon dioxide and argon. *Animal Welfare*. 22:5-12.

Gomez, S.; Deiss, V. and Gatellier, P. 2007. Gas stunning of 3 genotypes of chickens - Standard, Certified, Label: behavioral approach. *Actes Journées Recherche Avicole*. 99-103.

Gregory, N.G. 2005. Recent concerns about stunning and slaughter. *International Congress of Meat Science and Technology*. 70:481-491.

Hoehn, T. and Lankhaar, J. 1999. Controlled atmosphere stunning of poultry. *Poultry Science*. 78:287-289.

- Joseph, P.; Schilling, M.W. and Williams, J.B. 2013. Broiler stunning methods and their effects on welfare, rigor mortis, and meat quality. *Poultry Science Journal*. 69:99-112.
- Krupala, J.K. and Sams, A.R. 2000. Feather release force in minimally scalded broilers stunned with carbon dioxide or electricity. *Poultry Science*. 79:1222-1224.
- Lambooij, E. And Gerritzen, M.A. 2009. Controlled atmosphere stunning. *World Poultry Science Association*. 21-25.
- Lambooij, E.; Gerritzen, M.A. and Engel, B. 1999. Behavioural responses during exposure of broiler chickens to different gas mixtures. *Applied Animal Behaviour Science*. 62:255-265.
- McKeegan, D.E.F.; Abeyesinghe, S.M. and Mcleman, M.A. 2007. Controlled atmosphere stunning of broiler chickens. II. Effects on behaviour, physiology and meat quality in a commercial processing plant. *British Poultry Science*. 48:430-442.
- McKeegan, D.E.F.; McIntyre, J. and Demmers, T.G.M. 2006. Behavioural responses of broiler chickens during acute exposure to gaseous stimulation. *Applied Animal Behaviour Science*. 99:271-286.
- McKeegan, D.E.F.; McIntyre, J.A. and Demmers, T.G.M. 2007. Physiological and behavioural responses of broilers to controlled atmosphere stunning: implications for welfare. *Animal Welfare*. 16:409-426.
- Raj, A.B.M. 2006. Recent developments in stunning and slaughter of poultry. *Worlds Poultry Science Journal*. 62:467-484.
- Raj, A.B.M.; Sandilands, V. and Sparks, N.H.C. 2006. Review of gaseous methods of killing poultry on-farm for disease control purposes. *Veterinary Record*. 159:229-235.
- Raj, A.B.M.; Wotton, S.B. and McKinstry, J.L. 1998. Changes in the somatosensory evoked potentials and spontaneous electroencephalogram of broiler chickens during exposure to gas mixtures. *British Poultry Science*. 39:686-695.
- Sante-Lhoutellier, V.; Gomez, S. and Deiss, V. 2007. Gas stunning of three genotypes of chicken: impact on carcass and meat quality. *Actes Journées Recherche*. 485-489.
- Purswell, J.L.; Thaxton, J.P. and Branton, S.L. 2007. Identifying process variables for a low atmospheric pressure stunning-killing system. *Journal of Applied Poultry Research*. 16:509-513.
- Vizzier-Thaxton, Y.; Christensen, K.D. and Schilling, M.W. 2010. A new humane method of stunning broilers using low atmospheric pressure. *Journal of Applied Poultry Research*. 19:341-348.
- Von Holleben, K.; Von Wenzlawowich, M. And Eser, E. 2012. Licensing poultry CO2 gas-stunning systems with regard to animal welfare: investigations under practical conditions. *Animal Welfare*. 21:103-111.
- Webster, A.B. and Fletcher, D.L. 2001. Reactions of laying hens and broilers to different gases used for stunning poultry. *Poultry Science*. 80:1371-1377.
- Wenzlawowicz, M.V.; Holleben, K.V. and Bostelmann, N. 2000. CO2-stunning of poultry. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*. 107:116-122.

Xu, L.; Ji, F. And Yue, H. Y. 2011. Plasma variables, meat quality, and glycolytic potential in broilers stunned with different carbon dioxide concentrations. *Poultry Science*. 90:1831-1836.

Xu, L.; Wu, S. G. and Zhang, H. J. 2011. Comparison of lipid oxidation, messenger ribonucleic acid levels of avian uncoupling protein, avian adenine nucleotide translocator, and avian peroxisome proliferator-activated receptor-gamma coactivator-1 alpha in skeletal muscles from electrical- and gas-stunned broilers. *Poultry Science*. 90:2069-2075.

Xu, L.; Yue, H. Y. and Wu, S. G. 2011 Comparison of blood variables, fiber intensity, and muscle metabolites in hot-boned muscles from electrical- and gas-stunned broilers. *Poultry Science*. 90:1837-1843.